ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 59996— 2022**

## Нефтяная и газовая промышленность

# СООРУЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ МОРСКИЕ

## Морские исследования грунтов

**(ISO 19901-8:2014, NEQ)**

**Издание официальное**

**Москва**
**Российский институт стандартизации**
**2022**

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова) по заказу Общества с ограниченной ответственностью «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» (ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»)

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 апреля 2022 г. № 261-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта ИСО 19901-8:2014 «Нефтяная и газовая промышленность. Специальные требования, предъявляемые к морским сооружениям. Часть 8: Исследования морского грунта» (ISO 19901-8:2014 «Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 8: Marine soil investigations», NEQ)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

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 . . . . . 3
4 Обозначения и сокращения . . . . . 7
5 Цели, планирование и состав геотехнических исследований . . . . . 10
6 Применяемое оборудование . . . . . 15
7 Инженерно-геологическое бурение и каротаж . . . . . 18
8 Испытания грунтов «в массиве» . . . . . 21
9 Пробоотбор . . . . . 38
10 Лабораторные испытания . . . . . 44
11 Отчет . . . . . 49
Приложение А (справочное) Цели, планирование и состав геотехнических исследований . . . . . 51
Приложение Б (справочное) Модификации используемого геотехнического оборудования . . . . . 59
Приложение В (справочное) Инженерно-геологическое бурение и каротаж . . . . . 65
Приложение Г (справочное) Полевые испытания грунтов . . . . . 74
Приложение Д (справочное) Пробоотбор . . . . . 78
Приложение Е (справочное) Лабораторные испытания . . . . . 86
Приложение Ж (справочное) Отчет . . . . . 109
Библиография . . . . . 113

## Введение

Настоящий стандарт разработан в дополнение к комплексу действующих национальных стандартов в области морской нефтегазодобычи, устанавливающих требования к проектно-изыскательским работам и строительству морских нефтегазопромысловых сооружений.

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

При разработке настоящего стандарта учтены основные нормативные положения международного стандарта и сохранена его структура. Для того чтобы учесть национальную практику и интересы РФ, в текст настоящего стандарта внесены существенные технические отклонения (в частности, связанные с номенклатурой грунтов, их классификаций, определением параметров, требованиями к инженерным изысканиям, определением видов и объемов работ), которые нецелесообразно/невозможно идентифицировать, что не позволяет его гармонизировать с указанным международным стандартом.

Целью разработки настоящего стандарта является обеспечение безопасности при выполнении работ по освоению морских месторождений, расположенных на континентальном шельфе (в том числе на акваториях с ледовым режимом), в территориальном море и внутренних водах Российской Федерации, за счет установления требований к проведению инженерно-геологических изысканий (за исключением геофизических исследований).

В настоящем стандарте учтены основные положения ИСО 19901-8, он разработан в развитие требований нормативных положений основополагающего ГОСТ Р 54483—2011 (ИСО 19900:2002), а также с учетом сводов правил в области инженерных изысканий для строительства СП 47.13330.2016 и СП 446.1325800.2019.

При разработке стандарта учтены особенности национальной стандартизации и накопленный практический опыт в области инженерно-геологических изысканий на шельфе, в том числе положения СП 11-114—2004. В настоящем стандарте рассмотрены правила и требования к различным видам исследований в составе инженерно-геологических изысканий (кроме геофизических). Требования к геофизической части инженерно-геологических изысканий будут рассмотрены в другом документе, который планируется разработать на базе стандарта [1].

ОКС 73.020

**Поправка к ГОСТ Р 59996—2022 Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Морские исследования грунтов**

| В каком месте | Напечатано | Должно быть |
|---|---|---|
| Введение, четвертый абзац | расположенных на континентальном шельфе (в том числе на акваториях с ледовым режимом), в территориальном море и внутренних водах Российской Федерации, за счет установления требований к проведению инженерно-геологических изысканий (за исключением геофизических исследований). | расположенных во внутренних морских водах, в территориальном море, в исключительной экономической зоне, на континентальном шельфе Российской Федерации (в том числе на акваториях с ледовым режимом), в российском секторе Каспийского моря, на участках недр, расположенных в Черном и Азовском морях, за счет установления требований к проведению инженерно-геологических изысканий (за исключением геофизических исследований). |
| Область применения, первый абзац | нефтегазопромысловых сооружений на континентальном шельфе, внутренних морских водах, территориальном море, прилежащей зоне Российской Федерации, а также в экономической зоне окраинных морей. | нефтегазопромысловых сооружений во внутренних морских водах, в территориальном море, в исключительной экономической зоне, на континентальном шельфе Российской Федерации, в российском секторе Каспийского моря, на участках недр, расположенных в Черном и Азовском морях. |

(ИУС № 12 2022 г.)

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Нефтяная и газовая промышленность**

# СООРУЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ МОРСКИЕ

**Морские исследования грунтов**

Petroleum and natural gas industry. Offshore oil and gas field structures. Marine soil investigations

**Дата введения — 2022—07—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования и рекомендации к планированию и выполнению геотехнических исследований морских грунтов в составе инженерно-геологических изысканий при строительстве морских нефтегазопромысловых сооружений на континентальном шельфе, внутренних морских водах, территориальном море, прилежащей зоне Российской Федерации, а также в экономической зоне окраинных морей.

Настоящий стандарт не распространяется на инженерно-геофизические виды исследований в составе морских инженерно-геологических изысканий. Настоящий стандарт не распространяется на инженерно-геодезические, инженерно-гидрометеорологические, инженерно-экологические изыскания и на изучение геологических опасностей.

Настоящий стандарт устанавливает общие технические требования и правила производства геотехнических работ для проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации морских нефтегазопромысловых сооружений и предназначен для применения юридическими лицами, выполняющими морские инженерные изыскания на шельфе Российской Федерации.

Настоящий стандарт распространяется:

- на определение целей, планирование и выполнение морских геотехнических исследований;
- выбор и применение изыскательского оборудования и средств;
- выполнение инженерно-геологического бурения;
- выполнение полевых испытаний грунтов («в массиве» или *in situ*);
- выполнение пробоотбора;
- лабораторные исследования;
- составление отчета.

Настоящий стандарт может быть использован для изучения скальных грунтов (пород) только в случае применимости стандартного оборудования для геотехнических работ, т. е. при исследовании полускальных грунтов с низкой прочностью, слабосцементированных отложений.

Настоящий стандарт не распространяется на расчет осадки, оценку несущей способности и/или устойчивости основания.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 5180 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик

ГОСТ 12071 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов

ГОСТ 12248.1 Грунты. Определение прочности методом одноплоскостного среза

ГОСТ 12248.2 Грунты. Определение характеристик прочности методом одноосного сжатия

**Издание официальное**

ГОСТ 12248.3 Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия

ГОСТ 12248.4 Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия

ГОСТ 19912 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием

ГОСТ 20522 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний

ГОСТ 23740 Грунты. Методы определения содержания органических веществ

ГОСТ 25100 Грунты. Классификация

ГОСТ 25584 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации

ГОСТ 26263 Грунты. Метод лабораторного определения теплопроводности мерзлых грунтов

ГОСТ 27753.4 Грунты тепличные. Метод определения общей засоленности

ГОСТ 30416 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения

ГОСТ 34467 Грунты. Метод лабораторного определения содержания карбонатов

ГОСТ Р 27.012 (МЭК 61882:2016) Надежность в технике. Анализ опасности и работоспособности (HAZOP)

ГОСТ Р 51901.1 (МЭК 60300-3-9:1995) Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем

ГОСТ Р 54483 (ИСО 19900:2013) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Общие требования

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

ГОСТ Р 56353 Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов

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

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

ГОСТ Р 58325 Грунты. Полевое описание

ГОСТ Р 58326 Грунты. Метод лабораторного определения параметров переуплотнения

ГОСТ Р ИСО 9001 Система менеджмента качества. Требования

ГОСТ Р ИСО 22475-1 Геотехнические исследования и испытания. Методы отбора проб и измерения подземных вод. Часть 1. Технические принципы для выполнения

ГОСТ Р ИСО 22476-1—2017 Геотехнические исследования и испытания. Испытания полевые. Часть 1. Статическое и пьезостатическое зондирование электрическим зондом

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

СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения

СП 446.1325800.2019 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ

СП 504.1325800.2021 Инженерные изыскания для строительства на континентальном шельфе. Общие требования

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

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 12071, ГОСТ 20522, ГОСТ Р 51901.1, ГОСТ Р 54483, ГОСТ Р 55311, ГОСТ Р 57123, ГОСТ Р 57148, СП 446.1325800.2019, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **башмак опоры** (spudcan): Конструкция основания опоры самоподъемной буровой установки, опирающейся на грунт.

3.2 **башмак опоры с юбкой** (skirted spudcan): Башмак опоры с пересекающимися стенками или конструкциями, закрепленными в нижней части основания, погружаемый в грунт для увеличения устойчивости.

3.3 **выдавливание грунта** (squeezing): Боковое перемещение слабого грунта под воздействием более плотного грунта.

Примечание — Выдавливание возможно между:
- основанием башмака опоры и нижележащим слоем более плотного грунта;
- между двумя более плотными грунтами.

3.4 **геологическая опасность** (geohazard): Геологическое явление или процесс, который может вызвать повреждение оборудования или материалов и нанести экологический ущерб, а также привести к потере человеческой жизни.

3.5 **геотехнический параметр грунта** [soil (geotechnical) parameter]: Измеренный, производный или характерный (геотехнический) параметр грунта.

Примечание — Термин «геотехнический» распространяется как на дисперсный грунт, так и на скальный грунт.

3.6 **геотехническое оборудование** (geotechnical equipment): Оборудование для выполнения полевых инвазивных исследований грунтов.

3.7 **геофизические морские исследования** (offshore geophysical investigation): Вид морских инженерно-геологических изысканий донной поверхности и грунтовой толщи с использованием недеструктивных методов (не приводящих к разрушению целостности грунта) с применением геофизического оборудования.

3.8

**глубина моря** (water depth): Вертикальное расстояние между дном моря и уровнем спокойной воды.

Примечания

1 Поскольку существует несколько вариантов уровня спокойной воды, то может быть несколько значений глубины воды. Как правило, расчетная глубина воды определяется относительно уровня наинизшего астрономического отлива или среднего уровня моря.

2 Глубина воды, используемая для расчета кинематики волны, как правило, изменяется от максимальной глубины воды при наивысшем астрономическом приливе плюс положительный штормовой нагон до минимальной глубины воды при наинизшем астрономическом отливе минус отрицательный штормовой нагон.

[ГОСТ Р 57148—2016, пункт 3.2]

3.9 **грунтовая толща** (seabed): Природные и техногенные отложения и образования, залегающие ниже морского дна.

3.10

**грунтовое основание** (foundation soil): Донные грунты в естественном состоянии или насыпные материалы, воспринимающие нагрузку от установленных морских нефтегазопромысловых сооружений.

[ГОСТ Р 54483—2021, пункт 3.15]

3.11 **дренированные условия** (drained condition): Условия, при которых прикладываемые напряжения и изменения напряжения поддерживаются скелетом грунта и не вызывают изменения порового давления.

3.12 **заказчик** (client): Сторона, участник или лицо с полной ответственностью за исследование морского грунта, включая подготовку проектной документации.

3.13 **забортная модификация** (оборудования): Установка, опускаемая на морское дно с борта судна или иного носителя при помощи грузоподъемного устройства.

3.14

**инженерно-геологическая выработка:** Горная выработка для изучения геологического разреза; отбора образцов грунтов для изучения их состава, состояния и свойств, измерения уровней и отбора проб подземных вод, а также для полевых исследований грунтов (в том числе геофизическими методами).

[СП 446.1325800—2019, пункт 3.2]

3.15

**инженерно-геологическая съемка:** Комплекс работ и исследований, выполняемых для изучения инженерно-геологических условий территории (в заданном масштабе и на заданную глубину), результатом которых является создание инженерно-геологических карт.

[СП 446.1325800—2019, пункт 3.4]

3.16

**инженерно-геологический элемент;** ИГЭ: Основная грунтовая единица при инженерно-геологической схематизации грунтового объекта, определяемая результатами статистической обработки.

[Адаптировано из ГОСТ 20522—2012, пункт 3.11]

3.17 **инженерные изыскания на шельфе** (marine/offshore investigation): Любой вид изысканий на шельфе или в прибрежной зоне.

Примечание — Примером таких изысканий являются: морские геотехнические исследования или геофизические исследования в составе инженерно-геологических изысканий, инженерно-экологические, инженерно-гидрометеорологические, инженерно-геодезические изыскания.

3.18 **инклинометр:** Устройство, позволяющее определять угол отклонения оси геотехнического или бурового оборудования от вертикальной оси.

3.19

**испытание диссипационное:** Испытание, при котором в процессе остановки специального зонда на заданной глубине с помощью установленного в его наконечник датчика измеряется рассеивание порового давления в прилегающем к зонду грунте.

[ГОСТ 19912—2012, пункт 3.5]

3.20 **измеренная величина** (measured value): Значение, измеренное в ходе испытания.

3.21 **искусственно сформированный образец** (reconstituted specimen): Лабораторный образец, подготовленный путем перемешивания образца грунта до указанного состояния на основе установленной процедуры.

Примечание — Для тонкозернистых грунтов образцы подготавливаются в виде грунтового (пылевато-глинистого) раствора (с влажностью на или выше предела текучести) и затем уплотняются. Для крупнозернистых грунтов образцы засыпаются либо заполняются в сухом или смоченном состоянии и затем уплотняются или прессуются.

3.22 **каротаж в необсаженной скважине** (open-hole logging): Каротаж на участке ствола скважины без, например, обсадных труб или бурильной трубы, позволяющий выполнять прямые измерения свойств грунта за стенками ствола скважины.

3.23 **класс применимости** (application class): Классификация оборудования на основе достижимого уровня погрешности или классификация образцов грунта, которые могут использоваться для определения различных свойств грунта.

Примечание — Классы применимости разработаны с целью обеспечения методических указаний по выбору оборудования, исходя из допустимой погрешности используемых результатов.

3.24 **класс качества** (quality class): Классификация качества образца для глин с коэффициентом переуплотнения от низкого до среднего, где качество образца основано на измеренной величине объемного расширения по результатам лабораторных испытаний на сжатие.

Примечание — Точные определения различных классов качества образцов даны в 10.5, таблица 6.

3.25 **малоглубинные геофизические исследования:** Исследования геофизическими методами на небольшую глубину по грунту, определяемую мощностью сжимаемой толщи и конструкцией проектируемого сооружения.

3.26

**морское нефтегазопромысловое сооружение** (offshore structure): Объект обустройства морского месторождения углеводородов, предназначенный для выполнения работ, связанных с освоением этого месторождения.

[ГОСТ Р 55311—2012, пункт 1]

3.27 **морские исследования грунтов** (marine soil investigation): Вид морских инженерно-геологических изысканий, основной целью которого является получение достоверных и репрезентативных данных для количественной и качественной характеристики состава и свойств грунтов основания морских сооружений и/или для оценки геологических опасностей, включающий инженерно-геологическое бурение, испытания грунтов в условиях естественного залегания, пробоотбор и лабораторные исследования грунтов.

Примечание — Объем работ и объем морского исследования грунта варьируют в зависимости от конкретного проекта, но обычно включают один или несколько пунктов, перечисленных в разделе 1.

3.28 **нарушенная (перемешанная) проба/образец** (remoulded sample/remoulded specimen): Лабораторный образец, тщательно переработанный механически при постоянной влажности.

3.29 **недренированные условия** (undrained condition): Условия, при которых прикладываемые напряжения и изменения напряжения поддерживаются скелетом грунта и поровыми водами без изменения объема.

3.30

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

[ГОСТ Р 54483—2021, пункт 3.29]

3.31

**нормативное значение** (characteristic value): Значение, устанавливаемое нормативными документами или принятое по репрезентативному значению.

[ГОСТ Р 54483—2021, пункт 3.31]

3.32

**нуль глубин** (chart datum): Уровень условной поверхности, к которой приводят измеренные глубины при камеральной обработке материалов.

Примечание — На морях с приливами менее 50 см за данный уровень принимается средний многолетний уровень моря, на морях с приливами 50 см и более — наинизший теоретический уровень моря.

[ГОСТ Р 57148—2016, пункт 3.13]

3.33 **оползание** (sliding): Горизонтальное перемещение башмака опоры.

3.34 **отпечаток** (footprint): Выемка на морском дне, которая остается после демонтажа (снятия) самоподъемной установки с точки (с площадки).

3.35

**отказ** (failure): Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния элементов или систем морского нефтегазопромыслового сооружения.

[ГОСТ Р 54483—2021, пункт 3.36]

3.36 **образец** (specimen): Часть пробы, используемая для лабораторных исследований.

3.37

**образец грунта природного сложения (монолит)** (undisturbed sample): Образец грунта определенной формы, в котором при отборе из массива грунта сохраняются ненарушенное сложение и влажность грунта.

[ГОСТ 12071—2014, пункт 3.8]

3.38 **оспина** (pockmark): Кратерообразная форма на морском дне, которая генетически может быть обусловлена выделением газа из подстилающих отложений.

3.39 **остаточная прочность на сдви**г (residual shear strength): Прочность на сдвиг при больших деформациях, когда измеренное напряжение сдвига в зависимости от уровня деформации выравнивается до постоянного значения.

3.40 **осадка** (settlement): Вертикальное смещение сооружения за счет собственного веса и других воздействий.

3.41

**образец грунта нарушенного сложения** (disturbed sample): Масса грунта, в которой при отборе из массива грунта изменились природное сложение и (или) влажность грунта.

[ГОСТ 12071—2014, пункт 3.7]

3.42

**опасность** (hazard): Источник потенциального вреда или ситуация с потенциальной возможностью нанесения вреда.

[ГОСТ Р 51901.1—2002, пункт 2.2]

3.43

**опасное событие** (hazardous event): Событие, которое может причинить вред.

[ГОСТ Р 51901.1—2002, пункт 2.3]

3.44 **перебуренный интервал** (rat hole): Дополнительная часть (приращение глубины) скважины, пробуренная ниже проектного забоя (исследуемой зоны, слоя) для подтверждения того, что исследуемая зона полностью пройдена.

Примечание — Часть скважины меньшего диаметра позволяет оборудованию в верхней части колонны с каротажными инструментами достичь и измерить самую глубокую интересующую зону.

3.45 **площадка** (site): Определенный участок проведения изысканий.

3.46 **подтверждение разреза** (ground truthing): Процесс использования данных о грунтовой толще для характеристики геологических слоев (тел), выделенных в результате геофизических исследований.

3.47 **подрядчик** (contractor): Сторона, участник или лицо с ответственностью за порученный объем работ, предусмотренный проектной документацией (заданием на изыскания).

3.48

**поверхность дна моря** (seafloor): Поверхность контакта толщи воды и грунтового основания.

[ГОСТ Р 57123—2016, пункт 3.14]

3.49

**придонный газ** (shallow gas): Газ, содержащийся в грунтах и локализующийся на разных гипсометрических уровнях вблизи донной поверхности.

[ГОСТ Р 54483—2021, пункт 3.41]

3.50 **проектная документация** (project specification): Набор документов (включая задание на изыскания), определяющих требования к выполнению изысканий, методике и оборудованию.

3.51 **проба** (sample): Порция грунта или породы, отобранная ниже дна моря с использованием пробоотборника.

3.52 **производное значение** (derived value): Значение геотехнического параметра грунта, полученное в результате использования теории, корреляции или эмпирических зависимостей.

3.53 **протыкание грунта** (punch-through): Быстрое, неконтролируемое вертикальное движение опоры из-за провала грунта сквозь плотный грунт, залегающий над слабым грунтом.

3.54

**размыв** (scour): Перемещение грунтов морского дна от воздействия льда, волн, течений и работы движителей судов.

[ГОСТ Р 54483—2021, пункт 3.42]

3.55

**расчетный грунтовый элемент;** РГЭ: Основная грунтовая единица, выделяемая с учетом применяемого при проектировании грунтового объекта расчетного или экспериментального метода.

[ГОСТ 20522—2012, пункт 3.12]

3.56

**расчетное значение** (design value): Нормативное значение, умноженное (или поделенное) на соответствующий коэффициент надежности.

[ГОСТ Р 54483—2021, пункт 3.44]

3.57

**риск** (risk): Сочетание вероятности события и его последствий.

[ГОСТ Р 51901.1—2002, пункт 2.5]

3.58 **скважинный геофизический каротаж** (borehole geophysical logging): Измерение физических свойств вдоль скважины и/или грунта в околоскважинном пространстве, полученное с помощью одного или нескольких каротажных зондов, размещенных в скважине.

3.59 **скважинный каротаж** (in-pipe logging): Каротаж вдоль участка ствола или бурильной трубы между инструментом и стенкой скважины.

Примечание — Количество параметров, которые могут быть эффективно измерены в этих условиях, ограничено.

3.60 **скважинная модификация** (оборудования): Установка, опускаемая на морское дно через буровую шахту при помощи колонны труб.

3.61 **сопротивление сдвигу грунта в нарушенном сложении** (remoulded shear strength): Прочность на сдвиг, полученная на механически перемятом образце.

3.62 **устойчивость основания** (foundation stability): Способность основания обеспечивать достаточное сопротивление (выпору грунта), чтобы основание имело устойчивое состояние при подвергании воздействиям и постепенно возрастающей деформации.

3.63 **характеристика** (characterization): Описание, оценка и/или определение наиболее типичных показателей (свойств) на основе всех видов исследований на участке и других имеющихся данных.

3.64 **целиковая проба** (intact sample): Проба, которая была отобрана с целью сохранения ее естественных характеристик.

## 4 Обозначения и сокращения

### 4.1 Обозначения

В настоящем стандарте использованы следующие обозначения:

$a$ — чистый площадной коэффициент зонда (для статического зондирования);

$c_v$ — коэффициент консолидации (грунта);

$C_s$ — коэффициент расширения (для испытаний на уплотнение);

$h_{sf}$ — высота контрольной точки над поверхностью морского дна;

$f_s$ — трение по боковой поверхности (удельное сопротивление грунта на муфте трения);

$G$ — приведенный вес твердых частиц;

$G_{max}$ — начальный (при малых деформациях) модуль сдвига;

$I_L$ — показатель текучести (консистенция);

$I_P$ — число пластичности;

$i$ — уклон, отклонение;

$K_0$ — коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя ($= \sigma'_{h0} / \sigma'_{v0}$);

$M_v$ — коэффициент сжимаемости;

$\rho_s$ — плотность частиц грунта;

$p_{0'}$ — вертикальное эффективное напряжение в «массиве» ($= \sigma'_{v0}$);

$q_c$ — удельное сопротивление грунта под конусом;

$q_t$ — скорректированное удельное сопротивление грунта под конусом с учетом порового давления;

$s$ — толщина лопастей крыльчатки;

$s_u = c_u$ — сопротивление недренированному сдвигу (сопротивление сдвигу в недренированных условиях);

$s_{uC}$ — сопротивление недренированному сдвигу при трехосном статическом сжатии;

$s_{uD}$ — сопротивление недренированному сдвигу при простом статическом сдвиге;

$s_{uE}$ — сопротивление недренированному сдвигу при статическом трехосном расширении;

$s_{ufv}$ — сопротивление сдвигу грунта при полевых испытаниях на сдвиг крыльчаткой;

$s_{ufv,rem}$ — сопротивление сдвигу нарушенного грунта при скважинных испытаниях крыльчаткой;

$s_{ufv,res}$ — остаточное сопротивление грунта сдвигу при скважинных испытаниях крыльчаткой;

$S_t$ — чувствительность грунта;

$u_2$ — поровое давление, измеренное датчиком, расположенным непосредственно за конусом зонда (CPTU);

$v_p$ — скорость продольной (упругой) волны;

$v_s$ — скорость поперечной (сдвиговой) волны;

$v_{vh}$ — скорость сдвиговой волны, распространяющейся вертикально и горизонтально поляризованной;

$\xi$ — коэффициент затухания энергии колебательных движений в материале;

$\gamma_s$ — удельный вес грунта;

$\gamma'$ — удельный вес грунта во взвешенном состоянии (под водой);

$v$ — коэффициент Пуассона;

$\sigma$ — напряжение;

$\sigma_{v0}$ — общее вертикальное давление относительно дна моря «в массиве»;

$\sigma'_{v0}$ — вертикальное эффективное напряжение «в массиве» ($= p_{0'}$);

$\sigma'_{h0}$ — горизонтальное эффективное напряжение «в массиве»;

$\sigma'_p$ — напряжение переуплотнения;

$\Delta\sigma'_v$ — приращение вертикального эффективного напряжения;

$\phi'$ — эффективный угол внутреннего трения.

### 4.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВСП — вертикальное сейсмическое профилирование;

ГИС — географическая информационная система;

КД — консолидированно-дренированный;

КН — консолидированно-недренированный;

КНБК — компоновка низа бурильной колонны;

ЛТС — легкие технические средства;

СК — система координат;

СМК — система управления (менеджмента) качеством;

СММП — субаквальные многолетнемерзлые породы;

СПБУ — самоподъемная буровая установка;

BHA — нижнее переходное устройство (bottom hole assembly);

CCV — постоянно консолидированный объем (consolidated constant volume);

CPT — статическое зондирование (cone penetration test);

CPTU — статическое зондирование с измерением порового давления (electrical CPT with measurement of the pore pressures around the cone);

PPDT — диссипационное испытание (pore pressure dissipation test);

DPR — ежедневный отчет о полевой активности (daily progress report);

DS — плоскостной срез (direct shear);

DSS — простой одноплоскостной сдвиг (direct simple shear);

ERP — план по чрезвычайным ситуациям (emergency response plan);

FVT — полевое испытание крыльчаткой (field vane test);

HAZID — идентификация опасностей (hazard identification);

HAZOP — исследование опасности и работоспособности (hazard and operability studies);

HSE — здоровье, безопасность и охрана окружающей среды (health, safety and environment);

HSEMS — система управления здоровьем, безопасностью и охраной окружающей среды (health, safety and environment management system);

JSA — анализ безопасности работы (job safety analysis);

LAT — наинизший теоретический уровень (lowest astronomical tide);

MSCL — многопараметровый каротаж керна (multi-sensor core logging);

MSL — средний уровень моря (mean sea level);

OCR — коэффициент переуплотнения (overconsolidation ratio);

PEP — план выполнения работ (project execution plan);

ROV — дистанционно управляемое устройство (remotely operated vehicle);

RS — кольцевой сдвиг (ring shear);

SCPT — сейсмостатическое зондирование (seismic cone penetration test);

SH — сдвиговая волна (shear wave);

SHANSEP — история приложенных напряжений и нормализованные геотехнические параметры грунтов (stress history and normalized soil engineering parameters);

SIMOPS — план выполнения одновременных (синхронных) операций (simultaneous operations);

SOW — виды и объемы работ (scope of work);

SRB — сульфатредуцирующие бактерии (sulfate-reducing bacteria);

TC — трехосное сжатие (triaxial compression);

UU — неконсолидированно-недренированный (unconsolidated-undrained);

WGS — мировая географическая система (координат) (world geographic system);

YSR — коэффициент избыточного давления (yield stress ratio).

## 5 Цели, планирование и состав геотехнических исследований

### 5.1 Цели

Целью геотехнических исследований является получение необходимых и достоверных данных о грунтовой толще в ходе инженерных изысканий. Такие данные требуются для определения пригодности участка для размещения морского нефтегазопромыслового сооружения, расчета его устойчивости и осадки, а также для оценки возможных рисков.

Морские исследования грунтов геотехническими методами, как правило, направлены на определение физико-механических свойств грунтов путем сбора, обработки, интерпретации и оценки информации, полученной на основе деструктивных методов с использованием инструментов, проникающих в грунтовую толщу ниже морского дна. Заданием на изыскания могут быть также обозначены иные или специальные цели выполнения работ.

### 5.2 Планирование

Морские инженерно-геологические изыскания могут включать следующие виды работ в последовательности:

а) фондовые (архивные) исследования, включая оценку информации, доступной в открытых источниках, имеющихся геофизических данных, а также результаты любых предшествующих морских исследований грунтов в данном регионе;

б) малоглубинные геофизические исследования, не приводящие к нарушению грунтов;

в) геотехнические исследования грунтов, которые могут включать одну или несколько стадий для согласования с этапами проектирования (геотехнические исследования являются деструктивными и сопровождаются нарушением грунтов);

г) дополнительные комплексные исследования, которые объединяют информацию, собранную в ходе фондовых работ, малоглубинных геофизических исследований и морских геотехнических исследований.

Малоглубинные геофизические исследования, как правило, включают:

- изучение строения морского дна с использованием однолучевого или многолучевого эхолотирования;
- исследование особенностей строения морского дна и опасностей с использованием таких методов, как гидролокация бокового обзора и магнитометрия;
- изучение строения грунтовой толщи с применением сейсмоакустического и сейсмического профилирования (как правило, с использованием метода отраженных волн).

Для изучения грунтовой толщи на больших глубинах (ниже зоны ее взаимодействия с основанием проектируемого сооружения и глубже 100 м), как правило, используются сейсмические методы и оборудование (сейсмика высокого и сверхвысокого разрешения).

Примечания

1 Геофизические исследования не рассматриваются в настоящем стандарте, однако, использование результатов таких исследований важно для изысканий и построения модели грунтовой толщи.

2 Указания по применению геофизических исследований приведены в СП 504.1325800.2021, СП 11-114—2004, а также в [1], [2].

В случае выполнения сокращенного объема работ (например, из-за ограничений по времени, доступности района или ведомственных ограничений), геотехнические исследования, как правило, выполняются вслед за малоглубинными геофизическими исследованиями, с целью предварительного изучения геологического строения и подтверждения сейсмоакустических данных. Результаты малоглубинных геофизических исследований, сами по себе или как дополнение к фондовым исследованиям, обычно недостаточны для выполнения проектирования морских нефтегазопромысловых сооружений.

Малоглубинные геофизические исследования могут охватывать большой участок морского дна и позволяют выявить локальные и существенные особенности на поверхности дна и под ним:

- погребенные каналы или ледовые борозды;
- эрозионные формы;
- оползни или смещение осадков под действием гравитационных сил;
- разломы, располагающиеся близко к донной поверхности;
- газ, газовые карманы или потенциальные газовые карманы;

- специфичные особенности на морском дне (например, оспины, конкреции, скопления хемосинтезирующих организмов, кратеры грязевых вулканов, языки и потоки бурового шлама и пр.).

Морские исследования грунтов включают: каротаж, испытания грунтов «в массиве», инженерно-геологическое бурение и пробоотбор, а также полевые (судовые) и береговые (стационарные) лабораторные испытания, обработку и интерпретацию геотехнических данных и подготовку отчета. В последующих разделах настоящего стандарта даны специальные указания по выбору соответствующего оборудования и методике выполнения работ. Сроки выполнения работ определяются календарным планом и общим планированием работ. Сокращение сроков проведения геотехнических исследований может отрицательно сказываться на их достоверности и последующем проектировании, в частности, при обнаружении незапланированных находок, объектов и осложнений, которые могут потребовать выполнения дополнительных работ.

При планировании работ на проекте необходимо учитывать такие их составляющие, как стадийность работ, требования к самому морскому сооружению и уровень возможного риска.

Примечание — Примерами этапов могут быть: подготовка документов территориального планирования, документации по планировке территории и выбору площадки, этапы архитектурно-строительного проектирования, эксплуатация и реконструкция сооружений. Уровень риска, как правило, определяется вероятностью и последствиями осложнений, которые могут наступить в результате влияния геологических опасностей. При проектировании обычно учитывается явный и возможный риски.

Требования к геотехническим исследованиям для морских сооружений определяются рядом факторов, которые могут влиять на плановые виды и объемы работ, размеры участка и глубинность исследований:

- этап проектирования;
- тип проектируемого морского сооружения и его характеристики, включая габариты, глубину заложения фундамента, нагрузки, передаваемые на грунт и др.;
- соответствующие проектные характеристики объекта, такие как несущая способность, устойчивость, допустимая осадка/смещение, глубина заложения фундамента, взаимодействие грунта с сооружением, аспекты монтажа/демонтажа и т. п.;
- критичность проектных параметров и вероятная необходимость оптимизации проектных и соответствующих им значений геотехнических параметров;
- применимые методы для решения/анализа различных проектных задач;
- геологические опасности и др.

Диапазон глубин исследований может изменяться от нескольких метров (ниже поверхности дна моря) для морских трубопроводов, до глубин, как правило, менее 100 м. Однако могут также выполняться изыскания на глубину более 100 м, обычно для характеристики различных геологических опасностей.

При планировании морских геотехнических исследований, как правило, учитывают следующие факторы:

- типы проектируемых морских сооружений и характер их взаимодействия с грунтовым основанием;
- необходимость определения инженерно-геологических условий участка и соответствующих геологических опасностей;
- результаты фондовых исследований, предшествующих геофизических и геотехнических работ;
- имеющиеся данные о грунтовой толще, геологических особенностях и опасностях, включая мелкозалегающий газ;
- иные факторы, такие как гидрометеорологические условия, существующие объекты в районе работ, местоположение участка (например, удаленность, возможная политическая нестабильность, опасность для человека и окружающей среды), захороненные боеприпасы, возможность обнаружения загрязненных грунтов и др.;
- воздействие оборудования для исследований на дно моря (см. подробную информацию в 6.4);
- нормативные и правовые требования.

Исследование загрязненных грунтов может потребовать использования специального оборудования и процедур.

Неоднородность строения грунтовой толщи и рельефа дна на площадке являются важными факторами, влияющими на объемы морских исследований. Исследования, как правило, выполняются в местах, где предполагается наличие изменчивости донного рельефа и строения грунтовой толщи, если

это имеет важное значение для сооружения, а также в местах с наиболее характерными условиями для всего участка. Местоположение инженерно-геологических выработок задается с целью достоверного и достаточного изучения инженерно-геологических условий участка (площади, территории).

Выбор судна, оборудования и процедур, как правило, включает следующие аспекты:

а) организационные требования, в частности:

- требования безопасности (безопасность и охрана окружающей среды) по конкретному проекту (например, возможность обнаружения придонного газа);
- местные гидрометеорологические условия;
- работоспособность оборудования по достижению проектной глубины;

б) требования к качеству, в частности:

- точность определения глубины моря и разрешающая способность при контроле глубины ниже дна моря;
- отклонение фактического местоположения от планового положения;
- требования к пробоотбору (например, необходимо ли использование тонкостенных поршневых пробоотборников, снабженных башмаком с острыми режущими краями);
- применимость и потребность видов испытаний, которые предполагается выполнять в данных грунтовых условиях;
- необходимость выполнения скважинного каротажа;
- точность определения глубины моря;
- наличие уклона или неровностей морского дна, при размещении оборудования и их влияния, например, на контроль глубин.

Планирование и объем работ могут быть изменены в ходе морских исследований грунтов после предварительных анализа и оценки результатов полевых работ после того, как только они станут доступны. Такие изменения могут быть предложены подрядчиком работ и согласованы с заказчиком.

### 5.3 Объем работ

#### 5.3.1 Ответственность и обоснование видов и объемов работ

Размеры участка изысканий, глубинность и детальность морских исследований определяются в задании на изыскания. Виды и объемы работ, а также очередность их выполнения указывают в программе изысканий, разрабатываемой подрядчиком и согласовываемой с заказчиком в соответствии с СП 47.13330.2016.

При подготовке и планировании изысканий следует проанализировать возможность осуществления работ, которые могут быть не завершены или не выполнены в заданные сроки, для того чтобы предусмотреть вариант соответствующих действий.

Примечание — В проекте может использоваться несколько заданий (по разным видам работ).

При выполнении работ, в частности, организации морских операций, необходимо определить ответственность сторон за получение различных разрешительных документов, оформление допусков, выполнение согласований, действий по снижению последствий воздействия и прочих мероприятий, в соответствии с требованиями местного и/или федерального законодательства. Как правило, ответственность сторон определяется условиями договора. К таким вопросам при инженерных изысканиях на шельфе обычно относятся (но не ограничиваются):

- соблюдение требований к судовождению (например, по минимальной безопасной дистанции от существующих объектов в районе работ);
- требования к выполнению работ в зависимости от глубины моря, уклона и неровности морского дна;
- операции при риске встретить на участке работ придонный газ, неразорвавшиеся боеприпасы, загрязненный грунт и другие опасности;
- получение допусков и разрешений для выполнения работ на участке, включая вывоз и доставку образцов проб и керна.

Если заказчик обладает информацией, которая позволяет организовывать работу на объекте или содержит данные о гидрометеорологических, геологических или иных природных условиях в районе работ, то она должна быть доступна и для подрядчика (см. СП 47.13330.2016).

Задание на изыскания должно содержать четкие и достижимые цели морских геотехнических исследований. Сроки изысканий должны быть объективно достаточными для выполнения работ в указанных условиях и районе (см. СП 446.1325800.2019).

В задании на изыскания, если применимо, должна содержаться информация о планируемом типе основания морского сооружения, его технических характеристиках и критических параметрах (конструктивные и иные характеристики и их значения, превышение которых может оказаться критическим, привести к нарушению, выходу из строя морского сооружения или его частей, которые обычно определяются проектировщиком).

Задание на изыскания не может содержать требования к видам и объемам инженерных (в том числе геотехнических) изысканий, но должно включать информацию и требования, необходимые и достаточные:

а) для определения видов и объемов каротажа, бурения, пробоотбора и испытаний, состоящих:
- из типа, количества, местоположения и глубины испытания грунтов в массиве (см. раздел 8);
- типа, количества, распределения, местоположения и глубины пробоотбора (см. раздел 9);
- типа и количества морских (судовых) и береговых (стационарных) лабораторных испытаний (см. раздел 10),

б) для выбора соответствующего судна или иного носителя, оборудования и технологий (см. разделы 5—10);

в) для набора получаемых свойств и параметров;

г) для состава и содержания отчета, включая форму представления результатов работ и интерпретации любых сопутствующих данных (см. раздел 11).

Виды и объемы работ определяются, с одной стороны, требованиями задания (детальность, размеры, глубинность исследований, особенности сооружения и пр.) и нормативных документов (своды правил, ГОСТы, документы технического регулирования), с другой — конкретными природными (в частности, инженерно-геологическими) условиями на участке изысканий. Виды и объемы инженерно-геологических изысканий на континентальном шельфе определяются СП 11-114-2004 и СП 504.1325800.2021 и могут быть использованы для выполнения изысканий для других частей и районов морей.

**5.3.2 Стандартные и определенные проектом классы точности**

В следующих пунктах настоящего стандарта (6.2.3, 6.3, 7.5, 8.3.3, 8.5.3, 8.7.3, 9.5) приведена информация по требованиям, которые должны быть определены в задании на изыскания, которые, в частности, указывают стандартные классы точности. Классы точности должны соответствовать целям морских геотехнических исследований.

Стандартные классы точности и методы — это применяемые на практике классы и методы, если иные не определены в задании (см. 6.2.3); они включают:

а) погрешность измерения глубины (см. 6.2.3); стандартным является класс Z4, за исключением пробоотбора, выполняемого без жесткой привязки оборудования к поверхности морского дна, где стандартным классом применения является класс Z5 (см. 9.5 и Б.1.2.3);

б) требования к погрешности при испытаниях «в массиве»:
- для CPT/CPTU; см. 8.3.3.1; стандартным является класс Z3;
- испытания скважинной крыльчаткой (см. 8.7.3); стандартным является класс Z2.

При оценке требуемой погрешности необходимо четко указать параметр: расхождение между двумя точками измерений (глубины) или погрешность измерения в одной точке (при разных измерениях), и указать допустимый уровень количественного разброса измерений. При измерении глубины погрешность определения вертикального расстояния между двумя точками может быть более важной, чем погрешность определения глубины в каждой точки. Также по проекту или условиям задания более достоверное определение мощности слоя грунта может быть более важным, чем измерение глубины залегания его кровли или подошвы. Следует учитывать, что глубина и мощность грунтового тела могут изменяться в пределах площадки, поэтому определение глубины его положения в некотором месте с высокой точностью может быть ненужным, если изменчивость по глубине между различными точками наблюдений существенно выше или неизвестна.

Если в задании не указаны какие-либо требования к точности или стандартные классы согласно настоящему стандарту, то используется практика подрядчика, которая описывается в программе работ.

### 5.4 Требования в области охраны здоровья, промышленной безопасности окружающей среды для проведения морских операций

Исследование морских грунтов должно соответствовать требованиям местного и/или федерального законодательства и требованиям проекта. Морские операции следует проводить согласно плану по безопасности (HSE). Соответствующий план HSE может быть частью проектной документации проекта, см. А.2.

На судне должна действовать система менеджмента охраны здоровья, промышленной безопасности и охраны окружающей среды (HSEMS). Судовая система HSEMS должна соответствовать требованиям международных кодексов и конвенциям [3]—[6], когда это применимо.

Участники работ должны знать процедуры по промышленной безопасности, необходимые для безопасного выполнения задач, в которых они участвуют (анализ безопасности работ — JSA), если применимо; а также общие правила безопасности на борту судна. Операторы исследовательского оборудования должны пройти надлежащее обучение и иметь опыт использования оборудования. Соответствующие лица должны знать требования к отчетности по происшествиям в области охраны здоровья, промышленной безопасности окружающей среды (HSE). Все происшествия и несчастные случаи должны быть зафиксированы соответствующим образом.

Особое внимание следует уделять «специально мобилизованным» судам в отличие от судов специального назначения для исследований морского грунта. Необходимо иметь гарантии, что все временно мобилизованное оборудование установлено и эксплуатируется безопасно, что взаимодействие между постоянным экипажем судна, члены которого могут быть незнакомы с операциями по исследованию морского грунта, и временными членами экипажа (например, навигаторы, представитель(и) заказчика и любые другие члены специальных групп) осуществляется надлежащим образом.

В плане по безопасности (HSE) по проекту должны быть предусмотрены действия при потенциальном опасном воздействии исследовательского оборудования на морскую среду (например, при изливе/разливе бурового раствора, повышенных акустических шумах).

### 5.5 Прочие требования

#### 5.5.1 Операционные требования

При выборе судна и оборудования для проекта необходимо учитывать природные условия на участке планируемых работ, в частности: глубину моря, уклон морского дна, гидрометеорологические условия, возможность геологических опасностей (например, мелкозалегающие газ и газовые гидраты, мерзлые породы и другие осложняющие факторы), а также предполагаемые виды исследований. Ответственность за подготовку и учет таких факторов может быть определена условиями договора. За основу при определении пригодности судна (его размер, класс и пр.) принимается безопасность морских операций и персонала в ходе выполнения работ.

Оборудование, используемое в ходе исследования морского грунта, должно сопровождаться технической документацией, состоящей из рабочих инструкций, а также процедур по его обслуживанию. Когда исследовательское оборудование или устройства могут критично взаимодействовать или влиять друг на друга, такое воздействие необходимо учитывать при организации работ.

Требования к позиционированию судна, а также позиционированию оборудования (например, забортного), должны быть определены заданием на изыскания. Дополнительные методические указания приведены в 6.3.

#### 5.5.2 Требования к качеству

Для подготовки и планирования геотехнических работ должны привлекаться опытные и квалифицированные специалисты, имеющие практический опыт в выполнении соответствующих морских инженерно-геологических изысканий.

Заказчик должен применять соответствующую систему управления качеством на проекте, а также постоянно осуществлять контроль качества, используя компетентных специалистов, наделенных достаточными полномочиями на всех этапах исследований. Подрядчик должен иметь и использовать в работе сертифицированную СМК, соответствующую ГОСТ Р ИСО 9001.

План управления качеством по проекту (QP) должен быть включен в общую программу работ (план выполнения проекта — PEP) (см. А.2). В нем должны быть определены организационные обязанности, ответственность, выполняемые процедуры, а также даны ссылки на применимые инструкции и правила с тем, чтобы обеспечить исполнение программы исследований в полном объеме.

#### 5.5.3 Специальные требования к исследованию нетипичных грунтов

Требования и рекомендации настоящего стандарта разработаны для использования при работе с обычными грунтами, т. е. силикатными песками и глинами терригенного происхождения, обладающими достаточно понятными общими свойствами, и в отношении которых имеется обширная практика проведения морских исследований. При выполнении морских инженерно-геологических изысканий в новых и ранее недоступных районах, или в районах, где предполагается наличие нетипичных грунтов, может потребоваться специальное обращение или операции. К таковым можно отнести, например:

- терригенные отложения повышенной категории по буримости (моренные суглинки, мерзлый грунт и др.);

- специфические терригенные отложения (вулканический пепел и пылеватые грунты, глауконитовые, слюдистые отложения и др.);

- нетерригенные отложения [например, карбонатные отложения (см. примечание ниже), карбонатизированные грунты, кремнистые опоки и др.].

Применяемые оборудование, методы и процедуры также могут требовать соответствующей адаптации для исследования подобных грунтов и их характерных свойств, так как они могут создать определенные трудности для достоверной оценки инженерно-геологических условий и геологических опасностей. В таблице А.5 даны примеры подобных грунтов со специфическими свойствами, которые могут потребовать особого внимания при изысканиях.

Примечание — Карбонатные отложения служат примером, как необходимо корректировать методику исследований в конкретном типе грунтов: такие скальные грунты могут иметь разную степень сцементированности (от слабосцементированных до сильно сцементированных). В частности, пески могут содержать более 15 %—20 % карбонатного материала. Поэтому при планировании морских изысканий важно использовать достаточную гибкость, определяя объемы и виды работ, и иметь возможность перераспределять их между собой [например, между инженерно-геологическим (геотехническим) бурением, пробоотбором и испытаниями «в массиве»] в зависимости от того, что окажется более пригодно и достоверно в реальных условиях. Для таких грунтов следует предусмотреть специальную программу, как для полевых, так и для лабораторных работ, и иметь резервный объем исследований.

Общие рекомендации по исследованию нетипичных грунтов приведены в А.3.

## 6 Применяемое оборудование

### 6.1 Модификации используемого оборудования

#### 6.1.1 Общие положения

Оборудование для морских геотехнических исследований может применяться (разворачиваться) различными способами. Выбранный метод может определяться необходимыми требованиями к качеству и глубинности исследований. Заказчик должен понимать, что выбранное оборудование и способ его применения пригодны для получения геотехнических данных необходимого качества и соответствуют целям работ.

#### 6.1.2 Забортная модификация (без использования бурения)

Такой режим (модификация) подразумевает способы, при которых инструмент для морских исследований или отбора керна опускается на дно моря и потом внедряется в грунтовую толщу за одинарный проход (рейс) до «отказа оборудования» или до заранее определенной глубины. Диапазон такого проникновения может составлять от 0,5 до 25 м ниже дна, в зависимости от типа оборудования и инженерно-геологических условий участка (состава грунтовой толщи). Для пенетрации и отбора керна на глубину более 25 м следует использовать специальное оборудование. Такая глубина проникновения возможна в толще, сложенной слабыми и текучими грунтами.

Для данного способа используется широкий набор геотехнического оборудования. Наиболее современные и технически сложные образцы сначала опускаются и устанавливаются на дно моря до начала пенетрации и проведения испытаний. Самые простые устройства просто опускаются (например, роняются под воздействием гравитационной силы), до столкновения с поверхностью морского дна, что позволяет им внедряться в грунт «до отказа» за счет собственного веса; после этого грунтонос извлекается из грунтовой толщи и поднимается на палубу.

Качество получаемых данных таким способом может изменяться в зависимости от уровня сложности оборудования. Более современные установки, применяемые в забортном режиме и устанавливаемые на дно, позволяют отбирать образцы высокого качества или выполнять испытания «в массиве». С другой стороны, более простые устройства, не имеющие компенсации вертикальных перемещений, при управлении ими набортной лебедкой, например, гравитационные пробоотборники, поршневые трубки типа Кулленберга и вибропробоотборники могут обладать ограниченными возможностями получения высококачественных образцов (но они менее требовательны к судовому и грузоподъемному оборудованию, мобильнее и проще в эксплуатации).

Общим недостатком данной (забортной) модификации является ее неспособность обеспечить необходимую проектную глубину проникновения; например, когда грунтовая толща сложена пересла-

ивающимися отложениями, при этом верхние отложения могут быть более плотными и прочными, чем их подстилающие.

Несмотря на это, такое оборудование широко используется для получения геотехнических данных в благоприятных инженерно-геологических условиях, поскольку оно недорогое, производительное и его можно использовать на различных судах (не только специализированных).

**6.1.3 Скважинная модификация**

6.1.3.1 Общие положения

В скважинном режиме каротажное, пробоотборное и испытательное оборудование внедряются в грунтовую толщу, продвигаясь от поверхности морского дна вниз от забоя (скважины) посредством вращательного бурения.

Операции в режиме бурения могут выполняться либо с поверхности моря (например, с судна), или альтернативным способом с использованием дистанционно управляемой буровой установки, устанавливаемой на дно моря (донное бурение).

Геотехническое оборудование опускается на забой скважины при помощи различных технологий и устройств, включая шлангокабель, посредством свободного падения и/или посредством перемещения и извлечения самой бурильной колонны. Специальный инструмент, после достижения забоя, забуривается электрическими, гидравлическими или механическими средствами на максимальную длину хода штанг/труб до проектной глубины или до предельной физической способности системы.

После окончания испытаний или выполнения отбора керна на определенной глубине инструмент либо извлекается на поверхность с колонной или без нее (бурение с судна), или временно остается в донной буровой установке (донное бурение). Скважина далее углубляется/разбуривается до следующего интервала проведения испытаний «в массиве» или отбора керна/проб. Таким образом, осуществляется «опережающее» опробование и тестирование грунтовой толщи, при котором эти операции выполняются в еще не разбуренной, целиковой части грунтовой толщи.

Дополнительные рекомендации по вращательному бурению даны в разделе 7.

6.1.3.2 Инженерно-геологическое бурение с поверхности моря или над ним

Такое инженерно-геологическое бурение может выполняться:

а) с судна, оснащенного якорной системой стабилизации или системой динамического позиционирования, например, специализированного бурового судна, баржи или аналогичного носителя,

б) с опирающейся на морское дно платформы, например, самоподъемной буровой установки, или стационарного морского сооружения.

Судовая буровая установка испытывает воздействие природных факторов (качка, волнение). Вертикальная стабильность бурильной колонны при работе с судна может управляться или контролироваться посредством:

- донной рамы/плиты с системой «жесткого крепления» для компенсации вертикальной качки,
- компенсатора вертикальных перемещений, установленного на буровом судне (ином плавучем носителе), который компенсирует вертикальную качку.

Менее сложные (продвинутые) судовые буровые установки не имеют компенсаторов вертикальной качки. Дополнительная информация о стабильности бурильной колонны и точности измерения глубины скважины дана в Б.1.

6.1.3.3 Донное бурение

Забортные установки бурения либо опускаются на поверхность морского дна и обеспечиваются управлением и снабжением посредством шлангокабеля, либо с использованием лебедки с постоянным натяжением для предохранения буровой установки от движений судна. Все операции затем выполняются с помощью дистанционного управления.

Устойчивость буровых систем на морском дне в значительной степени зависит от характеристик основания, поддерживающего установку. Сложные буровые установки могут снабжаться системами, обеспечивающими способность самовыравнивания установки, а также осуществлять мониторинг ее вертикальных перемещений относительно дна моря для повышения точности измерений глубины скважины. Менее сложные донные установки могут не иметь приспособлений для контролируемого спуска на дно и стабилизации на нем, что может вызывать неконтролируемое переуглубление основания установки в грунт при спуске, увеличивает вероятность ее крена и неточную оценку фактической глубины скважины.

Воздействие спускаемого оборудования на морское дно может привести к его нарушению и изменению естественных характеристик природных свойств грунтов верхней части разреза. Данный фактор дополнительно рассматривается в Б.2.

### 6.2 Точность измерений глубины

#### 6.2.1 Общие положения

Точность вертикальных измерений (глубины) является очень важным параметром при выполнении геотехнических исследований. Точное измерение глубины вдоль скважины помогает обеспечить, например:

- достоверное определение изменчивости границ грунтовой толщи;
- корректное применение соответствующего природного напряжения и порового давления в грунте для оценки свойств «в массиве»;
- возможность точной корреляции результатов, полученных по образцам и данным полевых испытаний («в массиве»);
- определение соответствующих эффективных напряжений, используемых при разработке последующей программы лабораторных испытаний.

#### 6.2.2 Факторы, влияющие на точность вертикальных измерений в скважине

Точка измерения может быть определена на любой конкретной глубине ниже поверхности морского дна, на которой осуществляется определение физико-механических свойств грунтов. Точность измерения глубины в такой точке может изменяться в зависимости от модификации использованного геотехнического оборудования (забортная или судовая установка); вертикальной устойчивости оборудования в ходе пенетрации и испытаний/опробования; точности, с которой могут быть выполнены вертикальные измерения; а также точности, с которой может быть определено расстояние между точкой снятия показаний и основанием оборудования для исследований (зонда, грунтоноса и пр.). Например, достижимая погрешность при определении глубины при использовании судовой буровой установки может зависеть от характера гидрометеорологических воздействий на поверхности моря, соответствующей качки судна, глубины моря, характеристик системы компенсации вертикальной качки судна и возможности стабилизации установки на морском дне в процессе бурения или зондирования. В отличие от этого точность измерения глубины, достигаемая при использовании забортной системы, устанавливаемой на морском дне, может определяться способностями системы мониторинга, используемой для оценки уровня и стабильности такой донной установки относительно поверхности морского дна, а также измерения длины хода бурильной колонны или пенетрационных штанг в скважине.

Точность измерения глубины может также зависеть от характеристик грунтоноса и самого процесса выполнения пробоотбора. Например, при неполном выходе керна (когда длина рейса не соответствует длине керна) местоположение полученного образца грунта часто основывается на оценке инженера-геолога, отбирающего пробы. Это может добавить неопределенность для оценки фактической глубины, с которой образец был взят.

Дополнительная информация о точности измерений вертикальной глубины приведена в Б.1.

#### 6.2.3 Определение классов точности измерения глубины

В задание на изыскания следует включать требования к классу точности измерения глубины при выполнении геотехнических исследований в зависимости от предназначения получаемых данных, с учетом реальных возможностей рассматриваемого оборудования. Различные степени точности определения глубины могут указываться для испытаний «в массиве» и для пробоотбора.

Документация, подтверждающая достижимость целей проекта предлагаемым исследовательским оборудованием и используемым классом точности, должна быть предоставлена подрядчиком. Если предполагается, что точность измерения глубины будет меняться в зависимости от глубины моря и/или глубины скважины, разные классы точности должна быть применены для таких условий и участков.

Классы точности измерения глубины представлены в таблице 1. Информация по факторам, влияющим на точность для различных типов оборудования, а также основные параметры для учета при вычислениях содержатся в Б.1.

Таблица 1 — Классы точности измерения глубины относительно поверхности морского дна

| Класс точности | Допустимая погрешность измерения, м |
|---|---|
| Z1 | 0,1 |
| Z2 | 0,5 |
| Z3 | 1,0 |
| Z4 | 2,0 |
| Z5 | Более 2,0 |

Если требование к точности измерения глубины не определено заданием на изыскания, то следует использовать стандартный класс «по умолчанию» Z4, за исключением опробования, осуществляемого без жесткой привязки к донной поверхности, для которого стандартным классом будет Z5 (см. 9.5 и Б.1.2.3).

### 6.3 Требования к навигационно-геодезическому обеспечению

Требования точности определения планового местоположения судна и оборудования, а также непосредственно устья инженерно-геологической выработки (с учетом допустимых отклонений) должны быть указаны в задании на изыскания (как это также указано в 5.5.1).

Точность, с которой на поверхности морского дна определяется положение устья скважины и/или оборудования, является важным параметром в массиве геотехнических данных, так как:

- текущие точки исследований/инженерно-геологические выработки и данные сопоставляются с предыдущими и прогнозируемыми и влияют на проектируемое сооружение;
- позволяет избежать или обойти выявленные места опасностей на морском дне, включая уже существующие объекты, естественные препятствия, участки с крутыми уклонами, зоны с проявлениями придонного газа и другими осложнениями.

Должны быть указаны: геодезическая система и ее параметры, система высот (глубин); при необходимости пересчета геодезических или батиметрических данных в другие системы следует указать параметры пересчета или ссылку на источник таких данных. Перед началом исследований должны быть выполнены калибровки используемого навигационно-геодезического оборудования и измерения глубин с целью определения соответствующих поправок.

Допустимая погрешность при выполнении навигационно-геодезических и гидрографических измерений может определяться:

- типом проектируемого сооружения;
- типом, разрешающей способностью и доступностью навигационно-геодезического оборудования для проекта;
- близостью уже существующих объектов (включая погрешности определения их местоположения);
- изученностью морфологии морского дна: глубиной моря, уклонами поверхности морского дна, природными особенностями и осложнениями на дне.

Дополнительные указания по требованиям к навигационно-геодезическому обеспечению содержатся в СП 504.1325800.2021, СП 11-114—2004 и международных нормативах [7], [8].

### 6.4 Воздействие оборудования на морское дно

Современное геотехническое оборудование может воздействовать на грунтовую толщу до момента начала получения информации.

Воздействие таких опускаемых на дно устройств может приводить к нарушению и созданию избыточного давления на верхнюю часть грунтовой толщи, которое может оказаться губительным для качества и достоверности получаемых данных. Предполагаемое взаимодействие геотехнического оборудования и придонных отложений должно быть выяснено до начала исследований.

Также крутизна, уклон поверхности морского дна может существенно затруднить работу используемого оборудования. Подробная информация о морфологии морского дна обычно используется для оценки возможности использования оборудования для исследований и возможности им безопасно оперировать в полевых условиях.

Дополнительные указания относительно воздействия и нарушения естественного сложения грунтов верхней части, а также использования оборудования при значительных уклонах рельефа даны в Б.2.2 и Б.3 соответственно.

## 7 Инженерно-геологическое бурение и каротаж

### 7.1 Общие положения

Инженерно-геологическое бурение может выполняться либо с поверхности моря (бурение с судна) или альтернативным образом, с использованием дистанционно управляемой донной буровой установки (донное бурение). Различные варианты использования оборудования определены в 6.1.

В обоих вариантах выполнения бурения, указанных выше, забой скважины продвигается вперед за счет комбинированного воздействия вращающейся режущей части колонны (породоразрушающий инструмент) на материал на забое и движения бурового раствора, который вымывает образующийся шлам и выносит его во взвешенном состоянии наверх по затрубному пространству между бурильной колонной и стенками скважины (или внутри обсадной колонны).

Определенное нарушение грунта впереди породоразрушающего инструмента является неизбежным и может оказывать измеряемое влияние на качество данных. Избыточная или меняющаяся нагрузка на долото увеличивает нарушенность грунта, поскольку оно воздействует на природный материал на забое. Избыточное давление буровой жидкости может привести также к размягчению или эрозии природного грунта на забое. Нарушенность грунта часто можно оценить при анализе и сопоставлении результатов изысканий по данным пробоотбора и испытаний «в массиве». Величина нарушенности естественного состояния грунта на забое, а также величина такого влияния будет выше в слабых грунтах. Для плотных глинистых отложений (полутвердые и выше) такое воздействие может быть несущественным. В морских водонасыщенных песках создаваемое избыточное поровое давление на забое быстро (мгновенно) исчезает, рассеивается после снятия нагрузки.

Для морских геотехнических работ вертикальная стабильность бурильной колонны или колонны зондировочных штанг при проходке инженерно-геологической выработки является критичной для получения достоверных и качественных данных. Изменяющаяся нагрузка на забое под долотом или зондом, а также соответствующие таким изменениям смещения при пробоотборе и испытаниях грунта в массиве, могут негативно повлиять на результат. Стабилизация колонны существенно зависит от типа оборудования, применяемой модификации, способа применения буровой установки. Дополнительная информация дана в 6.1.

Качественное выполнение буровых операций является важным фактором, влияющим на достаточность и достоверность морских геотехнических исследований. В разделе 7 и приложении В даны общие рекомендации по выбору подходящего бурового оборудования и процедуры проведения работ, основывающихся на проектных требованиях, а также целях, поставленных перед бурением.

### 7.2 Проектные требования к бурению

Как правило, на выбор бурового оборудования для морских геотехнических исследований влияет перечень основных требований к данному виду работ, определенных условиями проекта, который может определяться следующими факторами:

а) предполагаемыми инженерно-геологическими условиями участка, возможными опасностями для глубокого бурения, например, наличием придонного газа, слабых или неоднородных грунтов, многолетнемерзлыми породами и др.;

б) необходимой глубинностью изучения разреза, в том числе посредством геотехнических исследований, а также основными целями таких работ, т. е.:

1) получением параметров и свойств грунтов «в массиве», в естественном сложении и/или

2) отбором керна с целью исследований грунтов в лабораторных условиях;

в) морфологией и характеристиками донной поверхности на участке (глубина моря, его неоднородность и уклон);

г) гидрометеорологическими условиями (течения, колебания уровня, температурный режим);

д) природным воздействием на донную поверхность и водную толщу (дрейфующий лед, айсберги, стамухи и пр.);

е) техногенным воздействием и факторами (существующие конструкции, захороненные объекты, движение судов, наличие зон с особым режимом и пр.);

ж) допустимой погрешностью (точностью) измерений глубины относительно дна (см. 6.2);

и) вопросами техники безопасности и охраны окружающей среды, например, требованиями и ограничениями по выбросам в окружающую среду, использованием бурового раствора и т. п.;

к) вопросами логистики, например, условиями доставки персонала, оборудования и снабжения, сроками выполнения работ и пр.

### 7.3 Задачи инженерно-геологического бурения, выбор оборудования и процедур

Бурение при выполнении морских инженерно-геологических изысканий, как правило, направлено на решение следующих задач (одной или нескольких):

- получение достоверных и достаточных данных о грунтовой толще, при отборе минимально нарушенного керна и проб, для возможности использования результатов изысканий и определения необходимых физико-механических свойств и параметров для проектирования;

- обеспечение непрерывности ряда данных, получаемых вдоль скважины (при допустимости ухудшения качества данных за счет увеличения частоты их регистрации, например, при изучении грунтового разреза, представленного телами и слоями, для которых требуется более частая, насколько это возможно, регистрация или получение данных);

- максимальное увеличение скорости проходки скважины (глубинности исследований) при достаточном качестве и непрерывности получаемых данных, а также при достижении проектной глубины и требуемом охвате по площади; если, например, проект имеет ограничения по времени или бюджету и необходимо определить кровлю несущего слоя или пробурить пилотную скважину;

- минимизация риска инцидентов с придонным газом. При быстром извлечении инструмента, извлекаемом на кабель-тросе из грунтовой толщи, возможен выброс придонного газа (свабирующий эффект). Для этого также может потребоваться пробурить пилотную скважину и определить наличие в разрезе скопления придонного газа, что позволит устранить соответствующие риски в том числе, при последующем поисково-разведочном или эксплуатационном бурении.

Выбор бурового оборудования и буровых процедур должен основываться исходя из задач бурения, с учетом предполагаемых инженерно-геологических условий. Для определения технологии пробоотбора при бурении могут быть использованы требования СП 504.1325800.2021, СП 11-114—2004 и настоящего стандарта.

Дополнительные указания по выбору бурового оборудования и процедур даны в приложении В.

### 7.4 План проведения геотехнических операций

Специальный план/процедура выполнения буровых операций (см. В.3) или программа работ по проекту (см. А.2) должны детально описывать процесс бурения, последовательность различных операций в ходе его выполнения, порядок действий и мероприятий при нештатных ситуациях, от выхода и постановки на точку бурения до полного завершения каждой инженерно-геологической выработки, включая процедуры отбора керна и проб из него, скважинных испытаний и каротажа.

План выполнения буровых/геотехнических операций составляется отдельным документом, если содержит большой объем информации, описывает много возможных ситуаций и в работе применяется разнообразное и/или нестандартное оборудование; и такая информация не может быть в достаточном объеме отражена в программе работ.

Такие план или процедура(ы) направлены:

а) на подтверждение гарантии того, что в ходе подготовки и мобилизации к полевым работам:

- имеется вся необходимая информация;
- предлагаемые технологии и оборудование обеспечивают достижение всех проектных задач;
- на стадии подготовки было уделено должное внимание потенциальным опасностям для бурения;
- составлены планы/процедуры работ в аварийных/нештатных ситуациях;

б) на обеспечение контроля за выполнением буровых/геотехнических и сопутствующих операций на этапе полевых работ.

Степень детализации и уровень проработки плана/процедуры зависит от сложности инженерно-геологических условий, характера решаемых задач, применяемых технологий и оборудования, в том числе от необходимости использования нового или усовершенствованного оборудования.

При выполнении морских инженерно-геологических изысканий возможны осложнения из-за различных геологических/природных опасностей, например, в районах распространения СММП, придонного газа, литодинамических процессов и др.

Для таких районов необходимо подготовить специальные план или процедуру с описанием действий в случае воздействия или осложнения подобными геологическими/природными факторами. Например, в случае бурения в районах распространения скоплений придонного газа или мерзлых грунтов, такими планом или процедурой должно быть предусмотрено бурение пилотной скважины перед выполнением геотехнических работ.

Дополнительные указания по составу плана выполнения буровых/геотехнических работ и по оценке риска в связи с геологическими опасностями даны в приложении В.

### 7.5 Регистрация параметров бурения

В процессе инженерно-геологического бурения необходимо проводить регистрацию эксплуатационных и технических параметров системы либо вручную (соответствующие записи ведет бурильщик или буровой мастер), либо производить автоматическую электронную запись параметров. Чем выше требования к разрешающей способности и точности измерений по глубине, тем более востребована автоматическая регистрация, т. к. бурильщик/буровой мастер может не успевать ее производить. Обычно, при требуемой точности определения глубины выше 1 м (класс Z3, таблица 1), предпочтительным является электронная запись характеристик.

В зависимости от требований проектной документации и согласованного метода регистрации (ручной или электронный), набор параметров может включать:

- время, дд/мм/гггг чч: мин мин: сс;
- пенетрацию/шаг бурения (длина рейса), м;
- скорость проходки, м/мин;
- давление бурового раствора на выходе из насоса, кПа;
- скорость циркуляции бурового раствора (при замкнутой системе), л/мин;
- расход бурового раствора, л/мин;
- крутящий момент на долоте/породоразрушающем инструменте, Н·м;
- скорость вращения долота, оборотов в минуту;
- осевую нагрузку, кН.

Точная регистрация указанных параметров может предоставить важную информацию о геологическом разрезе, используемую в ходе интерпретации получаемых данных. При отсутствии или потере керна зафиксированные параметры бурения могут оказаться единственной информацией (хоть и косвенной) о строении грунтовой толщи.

### 7.6 Геофизический каротаж

В зависимости от целей, проектом могут быть предусмотрены геофизические исследования в скважинах. Как правило, такие методы позволяют получить дополнительную информацию о геофизических полях, границах или свойствах, которые могут быть прокоррелированы с геологическим строением и свойствами выделяемых слоев грунтовой толщи.

Такие виды работ не являются стандартными при выполнении морских инженерно-геологических изысканий, так как не могут быть всегда однозначно проинтерпретированы. Могут применяться различные технологии и способы, использующие различные физические поля, при этом применение оборудования возможно либо в необсаженной скважине (открытый ствол), либо внутри обсадки. В условиях морского бурения в первом случае возникают трудности и неопределенности из-за неустойчивости стенок скважины, во втором случае — из-за влияния обсадных труб. В настоящем стандарте такой вид исследований подробно не рассматривается (см. дополнительную информацию в [1]).

Дополнительные указания см. в приложении В.

## 8 Испытания грунтов «в массиве»

### 8.1 Общие положения

Результаты испытания грунтов «в массиве» зависят от способа проведения тестирования, каким образом зонд опускается на грунт и происходит ли при этом нарушение последнего до начала пенетрации. Как указано в разделе 6, испытания могут выполняться двумя альтернативными способами:

а) модификация без бурения (забортная или с палубы судна/платформы), когда установка для испытаний опускается на морское дно и далее производится пенетрация колонны до отказа или до заданной глубины, или

б) скважинная модификация с бурением (бурение с судна или донное бурение), когда колонна для испытаний спускается на забой пробуренной скважины и далее выполняется пенетрация зонда и испытание.

Рекомендации и требования, содержащиеся в разделе 6, следует учитывать при планировании и выполнении испытаний грунта «в массиве». Для проведения испытаний в скважине следует также учитывать положения раздела 7.

Метрологическое сопровождение и контроль испытаний необходимо осуществлять в соответствии с ГОСТ 19912, ГОСТ Р ИСО 22476-1 или положениями [9].

### 8.2 Общие требования к ведению документации при испытании грунтов «в массиве»

Для каждого испытания/теста следующая информация должна (текст выделен подчеркиванием) или может (текст не выделен подчеркиванием) регистрироваться и записываться в дополнение к результатам:

а) общая и географическая информация, включая:
- географическое положение (море, район);
- наименование объекта;
- наименование/номер скважины или испытания;
- координаты, включая систему (например, СК 42 или WGS 84);
- глубина моря, с указанием системы высот (например, Балтийская система высот — БС);
- судно или иной носитель;
- оператор и бурильщик, выполнявшие работы;

б) информация об оборудовании (если применимо):
- наименование оборудования;
- модификация/способ применения;
- способ прохождения скважины (с бурением или без бурения);
- использование бурового раствора;

в) информация об испытании (если применимо):
- вид испытаний/теста;
- количество испытаний/штанг;
- текущая глубина выработки;
- параметры инструмента (геометрические размеры/производительность);
- уникальный/собственный номер зонда/инструмента.

Также должны быть указаны любые отклонения от требований настоящего стандарта, задания на изыскания, программы работ или иных документов и процедур по выполнению тестирований, предусмотренных проектом, если таковые выявляются, включая:
- процедуру испытаний;
- износ или повреждение инструмента;
- поправки к глубине относительно дна моря;
- изменения, выявленные в процессе бурения, проходки скважины;
- нарушения и отклонения, связанные с постановкой забортной установки на дно/опусканием на дно снаряда для испытаний;
- отклонение фактические местоположения точки зондирования от проектного.

### 8.3 Статическое зондирование

#### 8.3.1 Общие положения

Данный раздел описывает проведение стандартного теста по статическому зондированию с использованием зонда с датчиками измерения удельного сопротивления под конусом и удельного сопротивления трению по боковой поверхности (муфте трения) — CPT и зонда, снабженного также датчиком порового давления (пьезозонд), — CPTU. Статическое зондирование на шельфе (грунты находятся под водой и являются водонасыщенными) предпочтительно выполнять в модификации CPTU (пьезозонд).

#### 8.3.2 Оборудование

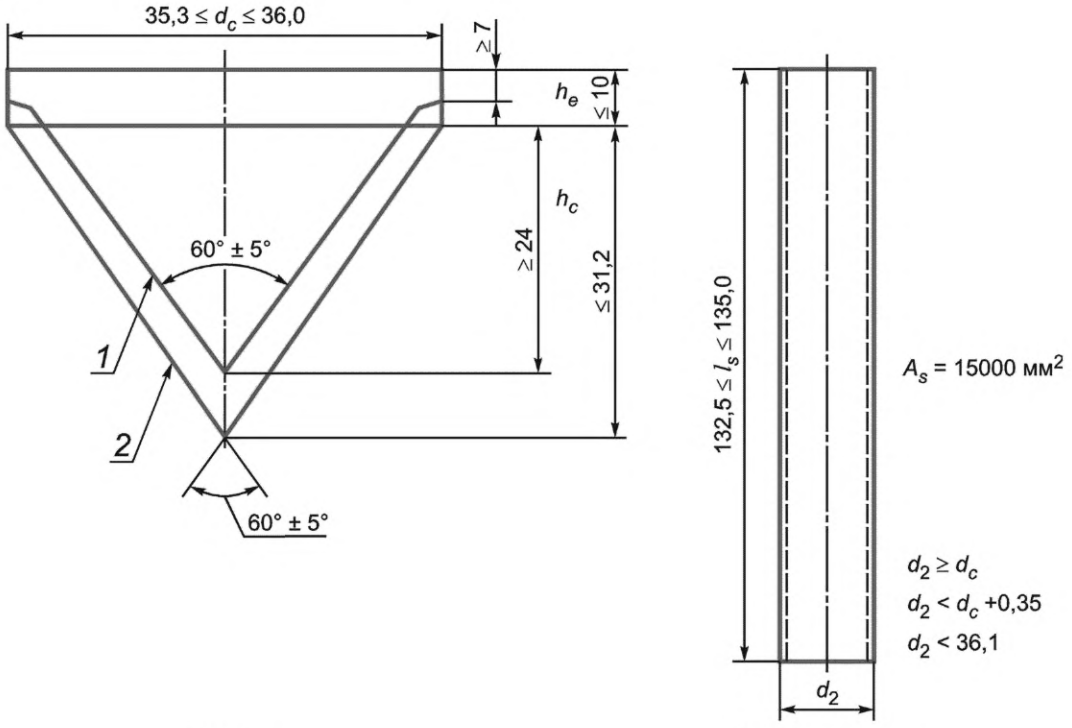
Стандартный зонд CPT имеет цилиндрическую форму с конусообразным наконечником и номинальными параметрами: угол конуса 60°; площадь поперечного сечения $A_c$ = 1000 мм$^2$, которому соответствует диаметр ($d_c$) 35,7 мм. Диаметр муфты трения должен быть не менее диаметра конуса наконечника и не больше его на 0,35 мм. Муфта трения должна располагаться непосредственно за конусом. Для электрического зонда допускается применение уширителя, расположенного не ближе 400 мм от зонда (ГОСТ 19912).

допустимые погрешности для стандартного зонда [рисунок 1а)]:

диаметр цилиндрической части.....35,3 мм ≤ $d_c$ ≤ 36,0 мм;

высота конической части зонда.....24,0 мм ≤ $h_c$ ≤ 31,2 мм;

длина цилиндрического уширения конусообразной части…7,0 мм ≤ $h_e$ ≤ 10,0 мм




а) Конус б) Муфта трения

*1* — минимальный размер изношенного конуса; *2* — максимальный размер конуса

Рисунок 1 — Схема частей зонда СРТ

Муфта трения стандартного зонда должна иметь площадь $A_s$ = 15000 мм$^2$ и диаметр ($d_2$), удовлетворяющий требованию $d_c \leq d_2 < 36{,}1$ мм; при его длине ($l_s$) 132,5 мм < $l_s$ ≤ 135,0 мм [рисунок 1б)]. Предпочтительное соотношение длины муфты к ее диаметру 3,75 (допустимый диапазон от 3 до 5).

Не допускается использовать зонд, если визуально определяется его изношенность, неровности и царапины на поверхности, асимметричность; даже если допустимые отклонения размеров не нарушаются.

Зонды с диаметром от 25 мм до 50 мм, которым соответствуют площади ($A_c$) от 500 мм$^2$ до 2000 мм$^2$, допускаются для использования при морских инженерно-геологических изысканиях, без каких-либо поправочных коэффициентов. Геометрические размеры и погрешности необходимо линейно масштабировать пропорционально их диаметрам (стандартного зонда с площадью сечения 1000 мм$^2$ и площадью используемого нестандартного зонда).

Для измерения порового давления рекомендуется использовать зонды с расположением соответствующего датчика непосредственно за конусом. Поровое давление, измеренное в этом месте, обозначается как $u_2$. Поровое давление также может иногда измеряться на конусе ($u_1$) и/или за муфтой трения ($u_3$). Обычно такие же обозначения используются для определения местоположения самих датчиков зонда.

Система измерения порового давления должна быть водонасыщена перед началом тестирования. Фильтр датчика должен оставаться водонасыщенным, даже если выполняется проходка неводонасыщенного грунта (при невозможности сохранения водонасыщенности фильтра датчика следует применять альтернативные способы насыщения, например предварительное разбуривание или замену поровой жидкости). Фильтр датчика должен иметь поры размером от 2 до 20 нм, проницаемость от $10^{-4}$ м/с до $10^{-5}$ м/с. Поры не должны быть забиты тонкими частицами. Конструкция зонда должна позволять легко заменять фильтр/датчик при необходимости.

Датчик порового давления (фильтр) $u_2$ должен быть расположен на цилиндрической части конуса или сразу за ней (рисунок 2). Диаметр фильтра ($d_{fil}$) должен соответствовать размерам цилиндрической части конуса и муфты трения (допустимое отклонение 0,0—0,2 мм) и не может быть меньше диаметра цилиндрической части конуса и больше диаметра муфты трения, т. е.: $d_2$ – 0,2 мм ≤ $d_{fil} \leq d_2$ и $d_c \leq d_{fil} \leq d_c$ + 0,2 мм.

Заданные допуски применимы (измеряются) перед началом тестирования.

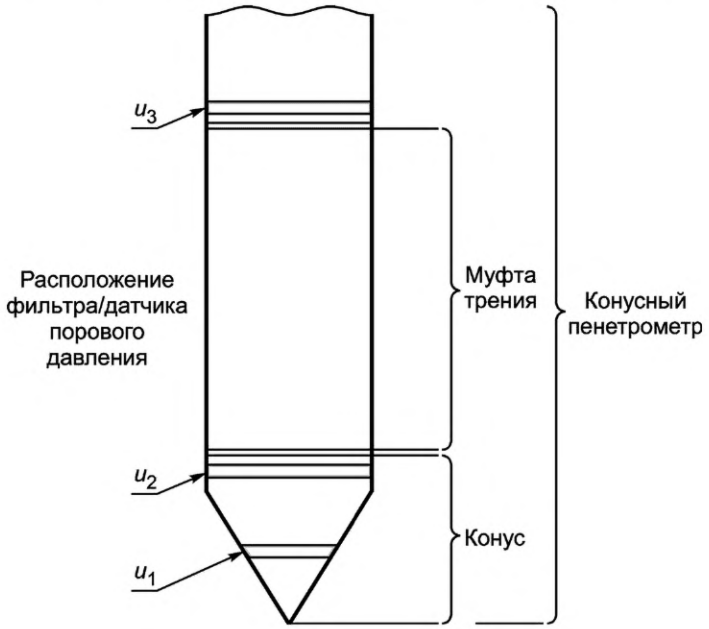



Рисунок 2 — Схема зонда CPTU и расположение датчиков порового давления

Пенетрационные штанги должны иметь такой же диаметр, как и зонд на расстоянии, как минимум 400 мм позади зонда (для зондов с $A_c$ = 1000 мм$^2$). Для зондов иных размеров такое расстояние следует определять линейным масштабированием пропорционально их диаметрам (например, для зонда площадью 1500 мм$^2$ пропорция составит 1500/1000 = 1,5). Для уменьшения трения по боковой поверхности штанг может применяться уширитель (фрикционный редуктор), имеющий увеличенный диаметр относительно диаметра штанг, или могут использоваться смазки (например, буровой раствор, впрыскиваемый в процессе тестирования).

Примечание — Изменение диаметра штанги на расстоянии менее 400 мм (для стандартного зонда CPT $A_c$ = 1000 мм$^2$) может повлиять на величину измеряемого удельного сопротивления под конусом.

Дополнительные требования к оборудованию и его подготовке следует определять согласно ГОСТ 19912, ГОСТ Р ИСО 22476-1.

**8.3.3 Процедуры испытаний**

8.3.3.1 Выбор оборудования и процедур

Для выполнения испытаний статическим зондированием и выбора зондов с соответствующими параметрами следует использовать классы применимости, как это определено ниже. Используемое оборудование и процедуры следует выбирать в соответствии с указанными классами применимости, приведенными в таблице 2, которые определяются следующим образом:

а) класс применимости 1 предназначен для слабых грунтов (от текучих до мягко/тугопластичных). Испытания статическим зондированием класса 1 обычно не применимы для смешанных слоистых отложений и разрезов, сложенных значительно меняющимися по прочностным свойствам грунтами, хотя такую проблему можно решить предварительным разбуриванием слоев, сложенных более прочными (плотными) отложениями. Испытания данного класса могут выполняться только как CPTU;

б) класс применимости 2 предназначен для использования в смешанных слоистых толщах, сложенных от слабых до полутвердых связных грунтов, включающих прослои песков, и применяется для построения стандартного профиля, определения неоднородности разреза и идентификации обнаруженных грунтов. Использование результатов CPT для определения физико-механических свойств грунтов допустимо, но с ограничением применения для слабых (текучих—мягкопластичных) грунтов или рыхлых отложений. Тип испытания следует выполнять как CPTU;

в) класс применимости 3 предназначен для оценки смешанных слоистых грунтовых толщ, сложенных глинистыми от текучих до полутвердых, песками от рыхлых до плотных, и используется для построения общего профиля и идентификации вскрытых грунтов. Интерпретация результатов с целью определе-

ния физико-механических параметров возможна только для полутвердых—твердых глинистых отложений и плотных — очень плотных песков. Для промежуточных грунтов (тугопластичных глин и суглинков, рыхлых песков) возможна только качественная интерпретация (не позволяет получать достаточно достоверные свойства). Испытания следует выполнять как CPTU, однако в некоторых случаях применимо и CPT.

Примечание — Смешанные слоистые разрезы, указанные для классов 2 и 3, как правило, сложены плотными глинистыми грунтами, тугопластичной—твердой консистенции, но могут также включать слабые и рыхлые отложения.

Минимальная точность измерений/регистрируемых параметров (с учетом всех возможных ошибок) для каждого класса применимости должна быть не ниже максимального значения, приведенного в таблице 2. Анализ неопределенностей включает оценку таких факторов, как: внутреннее трение/сопротивление измерительной системы; погрешности, возникающие при передаче данных; периферийное приложение нагрузки; температурные эффекты (окружающие и неустановившиеся); эффекты порового давления вне зоны муфты трения, а также погрешности, обусловленные геометрическими размерами. Разрешающая способность оборудования должна быть не ниже, чем одна треть допустимой погрешности по таблице 2, относительно класса применимости.

Донные установки CPT (забортные), как правило, обеспечивают приложение нагрузки перпендикулярно к поверхности морского дна и не требуют корректировки фактически прилагаемой нагрузки по вертикали. При скважинном выполнении статического зондирования CPTU/CPT отклонение от вертикали определяется вертикальностью бурильной колонны. В нормальных условиях для вычисления глубины пенетрации предполагается вертикальное приложение нагрузки.

Таблица 2 — Точность значений параметров CPT/CPTU для классов применимости

| Класс применимости | Тип испытания | Измеряемый параметр | Допустимая минимальная погрешность[1)] |
|---|---|---|---|
| 1 | CPTU | Удельное сопротивление грунта под конусом | 35 кПа или 5 % |
| | | Удельное сопротивление грунта на муфте трения | 5 кПа или 10 % |
| | | Поровое давление | 25 кПа или 5 % |
| 2 | CPT или CPTU | Удельное сопротивление грунта под конусом | 100 кПа или 5 % |
| | | Удельное сопротивление грунта на муфте трения | 15 кПа или 15 % |
| | | Поровое давление[2)] | 50 кПа или 5 % |
| 3 | CPT или CPTU | Удельное сопротивление грунта под конусом | 200 кПа или 5 % |
| | | Удельное сопротивление грунта на муфте трения | 25 кПа или 15 % |
| | | Поровое давление[2)] | 100 кПа или 5 % |

[1)] Допустимая минимальная погрешность измеряемого параметра является наибольшим значением из двух приведенных. Значение в процентах применяется к измеренному значению, а не к измеряемому диапазону.

[2)] Поровое давление может быть измерено при выполнении CPTU.

Если в задании на изыскания не указан необходимый класс применимости, то стандартным должен быть класс применимости 3.

Допустимую минимальную погрешность определения глубины пенетрации следует оценивать согласно рекомендациям для точности определения глубины, приведенным в разделе 6.

Допустимые минимальные точности определения удельного сопротивления под конусом, удельного сопротивления на муфте трения и порового давления должны оцениваться относительно дна моря.

8.3.3.2 Подготовка к испытаниям

Задавливающее устройство должно действовать на пенетрационные штанги таким образом, чтобы осевая нагрузка была вертикальной. Перед началом теста вертикальная ось пенетрометра должна соответствовать оси приложения нагрузки.

Допускается использовать один и тот же датчик/фильтр в ходе нескольких испытаний, однако оператор должен внимательно следить за величиной регистрируемого порового давления и, в случае неудовлетворительных данных, фильтр/датчик следует заменить.

8.3.3.3 Вдавливание пенетрометра

Стандартная скорость пенетрации при статическом зондировании (1,2 ± 0,3) м/мин (см. ГОСТ 19912), что соответствует (20 ± 5) мм/с. Длина каждого шага задавливания (хода) должна быть как можно больше, исходя из допустимых механических и прочностных ограничений оборудования. Предпочтительным является непрерывное вдавливание (при такой пенетрации избегаются пробелы с ненадежными данными или интервалы без данных). Частота регистрации данных должна быть не менее 1 Гц.

Для скважинной пенетрации и неглубоких забортных испытаний статическим зондированием (менее 5 м по грунту) инклинометрические измерения не требуются.

8.3.3.4 Проведение диссипационных испытаний

Методические указания и рекомендации, относящиеся к диссипационным испытаниям (dissipation test) CPTU, приведены в 8.4.

8.3.3.5 Завершение испытаний

Статическое зондирование прекращается, когда:

- достигнута проектная глубина тестирования;
- достигнута максимальная нагрузка оборудования или максимальная способность измерительной системы;
- отклонение колонны штанг от вертикали достигает или превышает предел, определенный условиями проекта/процедуры испытаний.

Для скважинного CPT/CPTU достижение максимальной нагрузки на одной глубине не должно препятствовать выполнению последующих испытаний (более плотные отложения могут быть разбурены и тестирование может продолжиться ниже). Факт достижения максимальной нагрузки также является важной информацией о разрезе.

Потенциальная возможность повреждения оборудования также может быть обоснованной причиной преждевременного завершения испытания.

Для контроля качества до и после каждого испытания должны быть зафиксированы начальные (нулевые) показания сопротивления под конусом, сопротивления на муфте трения, а также (если применимо) порового давления.

Для испытаний с использованием донных установок CPT (с возможностью бурения или нет) начальные (нулевые) показания могут быть получены на дне моря или на фиксированном расстоянии от морского дна, с соответствующей корректировкой относительно него, если применимо. См. Г.2 для дополнительных указаний по данному вопросу.

Для судовых установок CPT (оперируемых с палубы последнего) начальные (нулевые) показания должны быть определены относительно палубы судна, а соответствующие корректировки показаний на забое должны быть определены и сопоставлены с теоретически вычисленными значениями. Результаты испытаний как скважинными, так и забортными донными системами CPT должны быть представлены с измерениями, приведенными к донной поверхности.

Примечание — Достигаемая глубина пенетрации зависит от строения и свойств грунтовой толщи, допустимой нагрузки (на штанги и соединительные муфты), использованного фрикционного редуктора и/или обсадки, а также измерительного диапазона датчиков используемого зонда.

8.3.3.6 Проверка и калибровка оборудования

Для каждого пенетрационного зонда должна выполняться собственная калибровка отношения площадей конуса и муфты трения не реже одного раза в год и предпочтительно перед началом проекта согласно 7.2 ГОСТ Р ИСО 22476-1—2017. При наличии отклонений в размерах, изношенности оборудования и других отклонениях следует выполнять калибровку чаще. Такие показания являются уникальными для каждого зонда и должны документально предоставляться в отчете(ах) по изысканиям, так как они используются для корректировки показаний.

Рекомендуется иметь и/или использовать несколько откалиброванных зондов на каждом проекте.

**8.3.4 Представление результатов испытаний и подготовка отчета**

Представление данных по результатам CPT/CPTU должно соответствовать положениям 8.2. Также должны быть указаны: чистый площадной коэффициент зонда, *a* и концевые площади муфты трения.

Следующие измеренные параметры должны быть представлены как функция глубины:

- удельное сопротивление под конусом $q_c$;
- поровое давление $u_2$;
- удельное сопротивление на участке боковой поверхности (муфте трения) $f_s$;
- величина наклона *i,* если применимо.

Примечание — Наклон определяется как угловое отклонение длинной оси зонда от вертикали.

Рассчитанные параметры, представляемые относительно глубины, должны включать (но не ограничиваться):

а) скорректированное удельное сопротивление под конусом,

$$q_t = q_c + (1 - a)\, u_2, \quad (1)$$

где $a$ — чистый площадной коэффициент зонда, $a = A_n / A_p$;

$A_n$ — площадь датчика нагрузки или штока, на который может воздействовать поровое давление; величина, установленная индивидуально для зонда, указывается в его паспорте,

$A_p$ — условная поперечная площадь зонда (по цилиндрической части конуса), мм$^2$; величина, установленная индивидуально для зонда, указывается в его паспорте.

Примечание — Измеренное удельное сопротивление на муфте трение испытывает воздействие давления окружающей воды. Поскольку измерение порового давления за муфтой трения $u_3$ не является стандартной практикой, то обычно используется нескорректированное значение удельного сопротивления на муфте трение $f_s$. Возможный метод коррекции для определения сопротивления под муфтой трения (для получения $f_t$) приведен в приложении Г;

б) коэффициент трения:

$$R_f = f_s / q_c; \quad (2)$$

в) коэффициент порового давления:

$$B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{v0}), \quad (3)$$

где $u_0$ — расчетное или измеренное равновесное поровое давление «в массиве» относительно поверхности морского дна;

$\sigma_{v0}$ — расчетное общее вертикальное давление относительно дна моря.

Должен быть указан базис (основание, точка отсчета — уровень дна) для вычислений профилей $\sigma_{v0}$ и $u_0$.

Дополнительные параметры, которые также могут быть отражены графически, включают:

$$q_{net} = q_t - \sigma_{v0}, \quad (4)$$

$$Q_t = q_{net} / \sigma'_{v0}, \quad (5)$$

$$F_r = f_s / q_{net}. \quad (6)$$

В целом результаты испытаний должны быть отображены графически относительно глубины ниже дна моря с масштабом, где одно деление шкалы по глубине соответствует одному метру, хотя для неглубоких профилей, например при исследованиях под трубопроводы, может использоваться укрупненный масштаб, при условии, что он сохраняется по всему набору полученных данных.

Для измеренных и рассчитанных параметров CPTU рекомендуется использовать следующие масштабы, если применимо:

- сопротивление под конусом $q_c$, $q_t$: 1 деление шкалы = 2 МПа или 0,5 МПа;
- сопротивление на муфте трения $f_s$: 1 деление шкалы = 0,05 МПа;
- поровое давление $u$: 1 деление шкалы = 0,2 МПа или 0,02 МПа;
- коэффициент трения $R_f$: 1 деление шкалы = 2 %;
- коэффициент порового давления $B_q$: 1 деление шкалы = 0,5 единицы.

Различные масштабы для отражения удельных сопротивлений под конусом, муфтой трения и порового давления могут также быть использованы, если их значения выходят за пределы использованного основного диапазона.

Примечание — Полезно представить два набора графиков по одному профилю. Это особенно актуально, если в одном разрезе присутствуют слои плотного песка и глины в пределах одного профиля. Если результаты измерений по глинистой части разреза могут быть использованы для получения количественных параметров грунтов, то важно использовать укрупненный масштаб при представлении результатов испытаний. Также

важно использовать в отчете по изысканиям сопоставимые или единые масштабы (для возможности визуального сопоставления).

Измеренные и полученные данные по CPTU должны предоставляться в цифровом формате в дополнение к полевому отчету.

Рекомендуется предоставлять различные референтные значения и нулевые отсчеты в отчете в соответствии с процедурой, указанной в приложении Г.

Примечание — Обработку и интерпретацию данных статического зондирования следует выполнять с учетом рекомендаций и положений СП 11-114—2004 и [10].

### 8.4 Диссипационные испытания

#### 8.4.1 Общие положения

Диссипационные испытания (PPDT) выполняются стандартными пьезозондами (CPTU). В процессе испытания выполняется измерение порового давления в грунте, изменяющегося (рассеивающегося) во времени.

Для проведения испытаний PPDT в задании на изыскания должны быть указаны:

а) требуемый тип испытания согласно таблице 3,

б) глубина проведения испытаний,

в) продолжительность испытаний (критерии завершения теста).

Данные требования и условия также могут быть описаны в программе работ или соответствующих процедурах подрядчика.

Точность измерений определяется требованиями, предъявляемыми к классу применимости при пьезостатическом зондировании (см. 8.3), если не установлены иные требования.

Примечания

1 Увеличение продолжительности испытания может повысить точность результатов испытаний, особенно по испытаниям PPDT1 и PPDT2 (таблица 3).

2 Критерии прекращения испытаний могут включать: согласованную максимальную продолжительность теста (например, один час); определенную величину рассеяния порового давления в процентах (относительно расчетного равновесного природного порового давления), до которого выполняется тест; относительное изменение величины порового давления за указанный интервал времени (например, 3 КПа за 10 мин), ниже которого тест прекращается. Критерии завершения теста также могут учитывать влияние газовой составляющей в грунте, который может препятствовать достоверному измерению порового давления; однородность грунта или отсутствие достаточного порового давления (минимальная величина), которые могут влиять на надежность и возможность интерпретации результатов испытаний.

Таблица 3 — Типы испытаний PPDT

| Тип испытаний | Описание | Продолжительность испытаний (критерии завершения теста) |
|---|---|---|
| PPDT1 | Рассеяние (изменение) порового давления для оценки равновесного природного порового давления | Как правило, критерием является достижение не менее 90 % рассеяния порового давления перед завершением испытания (относительно расчетного равновесного природного порового давления) |
| PPDT2 | Рассеяние порового давления для оценки коэффициента (радиальной) консолидации дисперсных грунтов с низкой проницаемостью (глинистые грунты) | Как правило, критерием является достижение не менее 50 % рассеяния порового давления перед завершением испытания (относительно расчетного равновесного природного порового давления) |
| PPDT3 | Рассеяние порового давления для качественной индикации проницаемости грунтов | Обычно менее 600 с |
| PPDT4 | Рассеяние порового давления для оценки различий дренированного, недренированного и частично дренированного поведения грунтов в ходе статического зондирования (определение характера естественных условий грунтов) | Обычно менее 60 с |

**8.4.2 Оборудование**

Оборудование для диссипационных тестов состоит из пьезозонда (стандартный зонд-пенетрометр с датчиком порового давления CPTU) и вспомогательного оборудования согласно 8.3.

Могут быть использованы и другие виды пенетрометров, например, зонд только с датчиком(ами) порового давления (пьезодатчик) или шарообразный зонд-пенетрометр, снабженный датчиком порового давления.

**8.4.3 Процедура проведения теста**

Испытание проводится в следующей последовательности:

- остановка задавливания пенетрометра на заданной глубине для выполнения диссипационного теста;
- регистрация параметров: порового давления, удельного сопротивления под конусом и удельного сопротивления на муфте трения во времени, до завершения теста (согласно заданным критериям);
- возобновление задавливания, если применимо.

Регистрация данных должна выполняться с частотой 1 Гц или выше в течение первых 60 с и может в дальнейшем сокращаться вдвое в каждом логарифмическом цикле.

Влияние колебаний уровня моря должно учитываться при интерпретации результатов, особенно при работах на мелководье.

**8.4.4 Представление результатов**

Следующие данные должны быть представлены по результатам испытаний:

- собранные данные CPT/CPTU согласно 8.3, что применимо;
- тип испытаний согласно таблице 3;
- глубина испытания с учетом положения фильтра/датчика порового давления пьезозонда (т. е. с учетом смещения его местоположения в зонде);
- способ определения местоположения (глубины) пьезозонда во время диссипационного теста;
- поровое давление $u_2$ и удельное сопротивление под конусом $q_c$ в линейном и логарифмическом масштабе относительно времени, включая начальные значения порового давления ($u_{2i}$) и удельного сопротивления под конусом ($q_{ci}$) непосредственно перед остановкой пенетрации/началом диссипационного теста.

Нормализованное избыточное поровое давление $U$ может быть представлено дополнительно в зависимости от времени и логарифма времени:

$$U = (u_2 - u_0)/(u_{2i} - u_0). \quad (7)$$

Примечание — Методические указания по интерпретации результатов диссипационных испытаний даны в работе [11].

**8.5 Пенетрационные испытания шарообразным и Т-образным зондами**

**8.5.1 Общие положения**

Шарообразный и Т-образный пенетрометры особенно применимы для характеристики глинистых грунтов от текучей до мягкопластичной консистенции с сопротивлением недренированному сдвигу менее 50 кПа. Оба типа зондов имеют много сходства. На практике шарообразный пенетрометр может использоваться как в модификации скважинного зондирования (с бурением), так и «без бурения», в то время как Т-образная модель более пригодна для модификации «без бурения».

Шарообразный и Т-образный зонды, показанные на рисунке 3, имеют размеры, адаптированные для установки прямо на стандартные штанги CPT (вместо зондов CPT). Сопротивление вдавливанию может измеряться штатным оборудованием для статического зондирования.

**8.5.2 Оборудование**

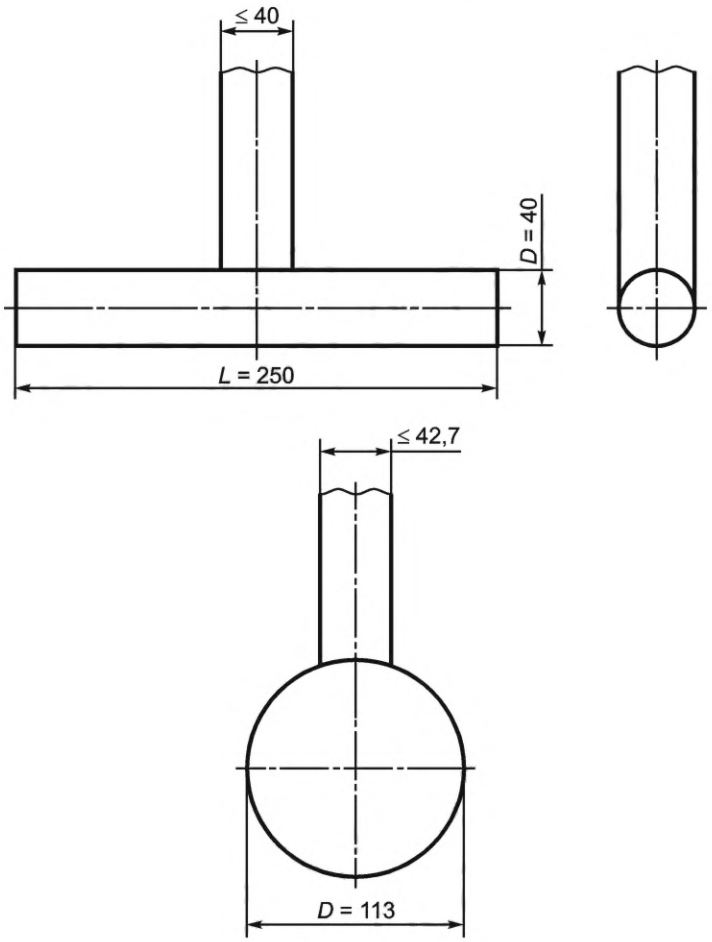
8.5.2.1 Шарообразный зонд

Зонд представляет собой стальной шар, крепящийся к задавливающей штанге и задавливается в грунт при помощи одной из систем для статического зондирования (см. рисунок 3). Стандартный шар должен иметь площадь проекции от 2500 мм$^2$ (при диаметре 56,4 мм) до 10 000 мм$^2$ (при диаметре 113 мм). Диаметр штанги, к которой он крепится, должен быть таким, чтобы соотношение поперечных площадей зонда-шара и штанги было не менее 7:1, при отсутствии увеличения ее диаметра на расстоянии, равном до 10 диаметров самой штанги.

Датчик измерения нагрузки шарообразного зонда должен быть размещен внутри зонда или непосредственно перед ним. Датчик нагрузки должен учитывать возможную периферийность приложения осевой нагрузки и иметь соответствующую компенсацию. Такой зонд также должен быть снабжен датчиком измерения отклонения от вертикали; хотя это условие не обязательно, если испытания предполагаются на глубину менее 5 м. Датчик измерения отклонения, как правило, должен иметь диапазон измеряемых значений не менее ± 15° от вертикали. Требования к задавливающему устройству, пенетрационным штангам и измерительной системе приведены в 8.3.

8.5.2.2 Т-образный пенетрометр

Т-образный зонд представляет собой цилиндр, или короткий стержень, закрепленный перпендикулярно к задавливаемой колонне штанг. Задавливание осуществляется одной из систем для статического зондирования (рисунок 3). Стандартный Т-образный зонд, используемый при морских инженерно-геологических изысканиях, имеет номинальный диаметр 40 мм и длину 250 мм (площадь проекции 10 000 мм$^2$, см. рисунок 3), хотя могут использоваться устройства с меньшими размерами. Такой зонд должен отвечать аналогичным требованиям, указанным выше для шарообразного зонда (соотношение поперечных площадей зонда и штанги 7:1, минимальное расстояние без изменения диаметра позади зонда — 10 диаметров штанги). Кроме этого, зонд должен иметь минимальное соотношение длины к диаметру, равное 5, и сам диаметр не должен быть меньше, чем диаметр соединительной штанги.




*L* — длина Т-образного зонда, мм; *D* — диаметр Т-образного зонда или шарообразного зонда, мм

Примечание — В верхней части рисунка показан Т-образный зонд. В нижней части показан шарообразный зонд.

Рисунок 3 — Шарообразный и Т-образный зонды

**8.5.3 Процедура проведения теста**

8.5.3.1 Общие положения

Должны выполняться следующие процедуры:

- в ходе пенетрации зонда (шарообразного или Т-образного) должно измеряться сопротивление его внедрению;
- стандартная скорость пенетрации должна быть постоянной и составлять (1,2 ± 0,3) м/мин [(20 ± 5 мм/с)];
- для тестов с глубиной пенетрации более 5 м должно проводиться измерение наклона колонны с зондом (отклонение от вертикали);
- показания всех датчиков должны регистрироваться с частотой не реже одного раза в секунду (т. е. показания определяются не менее чем для каждого интервала проникновения 20 мм).

Сопротивление зонда (шарообразного и Т-образного) следует измерять в процессе извлечения колонны при номинальной скорости подъема (20 ± 5) мм/с, если такое измерение указано в задании.

Примечание — Существуют различные системы, позволяющие измерять сопротивление при извлечении шарообразного и Т-образного зондов.

Циклические испытания могут быть добавлены для получения величины сопротивления сдвигу нарушенного/перемешанного образца (remoulded shear strength).

При выполнении циклических испытаний с шарообразным (Т-образным) зондом должно соблюдаться условие: величина хода (цикл между минимальной и максимальной точками) составляет не менее 0,15 м или 0,20 м, или равна трехкратному диаметру шарообразного (Т-образного) зонда; в зависимости от того, что больше, при номинальной скорости 20 мм/с. Должны быть проведены десять полных циклов испытаний, если только не становится очевидным, что сопротивление пенетрации зонда не снижается после трех или более циклов.

В некоторых случаях важная информация может быть получена при выполнении испытаний со скоростью пенетрации, отличной от указанной выше. Если выполняются такие испытания, то результаты должны сопровождаться примечанием, в котором четко указывается, что использовалась нестандартная скорость пенетрации/извлечения.

Задавливающее устройство должно направлять колонну с зондом таким образом, чтобы ось приложения нагрузки была как можно ближе к вертикали. Ось зонда-пенетрометра должна соответствовать оси приложения нагрузки перед началом задавливания.

Следует учитывать возможную близость шарообразного и Т-образного зондов к поверхности морского дна при выполнении циклических испытаний, чтобы свести к минимуму воздействие воды, которое может повлиять на результаты.

8.5.3.2 Требования к точности

С учетом всех возможных погрешностей полевых испытаний, допустимая минимальная точность определения параметров должна быть лучше наибольшего из указанных ниже значений:

- для сопротивления задавливанию: 5 % измеренного значения или 20 кПа, в зависимости от того, что больше;
- для измерения угла отклонения от вертикали: 2° (если применимо).

Допустимая минимальная погрешность для сопротивления должна применяться относительно поверхности морского дна.

Допустимую точность определения глубины пенетрации следует оценивать согласно рекомендациям по измерению глубины, как описано в разделе 6.

Разрешающая способность измерительного оборудования должна быть лучше одной третьей необходимой минимальной погрешности.

Проверка и калибровка оборудования для испытаний шарообразным и Т-образным зондами должны быть аналогичны статическому зондированию, см. 8.3.3.6.

**8.5.4 Представление результатов испытаний и подготовка отчета**

Содержание отчета должно соответствовать 8.2. Кроме того, должен быть указан чистый площадной коэффициент зонда *a*. Полученные результаты должны быть представлены в цифровом (т. е. численном) формате, и включать следующее:

- глубину ниже поверхности морского дна, выраженную в метрах;
- сопротивление зонда $q_m$, в ходе его пенетрации и извлечения, выраженное в МПа или кПа;
- отклонение от вертикали (если измеряется), выраженное в градусах.

Кроме этого, величина «чистого»/скорректированного сопротивления зонда $q_{ball}$ ($q_{T\text{-}bar}$) должна быть указана в соответствии со следующей упрощенной формулой:

$$q_{ball}\,(q_{T-bar}) = q_m - [\sigma_{v0} + u_0(1 - a)]\,(A_s/A_p), \quad (8)$$

где $q_m$ — измеренное сопротивление пенетрации;
$\sigma_{v0}$ — общее природное вертикальное напряжение;
$u_0$ — применимое гидростатическое давление воды на средней высоте зонда;
$a$ — чистый площадной коэффициент зонда, $a = A_n/A_s$,
$A_s$ — площадь поперечного сечения соединительного штока;
$A_n$ — площадь датчика нагрузки или площадь штока, на которую может воздействовать поровое давление,
$A_p$ — условная поперечная площадь зонда — площадь проекции пенетрометра в плоскости, перпендикулярной к соединительному штоку.

Для представления результатов по циклическим испытаниям скорректированное («чистое») сопротивление нарушенного/перемешанного (remoulded) грунта шарообразного и Т-образного зондов обозначается, как: $q_{ball,rem}$ ($q_{T\text{-}bar,rem}$) и его следует определять как среднее сопротивление пенетрации и извлечения за последний цикл.

Если не произошло полное разрушение, то среднее скорректированное («чистое») сопротивление нарушенного/перемешанного (remoulded) грунта ($q_{ball}$ или $q_{T\text{-}bar}$) применять не следует.

Следует оформлять и представлять в результатах информацию о поправках согласно приложению Г.

Для всех модификаций проведения испытаний измеренное сопротивление для шарообразного (Т-образного) зонда должно корректироваться и приводиться к поверхности морского дна.

Обычно результаты испытаний представляются графически с вертикальным масштабом (по глубине) 10 мм = 1 м, хотя для неглубоких тестов, например для изысканий под морские трубопроводы, может использоваться укрупненный масштаб.

Нулевой (начальный) отсчет для рассматриваемых испытаний должен выполняться на поверхности морского дна для модификаций «без бурения» (т. е. только вдавливание, без бурения), см. раздел 6. Для скважинных модификаций (с судна или с поверхности морского дна) нулевой (начальный) отсчет проводится от буровой палубы, однако, показания на забое, с учетом соответствующей корректировки, также должны регистрироваться и сопоставляться с теоретически рассчитанными значениями. Результаты выполнения испытаний (с бурением и без бурения) должны представляться для всех измерений относительно поверхности морского дна. Для испытаний с размещением установки на дне (в модификациях с бурением и без) нулевой (начальный) отсчет должен проводиться от дна моря или на фиксированном расстоянии от него.

Отчетный масштаб представления величины сопротивления при задавливании и извлечении в графическом формате (профиль сопротивления) должен быть выбран в зависимости от грунтовых условий.

Результаты циклических испытаний шарообразным и Т-образным зондами следует включить в основную часть отчета, так же, как и профили сопротивления в укрупненном масштабе, с тем чтобы представить результаты испытаний с приемлемой детализацией.

### 8.6 Сейсмические пенетрационные испытания

#### 8.6.1 Общие положения

Конусный пенетрометр для сейсмических измерений в дополнение к стандартным датчикам CPT/CPTU (см. 8.3) имеет один или несколько сейсмодатчиков, которые определяют энергию поперечных волн (SH), генерируемую специальным источником, опускаемым на дно моря, который является частью системы. Использование источника сейсмических волн и сейсмического зонда позволяет выполнить сейсмозондирование в скважине, с получением скорости поперечных/сдвиговых волн. Как правило, SH распространяются вертикально. Для измерения параметров CPTU действуют методические указания и требования 8.3.

Единичные сейсмические испытания могут быть выполнены, например, для исследований землетрясений и приблизительного определения средней скорости SH от поверхности морского дна до глубины около 80 м.

В 8.6.2 приведены указания и требования по выполнению сейсмического зондирования SCPT/SCPTU, которые в основном соответствуют требованиям и рекомендациям [12].

**8.6.2 Оборудование**

Геометрия и размеры сейсмозонда SCPT должны соответствовать требованиям, указанным в 8.3.2, за исключением того, что диаметр зонда в месте расположения сейсмодатчика должен быть больше, чем диаметр части(ей), расположенной(ых) сразу после измерительного узла, для обеспечения приемлемого взаимодействия между самим(и) датчиком(ами) и окружающими грунтами. Стандартные датчики/приемники представляют собой однокомпонентные или многокомпонентные геофоны, или акселерометры, расположенные или эффективно в одной точке, или в двух точках на одном пенетрометре (двухэлементный сейсмический зонд с приемниками, разнесенными на фиксированное расстояние).

Сейсмический источник может быть установлен на донной раме, используемой для статического зондирования или в ином месте на дне моря. В обоих случаях горизонтальное расстояние (горизонтальное смещение) между сейсмическим источником и осью сейсмического пенетрометра должно определяться точно.

В качестве возбудителя сейсмических волн SH может использоваться горизонтальный молот, важным свойством которого должна быть способность генерировать «чистые» волны SH, высокой повторяемости, которые могут легко идентифицироваться сейсмическим(и) приемником(ами) на зонде.

Примечание — Более представительные измерения поинтервальной скорости SH, $V_S$, могут быть выполнены при помощи двухэлементного сейсмического пенетрометра (снабженного двумя датчиками).

**8.6.3 Процедура выполнения испытаний**

Задание на изыскания должно содержать требования:

- к типу сейсмического зонда (одно- или двухэлементный);
- глубине испытаний;
- критериям прекращения испытаний.

Примечание — Скорость поперечных/сдвиговых волн не может быть достоверно измерена в приповерхностном интервале (2—5 м ниже поверхности морского дна), в зависимости от собственных характеристик (возможности) оборудования SCPT и от характеристик грунтовой толщи.

Критерии прекращения испытаний могут включать проектную максимальную глубину выработки, или минимальное соотношение «сигнал-шум» вместе с максимальным количеством событий суммирования сигнала. Достижимая глубина испытания зависит от таких факторов, как: собственные характеристики/возможности используемой установки SCPT, влияния на сейсмический источник приповерхностных грунтов, свойств и строения грунтовой толщи, ее однородности по разрезу, помех от близлежащих объектов. Критерии прекращения пьезостатического зондирования CPTU (см. 8.3.3.5) также могут учитываться.

Процесс испытаний заключается в излучении сигнала сейсмическим источником (располагаемым на донной раме или на дне) и получении сгенерированного(ых) сигнала(ов) сейсмодатчиками-приемниками (размещенными на зонде). Обычно сейсмотест выполняется после остановки пенетрации зонда на определенной глубине. Хотя некоторые «современные» установки SCPT позволяют выполнять сейсмозондирование одновременно с пенетрацией зонда, т. е. при непрерывном процессе. Методика с остановкой пенетрации для выполнения сейсмозондирования имеет преимущество в том, что происходит увеличение сигнала/энергии на каждом интервале, что позволяет получать более представительные данные, в частности, при использовании сейсмоисточника, генерирующего поперечные/сдвиговые волны в двух противоположных горизонтальных направлениях или при применении «метода суммирования».

Излучающий сигнал должен генерироваться в момент активации сейсмоисточника, т. е. в момент начала распространения поперечных/сдвиговых волн. Такой сигнал и его регистрация сейсмическим(и) приемником(ами) должны записываться, как дискретные акселерограммы.

Рекомендуемый минимальный интервал дискретизации — 0,025 мс.

Требования к точности измерения средней скорости поперечных/сдвиговых волн составляет ± 10 % для прямолинейной дальности от источника к приемнику и допускаемой неопределенности нулевой точки.

Примечание — Единичное испытание с двухэлементным сейсмическим пенетрометром обеспечивает получение трех скоростей: средняя скорость от источника до верхнего сейсмоприемника, средняя скорость от ис-

точника до нижнего сейсмоприемника, а также средняя скорость для зоны между двумя приемниками. На точность средней скорости для зоны между двумя приемниками неопределенность глубины и путь сигнала не оказывают особого воздействия. Другие скорости измеряются с меньшей точностью, которая определяется на основе оценки неопределенности длины пути волны, либо от источника к приемнику, либо относительного расстояния между двумя глубинами одного испытания. Единичное испытание с одноэлементным сейсмическим зондом обеспечивает только единственную величину скорости (между источником и приемником). Два испытания с одноэлементным сейсмическим зондом по одному профилю дают возможность определения трех скоростей: одной от источника до точки зонда верхнего теста, одной от источника до точки зонда нижнего теста и дифференциальной скорости для зоны между двумя точками испытаний. Три или более испытаний дают дополнительные возможности для разделения интересующих зон грунтового разреза.

**8.6.4 Представление результатов**

В дополнение к требованиям по представлению стандартных результатов CPT/CPTU, указанных в 8.3.4, должна представляться следующая информация:

а) тип и описание сейсмоисточника и сейсмоприемника(ов);

б) расстояние между сейсмоисточником и сейсмоприемником(ами);

в) горизонтальное расстояние между сейсмоисточником и осью сейсмического зонда;

г) средняя или интервальная скорость поперечных/сдвиговых волн $v_S$, для интервала(ов) глубин, в которых она была измерена, включая:

- неопределенность глубины согласно 6.2;
- ограничения используемой методологии;

д) предполагаемый путь сейсмических волн.

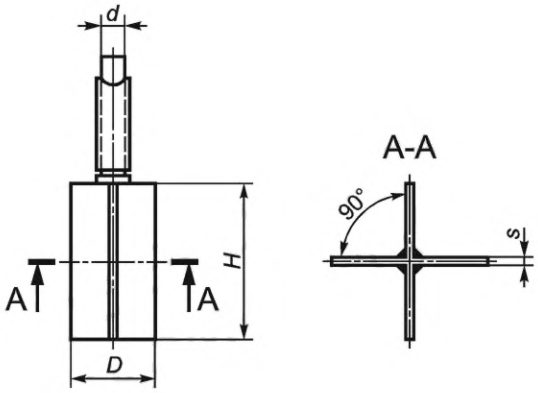
**8.7 Полевые испытания скважинной крыльчаткой**

**8.7.1 Общие положения**

Полевые испытания скважинной крыльчаткой (FVT) выполняются с целью определения сопротивления сдвигу остаточного сопротивления сдвигу и сопротивления сдвигу нарушенного/перемешанного образца для глин с величиной сопротивления недренированному сдвигу, как правило, менее 100 кПа. Однако полевые испытания на сдвиг крыльчаткой могут проводиться на глинах с сопротивлением недренированному сдвигу до 200 кПа.

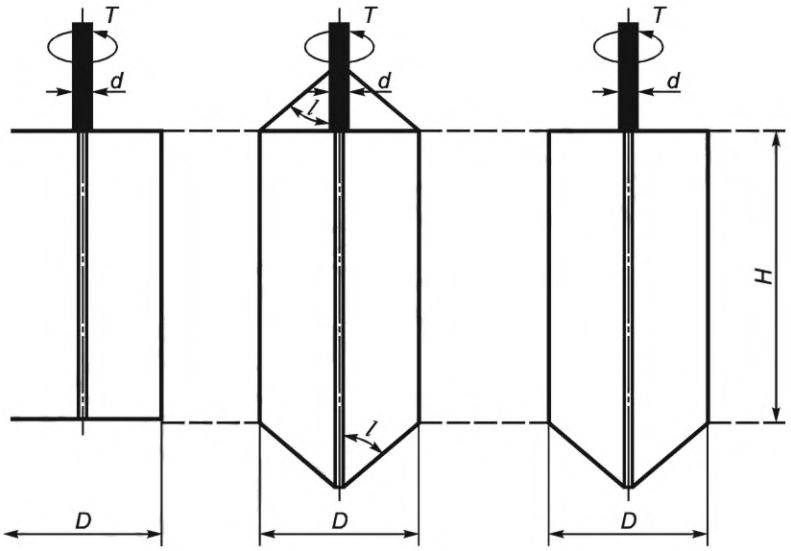
**8.7.2 Оборудование**

Лопасти крыльчатки должны иметь прямоугольную форму. Нижние окончания лопастей могут быть плоскими или конусообразными, как показано на рисунке 5. Лопасти крыльчатки должны иметь соотношение высоты ($H$) к диаметру ($D$), равное 2 (см. рисунок 4). Крыльчатки с максимальным размером лопастей (200 мм × 100 мм) обычно используются в мягких грунтах с сопротивлением недренированному сдвигу менее 25 кПа и при применении установки «без бурения» (т. е. только задавливание). Крыльчатки с минимальными размерами лопастей 80 мм × 40 мм используются в глинах с сопротивлением недренированному сдвигу до 200 кПа.




$H$ — высота лопасти крыльчатки; $s$ — толщина лопасти крыльчатки; $D$ — диаметр лопасти крыльчатки; $d$ — диаметр штока; А—А — поперечное сечение лопасти

Рисунок 4 — Схема крыльчатки с прямоугольными лопастями




*T* — крутящий момент; *I* — угол конусообразной лопасти; *H* — высота лопасти крыльчатки; *d* — диаметр штока; *D* — диаметр лопасти крыльчатки

Рисунок 5 — Схема прямоугольной и конусообразной крыльчаток [13]

Толщина лопасти *s* должна удовлетворять требованию 0,8 мм ≤ *s* ≤ 3,0 мм.

Для испытаний слабых и чувствительных глин толщина лопастей не должна превышать 2,0 мм, чтобы ограничить нарушение, вызываемое ее воздействием при внедрении в грунт.

Диаметр штока *d*, а также размер сварных швов в центре крыльчатки должны быть достаточно небольшими, для того чтобы минимизировать возможное нарушение грунта.

Диаметр штока крыльчатки должен быть не более 16 мм в мягких чувствительных грунтах, с величиной сопротивления недренированному сдвигу менее 15 кПа. При этом она должна иметь достаточную прочность, чтобы не происходило скручивание самой штанги при максимальной нагрузке. Для глин с сопротивлением недренированному сдвигу свыше 100 кПа диаметр штока крыльчатки может превышать 20 мм.

Система сбора данных должна быть достаточной для обеспечения общей/суммарной точности, указанной в 8.7.3.

Разрешающая способность системы должна быть не менее одной трети допустимой погрешности, соответствующей классу применимости (см. таблицу 4).

**8.7.3 Процедура проведения испытаний**

Используемое оборудование и процедуры следует выбирать согласно требуемому классу применимости, как указано в таблице 4.

Классы применимости для FVT определяются следующим образом:

- класс применимости 1: для специальных целей (например, при необходимости очень высокой точности измерения в текучих—текучепластичных глинистых грунтах или илах);
- класс применимости 2: для определения сопротивления недренированному сдвигу слабых грунтов (текучих—мягкопластичных);
- класс применимости 3: для более прочных грунтов.

Анализ погрешности измерения должен включать влияние иных источников трения, чем вызываемые воздействием самой крыльчатки, а также учет погрешностей при сборе и передаче данных, калибровке и точности измерения геометрических параметров.

Примечание — Достижимая точность зависит от размера крыльчатки, используемой в испытаниях. Использование более крупных крыльчаток обеспечит более высокую точность, но меньший диапазон измерений.

Таблица 4 — Классы применимости для FVT

| Класс применимости | Допустимая минимальная погрешность[1] | | Максимальное вращение между измерениями (градусы) | Предлагаемое использование | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Грунт[2] | Интерпретация[3] |
| 1 | $s_{ufv}$<br>Угол вращения | 2 кПа<br>1° или 1 % | 1 | A—C | H |
| 2 | $s_{ufv}$<br>Угол вращения | 4 кПа<br>5° или 1 % | 2 | A—E | H, H* |
| 3 | $s_{ufv}$<br>Угол вращения | 10 кПа<br>10° или 1 % | 5 | B—E | H* |

[1] Допустимая минимальная точность измеряемого параметра является наибольшим значением из двух приведенных. Значение в процентах применяется к величине измеренного сопротивления, а не к диапазону измерений.

[2] Классификация глинистых грунтов по величине сопротивления недренированному сдвигу:
A: Сверхнизкое, < 10 кПа;
B: Очень низкое, 10—20 кПа;
C: Низкое, 20—40 кПа;
D: Среднее, 40—75 кПа;
E: Высокое, 75—150 кПа.

[3] H: Получение численных параметров грунтов с низкой степенью неопределенности/более достоверных;

H*: Получение численных параметров грунтов с высокой степенью неопределенности/менее достоверных.

Примечание — Для текучих грунтов и илов могут потребоваться даже более высокие точности.

Если заданием на изыскания не определен необходимый класс применимости, то классом по умолчанию является класс 2.

Точность измерения глубины пенетрации должна оцениваться согласно требованиям к точности, как это указано в разделе 6.

Для модификации испытаний скважинной крыльчаткой «с бурением» зонд-крыльчатка должен быть внедрен на глубину не менее 1,0 м ниже забоя скважины перед выполнением испытания. Для испытаний в модификации «без бурения» интервалы между глубинами, на которых выполняются тесты, должны быть не менее 0,5 м.

Скорость внедрения зонда-крыльчатки не должна превышать 25 мм/с. Рекомендуемое время ожидания, т. е. период между моментом достижения требуемой глубины испытаний и моментом начала самого испытания, должно составлять 2—5 мин.

Вращение крыльчатки должно быть плавным и для первой фазы испытания (когда грунт ненарушенный) составлять 6 °/мин — 12 °/мин. Сопротивление недренированному сдвигу крыльчаткой должно рассчитываться по максимальному крутящему моменту, как это указано в 8.7.4. В задании на изыскания должно быть указано, следует ли измерять остаточное сопротивление недренированному сдвигу (residual) и/или сопротивление недренированному сдвигу нарушенного/перемешанного грунта (remoulded) дополнительно.

Для измерения остаточного сопротивления недренированному сдвигу $s_{ufv,res}$ в ходе испытания крыльчатку нужно вращать до тех пор, пока крутящий момент растет (до «срыва») или пока вращение не достигнет 180°, в зависимости от того, что произойдет раньше. Минимальный крутящий момент, полученный таким образом, должен использоваться для вычисления остаточного сопротивления сдвигу.

Величина остаточного сопротивления сдвигу не должна использоваться для вычисления чувствительности грунта $S_{t,fv}$.

Для измерения сопротивления недренированному сдвигу нарушенного/перемешанного грунта $s_{ufv,\,rem}$ предпочтительно выполнить не менее 10 вращений крыльчатки со скоростью не менее 360°/мин. Альтернативно для измерения $s_{ufv,\,rem}$ на этой фазе испытания вращение может выполняться со скоростью более 6 °/мин и продолжаться, пока разность крутящих моментов составит не менее 2 % за оборот, при максимальном количестве оборотов — 10.

По окончании выполнения разрушающих вращений необходимо сразу выполнять необходимые замеры для определения сопротивления недренированному сдвигу нарушенного/перемешанного грун-

та, используя при этом такую же скорость вращения, которая использовалась для измерения стандартного сопротивления недренированному сдвигу.

Сопротивление сдвигу нарушенного/перемешанного грунта может использоваться для вычисления чувствительности, как это описано в 8.7.4.

Датчик для измерения крутящего момента при испытаниях крыльчаткой должен калиброваться не реже одного раза в год, а также перед началом каждого проекта. Если датчик нагружается почти до максимума или имеются подозрения, что возможно его повреждение, датчик необходимо проверить и повторно откалибровать. Поверка оборудования может выполняться в полевых условиях. Оборудование должно регулярно проходить техобслуживание, проверки и калибровку, чтобы верифицировать его точность и соответствие классу применимости.

**8.7.4 Представление результатов**

Для каждого испытания скважинной крыльчаткой должна указываться следующая информация в дополнение к требованиям, указанным в 8.2:

а) полный график изменения сдвигового напряжения в зависимости от вращения, выраженного в градусах;

б) время до разрушения грунта при достижении предельной величины сопротивления сдвигу $s_{ufv}$;

в) формула, используемая для вычисления сопротивления недренированному сдвигу крыльчаткой $s_{uv}$, включая допущение, сделанное для распределения сдвигового напряжения на концах крыльчатки;

г) описание любых выполненных коррекций результатов из-за трения штока между лопастями крыльчатки и датчиком, измеряющим крутящий момент, эффекта окружающего давления, и т. п.;

д) следующие значения сопротивления сдвигу крыльчаткой:

- начальное сопротивление недренированному сдвигу грунта $s_{ufv}$,
- остаточное сопротивление сдвигу $s_{ufv,res}$, если применимо,
- сопротивление сдвигу нарушенного/перемешанного грунта $s_{ufv,rem}$, если применимо,
- чувствительность (если применимо):

$$S_{t,fv} = s_{ufv} / s_{ufv,rem}. \quad (9)$$

Для зондов с прямоугольными лопастями с $H/D$ = 2,0 сопротивление недренированному сдвигу грунта вычисляют по формуле:

$$s_{ufv} = 0{,}273 \text{ (крутящий момент}/D), \quad (10)$$

где $D$ — диаметр лопасти крыльчатки.

Должны быть описаны используемый метод внедрения зонда, а также процедура испытаний, с указанием конкретной информации:

- о методе ввода и пенетрации крыльчатки;
- использованной скорости вращения;
- механической реакции сопротивления кручению между крыльчаткой и грунтом.

**8.8 Другие испытания «в массиве»**

**8.8.1 Общие положения**

В дополнение к полевым испытаниям, описанным в предыдущих подразделах, также могут потребоваться специальные виды тестирований для получения необходимой информации о свойствах грунтов по результатам морских инженерно-геологических изысканий. Такие виды испытаний должны быть указаны в задании на изыскания.

К таким специальным видам полевых испытаний относятся:

- статическое зондирование с измерением электропроводности;
- температурное статическое зондирование (ТСРТ);
- зондирование с измерением теплопроводности;
- испытание на гидравлический разрыв;
- пробоотбор специальным зондом, измеряющим поровое давление и осуществляющим отбор пробы (газ/поровая вода);
- прессиометрия;

- испытания дилатометром;
- другие.

Дополнительные указания приведены в приложении Г.

**8.8.2 Требования к документации**

Для всего оборудования для проведения специальных морских/полевых испытаний должна быть представлена следующая документация:

- описание оборудования и его целевого предназначения;
- геометрические параметры;
- данные о калибровке датчиков, с информацией о погрешности измерений;
- описание системы сбора и передачи данных, с указанием разрешающей способности;
- процедура испытаний;
- форма представления результатов.

## 9 Пробоотбор

### 9.1 Общие положения

Указания по отбору проб в данном разделе касается в первую очередь стандартных грунтов (глины, силикатные пески, различные их смеси и пр.). Отдельные указания могут потребоваться для пробоотбора в нестандартных грунтах, например, карбонатных отложениях, чувствительных глинах, валунных (моренных) отложениях и т. п. (см. таблицу А.3).

### 9.2 Цели пробоотбора

Основная цель пробоотбора — получение грунта из всех значимых слоев (грунтовых тел), пригодного для достоверного описания и лабораторных исследований.

Выбор соответствующих типов пробоотборников (грунтоносов), а также модификаций/способа их применения в определенных инженерно-геологических условиях оказывает существенное влияние на качество получаемых проб и должен быть рассмотрен с учетом проектных задач. В 10.5 (таблица 6) даны указания относительно качества проб, в 10.1 и приложении Д также даны специальные указания по выбору соответствующего оборудования для пробоотбора (классы применимости).

Нарушенность отбираемых проб должна быть минимальной, если качество пробы является приоритетным. Поэтому для достижения соответствующей цели — получения ненарушенного образца, как определено в разделе 3, должен быть выбран пригодный грунтонос, как описано в Д.1.

В некоторых случаях менее качественные пробы могут быть пригодны и оправданны, например, если основной целью работ является:

- простое подтверждение типа (вида, разновидности) грунта для интерпретации полевых испытаний;
- получение непрерывного вертикального профиля/разреза грунтовой толщи (нарушенность проб менее значима);
- получение проб большого объема (объем грунта является более значимым, чем качество). В таких случаях будут предпочтительнее типы грунтоносов большего диаметра или с большей длиной керноприемной части.

### 9.3 Системы отбора проб

Применяемые модификации геотехнического оборудования (по способу использования) детально описаны в разделе 6. Скважинные установки используют повторяющийся процесс извлечения дискретных фрагментов керна из грунтовой толщи. При этом поступательное углубление забоя скважины происходит за счет вращательного бурения. Шлам из разбуренного интервала, как правило, не используется при инженерно-геологических изысканиях. Пробоотбор проводится ниже забоя, из ненарушенной бурением зоны, для получения пригодных для испытаний образов, посредством внедрения грунтоноса или же в процессе бурения (отбирается обуреваемый фрагмент керна). При выполнении инженерно-геологических изысканий выход керна должен составлять не менее 80 % (СП 11-114—2004, СП 446.1325800.2019).

Установки пробоотбора без бурения (иногда также используется понятие —пробоотбор легкими техническими средствами — ЛТС) не снабжаются вращательным механизмом и, как правило, используют поступательное внедрение единой колонны с грунтоносом ниже дна моря за однократный проход.

Пробоотбор прекращается либо когда инструмент достигает максимального хода (длины набора штанг или одной штанги), на предварительно определенной глубине, или по причине «отказа» (при достижении максимальной нагрузки оборудования), причиной этого может также стать значительное суммарное сопротивление грунтовой толщи или единичное препятствие на пути инструмента (валун, кровля скальных грунтов и т. д.).

Параметры выбранного оборудования определяют максимальную глубину бурения и пробоотбора, а также достижимые качество и выход керна. В идеале заказчик должен быть уверен, что выбранный метод работ, оборудование позволяют не просто достигнуть проектной глубины, но также отобрать необходимое количество грунта достаточного качества для достижения проектных целей.

### 9.4 Выбор оборудования

#### 9.4.1 Общие положения

Выбор системы пробоотбора и самих грунтоносов должен осуществляться с учетом предполагаемого строения и свойств грунтовой толщи, а также определяться набором лабораторных исследований. В случаях, когда информации об инженерно-геологических условиях участка недостаточно и не известно, чем представлен разрез, необходимо использовать оборудование с широким диапазоном возможностей, применимым в различных по составу грунтовых толщах.

Длина керна, который может быть получен при пробоотборе, в значительной степени зависит:

- от геометрии, размеров и других характеристик грунтоносов;
- состава и свойств грунтов;
- используемой системы проникновения и отбора керна (величина нагрузки, способ ее приложения и пр.).

На качество извлекаемого керна и получаемых из него образцов оказывают влияние характеристики пробоотборника. Поэтому необходимо тщательно выбирать устройство с учетом предполагаемых грунтовых условий. В зависимости от целей проекта и требований задания на изыскания могут использоваться различные грунтоносы.

При выборе грунтоноса, как минимум, требуется следующая информация:

- величина угла режущей кромки башмака;
- внутренний и наружный диаметры;
- максимальная длина керна;
- использование поршневой системы;
- применение вкладыша-лайнера или рукава (если применимо);
- тип кернорвателя (если применимо);
- требования к материалам, из которых изготовлен грунтонос;
- устройство и способ извлечения керна из пробоотборника;
- методика герметизации и сохранения грунтоносов с керном (без его извлечения в период полевых/морских работ), если такой способ хранения и транспортирования предусмотрен проектом.

При выборе способа сохранения грунта непосредственно в трубках-грунтоносах без его извлечения на борту судна необходимо использовать пробоотборники, изготовленные из нержавеющей стали или других некорродирующих материалов.

Не допускается повторное использование пробоотборников без их полной очистки и тщательной проверки на предмет повреждений. Трубки с поврежденными краями необходимо отремонтировать до исходного состояния или отбраковать. Дополнительные указания и рекомендации по выбору пробоотборников приведены в приложении Д.

#### 9.4.2 Пробоотбор при бурении

Инженерно-геологическое бурение используется для отбора проб на большую глубину, чем это позволяет сделать обычный пробоотбор ЛТС. Стандартная глубина инженерно-геологических скважин 50—100 м (по грунту), хотя для различных целей бурение может осуществляться как на небольшую глубину (5—10 м), так и на глубину до нескольких сотен метров. Оборудование для бурения может стационарно базироваться на специализированных геотехнических судах или платформах; может быть модульным и устанавливаться на различные (не специализированные) носители (суда, баржи, понтоны, эстакады), а также быть дистанционно управляемыми и оперироваться с поверхности морского дна.

Для отбора керна при бурении могут быть использованы различные пробоотборники (грунтоносы). Общие указания по выбору и применимости грунтоносов представлены в таблице Д.1.

Исходя из ожидаемого грунтового разреза должны быть определены виды применимых грунтоносов. Оборудование и методика работ подробно описываются подрядчиком в программе работ. Стандартный набор технологий отбора керна при инженерно-геологическом бурении включает задавливаемые, забивные, обуривающие и поршневые устройства. В частности для пробоотбора в диапазоне от текучих до полутвердых связных грунтов и получения качественных, пригодных для лабораторных исследований образцов могут быть использованы (см. Д.1):

- поршневой грунтонос;
- задавливаемый тонкостенный грунтонос;
- задавливаемый толстостенный грунтонос;
- колонковая трубка;
- вибропробоотборник;
- забивной грунтонос.

В некоторых случаях, в частности при исследовании разреза, сложенного уплотненными, полутвердыми—твердыми глинами, слабосцементированными грунтами, слабыми породами, валунными суглинками; единственным эффективным и пригодным способом отбора керна может быть роторное/вращательное бурение с колонковой трубкой.

Чтобы избежать отбора проб из интервалов с существенным нарушением грунтов породоразрушающим инструментом при проходке скважины, такие интервалы можно проходить без опробования или использовать образцы только для подходящих видов исследований (таблица 5). Для получения проб надлежащего качества необходимо извлекать керн и обращаться с ним соответствующим образом, избегая воздействия, например динамического или вибрационного, так как оно может привести к изменению свойств и состояния грунта, сделав его непригодным для определения прочностных и деформационных свойств.

Процедуры пробоотбора при бурении существенно меняются от производителя к производителю и от оборудования к оборудованию, поэтому детальные рекомендации и требования должны содержаться в документации к проекту исходя из конкретных условий. Общие требования к предоставляемой подрядчиком информации содержатся в таблице Д.2.

**9.4.3 Пробоотбор легкими техническими средствами**

Пробоотбор без использования оборудования, которое позволяет бурить (т. е. без бурения), может быть применим при уверенности, что проектная глубина исследований достижима выбранным оборудованием в предполагаемых инженерно-геологических условиях. Такие средства пробоотбора (ЛТС) могут состоять как из сложных, усовершенствованных устройств, включающих донную раму со специальным оборудованием для внедрения керноприемника и способных поставлять керн и образцы самого высокого качества, так и очень простых грунтоносов, обладающих невысокой проникаемостью и позволяющих получать пробы невысокого качества. За небольшим исключением, все подобные системы в целом ограничены возможностью пенетрации в грунт до 25 м (обычно глубина проникновения в грунт составляет 2—6 м). Тем не менее при использовании специальных устройств в слабых грунтах возможна пенетрация керноприемника на глубину более 25 м. При такой длине керна и пробоотборника уже возникают другие проблемы и вопросы, например, связанные с извлечением пробоотборного устройства из толщи, его подъемом и оперированием трубкой на палубе, равно как и приемлемым способом извлечения керна из трубки.

Пробоотборники, используемые в режиме «без бурения», имеют больше ограничений по применимости, и они в большинстве приспособлены для не самых плотных грунтов (т. е. подходят для текучих — мягкопластичных, дисперсных осадков с низким сопротивлением внедрению). Их использование в более плотных отложениях существенно ограничивает глубину пенетрации, выход керна и увеличивает вероятность повреждения оборудования. Общие указания по применимости различных типов пробоотборников, без применения бурения, представлены в Д.1.3 и таблице Д.3.

Наиболее типичные пробоотборники, внедряемые без бурения:

- поршневой пробоотборник с фиксированной привязкой к поверхности дна;
- поршневой пробоотборник без фиксированной привязки к поверхности дна;
- гравитационная трубка (без поршневого устройства);
- вибрационный пробоотборник;
- коробчатый пробоотборник;
- дночерпатель грейферного типа.

Дополнительная информация по использованию указанных пробоотборников дана в Д.1.3.

Процедуры пробоотбора такими устройствами могут существенно меняться в зависимости от производителя и модели, поэтому детальные рекомендации и требования должны содержаться в документации к проекту исходя из конкретных условий. Обзор предоставляемой подрядчиком информации по оборудованию представлен в Д.1.3.8 и таблице Д.4.

Представляемая методика работ должна демонстрировать весь ход процесса пробоотбора, от настройки оборудования до извлечения керна, его опробования хранения и доставки в стационарную лабораторию.

### 9.5 Извлечение керна

Потеря керна (его части) происходит, когда длина отобранного образца, измеряемая на палубе, оказывается меньше величины пенетрации пробоотборника. Выход керна может быть менее глубины пенетрации (потеря керна) и превышать величину пенетрации (приращение керна, когда длина полученного образца больше глубины проникновения грунтоноса). Такое различие между двумя величинами вызывает неопределенность в измерении глубины (отбора проб, определения границ), как описано в разделе 6.

Такие факты более характерны для пробоотбора «без бурения», когда извлекается керн большей длины, чем это может быть, исходя из длины стандартного хода оборудования.

Потеря/приращение керна может произойти из-за следующих факторов:

- потери части керна в ходе извлечения (обычно, выпадает нижняя, призабойная часть);
- уплотнения керна в трубке в результате удара или вибрации;
- потери и/или сегрегации слабых грунтов вследствие разжижжения;
- уплотнения грунта в грунтоносе, когда относительная внутренняя чистота поверхности пробоотборника $C_i$ (см. Д.1.2.3) меньше нуля;
- расширения грунта из-за химически активных глин (процессов), выделения газа, растворенного в поровых водах и/или разряжения внутреннего давления;
- «свайного эффекта», когда происходит образование «пробки» в башмаке грунтоноса и при дальнейшей пенетрации керн не заходит в грунтонос;
- «поршневого эффекта», когда поршень «всасывает» грунт интенсивнее, чем грунтонос внедряется в грунт, что обычно происходит в слабых грунтах, илах с использованием поршневых систем пробоотборников;
- вымывания/размыва керна под воздействием бурового раствора при роторном бурении (из-за неправильного, избыточного давления);
- выпадения части керна из грунтоноса, например, если разрез сложен несвязными, рыхлыми грунтами или мерзлыми — подвергшимся растеплению при разбуривании, или скальным грунтом.

Определение точной причины потери/приращения керна — важная задача. Если причина не установлена, то может быть дана только оценка интервала глубин, в котором были получены керн или проба. Разрыв в непрерывной последовательности керна может быть следствием свойств и состояния грунтов и/или являться следствием слабого контроля или сбоев работы/настройки средств пробоотбора или некачественного бурения, повлекшего разрушение грунта в зоне отбора. В таком случае следует использовать данные буровых журналов или иной документации, сопровождающей процесс пробоотбора и/или бурения, для выяснения причин несоответствия и их устранения.

При стандартной практике причины потери/приращения керна при проходке интервала определяет сменный инженер/геолог/техник и оценивает вероятный интервал, в котором произошло отклонение. Кроме регистрации фактических измеренных величин (глубин отбора проб, керна, границ), следует добавить примечания о причинах отклонений и возможных истинных глубинах. Для уточнения данных могут быть использованы результаты испытаний и исследований, выполненных в рядом расположенных инженерно-геологических выработках и/или пунктах наблюдений (станции статического зондирования, скважины, станции ЛТС или профили сейсмоакустического профилирования) или информация по данным бурильщика/оператора (изменение скорости проходки, потери бурового раствора, осевой нагрузки и пр.). Сменный инженер/геолог/техник должен сделать такую оценку сразу после установления расхождения, как наиболее точную. Если остаются сомнения в точности определения глубин и интервалов, следует подготовить специальный документ/отчет, с привлечением всей доступной информации для последующего анализа и конечного заключения.

При выполнении инженерно-геологического бурения с отбором керна в интервалах, в которых сложно определяется состав отложений или выход керна не соответствует проходке, следует сокра-

щать шаг проходки. При выполнении пробоотбора «без бурения» контролируется только общая длина проходки и погрешность может превышать несколько метров. При систематическом отклонении параметров бурения от стандартных или полученных в окружающих интервалах бурения, необходимо определить его причину и продолжить работу после ее устранения.

При пробоотборе ЛТС без фиксированной привязки ко дну моря измерение величины пенетрации, определение величины потери/приращения керна или выхода керна может быть трудноопределимым. Для таких устройств следует применять класс точности Z5.

При отборе и извлечении керна следует:

а) документировать информацию о типе, параметрах используемых устройств, составе буровой бригады, геологической команды;

б) фиксировать отклонения в методике относительно программы или стандартной процедуры выполнения работ;

в) вести буровой журнал/журнал оператора с регистрацией параметров, включая, но не ограничиваясь следующими:

- глубина моря;
- глубина выработки;
- способ бурения или пробоотбора;
- метод определения длины проходки;
- нагрузка на забой;
- скорость вращения инструмента;
- длина рейса/шага бурения;
- расход промывочной жидкости;
- скорость проходки;
- отклонения в ходе проходки (провал или его заклинивание инструмента, резкое изменение режимов бурения и пр.),

г) определять выход керна;

д) указывать вид грунтоноса и используемых приспособлений (рукав-вкладыш, пластиковый стакан, кернорватель и др.);

е) указывать способ извлечения керна из грунтоноса/пробоотборника.

Примечание — Извлечение керна должно производиться без его деформации или с минимальным воздействием на керн, с использованием гидравлического извлекателя или «свободным ходом» рукава, вкладыша;

ж) регистрировать нарушенность извлеченного керна и его применимость для дальнейших испытаний и исследований в судовой и стационарной лабораториях.

Примечание — Пригодность отобранных проб для исследований и испытаний определяется в соответствии с требованиями 10.1;

и) отделять керн от шлама (последний может быть использован для оценки состава пройденного интервала);

к) укладывать керн в специальные ящики с указанием интервалов грунта, отобранных для лабораторных исследований;

л) при отсутствии керна, его низком выходе или несоответствии длины проходки выходу керна следует повторно пройти такой интервал для установления истинного разреза.

Примечания

1 Повторная проходка может не проводиться, если разрез не меняется относительно выше и ниже залегающих отложений, если иное не предусмотрено заданием.

2 При выполнении пробоотбора ЛТС выполняется до трех попыток отбора пробы, керна, если иное не предусмотрено заданием.

3 При бурении инженерно-геологической скважины следует выполнять повторную проходку интервалов с неудовлетворительным выходом керна, нарушенным/неизвлекаемым образцом в одной скважине, расположенной максимально близко к пробуренной и через все требуемые интервалы.

### 9.6 Обращение, хранение и транспортирование керна

#### 9.6.1 Общие положения

Методика обращения, транспортирования и хранения должна соответствовать целям проекта и содержаться в программе работ или иных проектных документах (например, рабочие инструкции или процедуры).

Примечания

1 ГОСТ 12071 содержит указания по обращению, транспортированию и хранению образцов.

2 Задание на изыскания может содержать информацию о сроках хранения образцов (фиксированные или гибкие) в море или стационарной лаборатории, информацию об условиях хранения, таких как температура и влажность, если это не противоречит требованиям ГОСТ 12071.

Отслеживание образцов является важным процессом, и каждый образец должен определяться уникальным идентификационным номером, либо путем регистрации номера инженерно-геологической выработки, номера образца выработки, глубины отбора, или созданием идентификационной нумерации в базе данных по лаборатории или проекту.

При хранении керна и проб указывается следующая информация:

- номер инженерно-геологической выработки и образца;
- дата отбора пробы;
- координаты местоположения;
- глубина моря;
- глубина отбора пробы (от поверхности морского дна);
- тип пробоотборника;
- размеры пробоотборника;
- длина или объем отобранного образца;
- способ отбора пробы (загерметизирована непосредственно в трубке или в виде монолита, отобрана в пакет — как проба нарушенного сложения).

#### 9.6.2 Обращение с керном в море

Обращение с керном и пробами должно быть таким, чтобы его не нарушить, либо свести нарушение к минимуму.

Для керна, по которому имеется подозрение на содержание инородного материала, необходимо оценить природу такого материала и его воздействие на пробу.

Для образцов, полученных в результате бурения, весь шлам и буровой раствор должны быть удалены с верхней части керна до того, как будет измерена его длина. Керн, извлеченный из пластиковых рукавов-вкладышей, следует осторожно разрезать на короткие фрагменты (0,5—1,0 м) для дальнейшего обращения, если это позволяет его состояние и прочность.

Решение об извлечении керна из грунтоноса в море (на судне, платформе и т. д.) зависит от самого грунта, его состояния, а также от целей изысканий и требований к исследованиям грунтов в стационарной лаборатории. Как правило, образцы связного грунта, которые останутся в относительно ненарушенном состоянии после извлечения, могут быть отобраны непосредственно в море. Пробы из песков больше подвержены разрушению, но также могут быть извлечены и отобраны в судовой лаборатории. Сохранение грунтов, содержащих более крупные фракции, в грунтоносах не имеет ценности, так как он нарушается уже при пробоотборе и не сохраняет природных влажности и плотности. Обычно из крупнозернистых грунтов (включая пески) отбирают пробы нарушенного сложения, которые потом используются для лабораторных исследований и испытаний, т. е. монолиты из таких морских грунтов не отбираются. Применяемые в отечественной практике грунтоносы, как правило, подразумевают извлечение керна непосредственно в море, а сохранение проб в специальных стальных грунтоносах используется весьма редко (из-за отсутствия соответствующих буровых установок и оборудования). Поэтому чаще всего применяется практика сплошного опробования керна непосредственно в море, с отбором проб, пригодных для лабораторных исследований в виде монолитов или в пластиковые пакеты. Если проектируемый разрез представлен слабыми грунтами, следует предусмотреть бурение и пробоотбор, позволяющий максимально сохранять ненарушенное сложение и состояние керна, в том числе путем отбора в стальные грунтоносы-стаканы или пластиковые трубки-вкладыши. Вкладыши могут быть легко разрезаны и загерметизированы для дальнейшего хранения и транспортирования в стационарную лабораторию.

Верх и низ пробы или керна должны иметь четкую маркировку.

Извлечение керна должно выполняться очень осторожно. Если используется экструдер, то он должен обеспечить постоянную скорость движения (номинальная минимальная скорость 10 мм/с) и адаптер-пробку, подогнанный по внутренним размерам. Экструдер не должен создавать вибрацию при работе.

Если грунт содержит газ или имеется предположение о его наличии в грунте, должны приниматься специальные меры предосторожности, направленные на безопасность персонала и оборудования. Для работы с такими грунтами должны быть предусмотрены специальные процедуры/инструкции.

Общие требования обращения с извлекаемым грунтом даны в Д.2.2.1.

Для оставшегося керна, не извлеченного из грунтоносов в море, описание грунта и определение ряда свойств может быть выполнено в торцевых частях в соответствии с Е.2.15. Предлагаемая процедура по обращению с указанными образцами дана в Д.2.2.2.

Образцы, полученные в ходе колонкового бурения, должны быть тщательно обработаны, зарегистрированы и подготовлены к транспортированию. Указания по этим операциям даны в Д.2.2.3.

Образцы, отобранные грейферным дночерпателем и коробчатым пробоотборником, должны быть проанализированы на предмет отбора отдельных проб из локальных участков или общей пробы, описание и обработка таковых проб проводится согласно требованиям задания или программы работ. Общие методические указания и рекомендации также даны в Д.1.3.7 и в Д.1.3.6.

**9.6.3 Хранение образцов и керна в море**

Хранение образцов в морских условиях должно быть организовано таким образом, чтобы избежать дополнительного нарушения образца. Должны учитываться следующие факторы:

- воздействие высоких температур;
- воздействие отрицательных температур;
- химические изменения;
- вибрация или динамические воздействия;
- изменения влажности.

Для хранения образцов, отобранных из грунтовой толщи при температуре 0 °С и ниже, должны использоваться специальные холодильные или морозильные камеры, или термостаты с поддержанием соответствующей природной температуры. Дополнительные указания по хранению проб в море даны в Д.2.3.

**9.6.4 Обращение, хранение и транспортирование образцов на суше**

Соответствующие процедуры должны выполняться при транспортировании, обращении и хранении образцов до доставки их в стационарную лабораторию. В целом условия по температуре, влажности, вибрации и ударному воздействию должны надежно контролироваться или должна применяться прочная упаковка, чтобы не допустить повреждения образцов. Изменение температурного состояния не должно допускаться.

Дополнительные указания даны в Д.2.4.

## 10 Лабораторные испытания

### 10.1 Общие положения

Настоящий раздел и приложение Е определяют требования к испытаниям, выполняемым в геотехнических лабораториях в море и на берегу.

В ходе выполнения программы испытаний в геотехнической лаборатории испытания должны выполняться на основе стандартов или других согласованных процедур.

В приложении Е описаны процедуры проведения наиболее распространенных лабораторных испытаний с акцентом на лабораторных испытаниях водонасыщенных грунтов. В приложении не рассматриваются испытания загрязненных грунтов.

Соответствующие стандарты и процедуры лабораторных испытаний, а также форма представления их результатов (таблицы и рисунки) должны быть указаны в задании. В отсутствие таких требований должны использоваться стандарты и процедуры, описанные в приложении Е или принятые в практике подрядчика.

Требования, представленные в настоящем стандарте, касаются, прежде всего, испытаний наиболее широко распространенных грунтов, таких как пески и глинистые грунты. Пробы, отобранные для конкретного лабораторного испытания, должны иметь необходимый для этого испытания объем. Необходимо учитывать альтернативные и дополнительные требования при выполнении исследований морских карбонатных грунтов, илов, валунных грунтов и т. п. (см. таблицу А.3).

Настоящий стандарт не описывает лабораторные испытания скальных грунтов. Многие аспекты лабораторных испытаний грунтов, такие как измерительная аппаратура, сбор данных, калибровка, коррекция, подготовка грунта и оценка качества образцов, являются общими для ряда испытаний. Во избежание повторов в 10.2—10.5 приводится общая информация по таким вопросам. Некоторые специальные требования к испытаниям даны в соответствующих подразделах в приложении Е.

Применимость данных, полученных при испытаниях образцов ненарушенного сложения, в значительной мере определяется качеством образцов, которое следует оценивать при любой возможности.

В данном разделе описывается применимость пяти классов образцов грунта (которые в [14] называются «классами качества»): с классами 1 и 2 для образцов ненарушенного сложения, и классами 3, 4 и 5 — для образцов нарушенного сложения:

- образцы классов 1 и 2 не имеют или претерпели несущественное нарушение природного сложения грунта в ходе отбора и консервации.
- образцы класса 3 имеют исходный состав, включая естественную влажность, но природное сложение может быть частично нарушено с сохранением текстуры и условий сложения;
- образцы классов 4 и 5 имеют существенные нарушения и изменения состава и строения грунта. Общая схема залегания слоев грунта не может быть определена точно. Влажность образца не соответствует природной.

В таблице 5 определены характеристики состава и свойств грунтов, которые могут оставаться неизменными в ходе отбора проб, консервации, транспортирования и хранения, а также свойства, которые могут быть определены для каждого класса применимости.

Таблица 5 — Классы применимости образцов грунта для лабораторных испытаний

| Свойства грунтов | Классы применимости | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Неизмененные характеристики грунта: | | | | | |
| размер частиц | x | x | x | x | — |
| влажность | x | x | x | | — |
| плотность, проницаемость | x | x | — | — | — |
| сжимаемость, прочность на сдвиг | x | — | — | — | — |
| Определяемые характеристики строения и свойств: | | | | | |
| последовательность слоев | x | x | x | x | x |
| границы слоя — широкие | x | x | x | x | — |
| границы слоя — узкие | x | x | — | — | — |
| пределы пластичности, плотность частиц, содержание органических веществ, содержание карбонатов | x | x | x | x | — |
| влажность, общая минерализация порового раствора | x | x | x | — | — |
| плотность, проницаемость | x | x | — | — | — |
| сжимаемость, прочность на сдвиг | x | — | — | — | — |

Примечание — Знак «x» означает грунт пригоден, знак «—» — грунт не пригоден.

### 10.2 Представление результатов лабораторных испытаний

Представление результатов лабораторных испытаний должно включать указания на использованный стандарт и наименование каждого выполненного лабораторного испытания.

В результатах лабораторных испытаний каждого образца (включая графики и таблицы) должна присутствовать следующая информация:

- местоположение участка изысканий;
- идентификация образца (например, номер скважины или керна, номер образца);

- глубина отбора пробы;
- размеры образца;
- плотность грунта и плотность скелета грунта;
- исходная и конечная влажность;
- начальная степень водонасыщения;
- плотность частиц грунта;
- начальный коэффициент пористости;
- пределы пластичности грунта;
- эффективное значение вертикального природного давления.

Любые отклонения образца от требований к испытаниям (например, недостаточная масса пробы для проведения конкретного вида испытаний, недостаток образцов ненарушенного сложения, испытания на образцах нестандартного размера) должны быть отмечены и документально оформлены.

Дополнительные требования для представления результатов лабораторных испытаний даны в подразделах по отдельным лабораторным испытаниям в приложении Е.

### 10.3 Измерительные приборы, калибровка и сбор данных

Измерительное оборудование должно удовлетворять требованиям ГОСТ 30416.

Измерительные приборы для лабораторных испытаний могут включать механические устройства (например, прибор с круговой шкалой, манометр, кольцевой динамометр) и электронные устройства (например, датчик смещения, преобразователь давления, датчик массы). Такие измерительные приборы должны калиброваться надлежащим образом, а калибровочные данные должны предоставляться по запросу. Рекомендации по частоте калибровки измерительных приборов даны в ГОСТ 30416. Процедуры и оборудование, используемые для выполнения калибровок, а также частота калибровки должны быть документально оформлены.

Измерительные приборы для специальных испытаний должны соответствовать требованиям по точности и воспроизводимости данных, необходимых для выполняемого измерения. Это в большой степени зависит от типа проводимого испытания и свойств самого грунта. Требования к точности лабораторных испытаний приведены в приложении Е.

Разрешение и диапазон напряжений системы сбора данных должны отвечать требованиям всех входящих в систему измерительных преобразователей, которые, в свою очередь, должны соответствовать требованиям к производительности и считываемости каждого измеряемого параметра испытаний. Частота надежно регистрируемых данных должна отвечать требованиям к проводимому специальному испытанию. Требования к частоте показаний лабораторных испытаний, в которых используются электронные измерительные приборы, даны в соответствующих подразделах приложения Е.

Измеряемые данные испытаний могут при необходимости корректироваться для учета деформации установки, изменений площади образца, трения в системе, сопротивления фильтровальной бумаги, мембраны, пр. Требования к корректировке данных даны в соответствующих подразделах приложения Е. Используемые процедуры и оборудование для определения этих коррекций документируют и, при необходимости, указывают в отчетах.

### 10.4 Подготовка образцов грунта для испытаний

#### 10.4.1 Минимальный размер образца и размеры отдельных образцов

В приложении L стандарта [14] представлена сводная таблица минимальных требований к массе и размерам образца в отношении распространенных лабораторных испытаний. Стандарты испытаний, в которых также указывают эти требования, перечислены в соответствующих подразделах приложения Е.

#### 10.4.2 Подготовка образцов нарушенного сложения

Формирование образцов проводится при их естественной влажности или в воздушно-сухом состоянии. Образцы могут быть предварительно высушены на воздухе или в печи. Следует указывать использованный метод сушки.

При растирании комочков и перемешивании грунта должно быть исключено дробление отдельных частиц. При растирании грунта следует использовать пестик с резиновым наконечником.

Растертый грунт должен быть тщательно перемешан. Выделение репрезентативной пробы проводится методом квартования.

Если необходимо удалить частицы с размером выше предельно допустимого для подготовки пробы, то в отчете указывают диапазон размеров и эквивалентную сухую массу материала с размером выше предельного.

Метод формирования образца определяется назначением испытания.

**10.4.3 Подготовка образцов связных грунтов ненарушенного сложения**

Достоверность результатов испытаний образцов ненарушенного сложения в значительной мере обусловлена их качеством. Выбор образцов ненарушенного сложения должен выполняться с учетом всей имеющейся информации по потенциальному качеству образцов. Рентгеновские и компьютерные томограммы (см. Е.2.4) обеспечивают получение ценной информации о качестве образцов без разрушения и могут быть использованы для их выбора. Характеристика качества образцов глинистых грунтов слабой и средней степени переуплотнения может выполняться с использованием эмпирических методов $\varepsilon_{vol}$ или $\Delta e/e_0$, описанных в 10.5.

Любые неиспользуемые порции образцов ненарушенного сложения следует повторно надлежащим образом герметизировать, промаркировать и возвратить на хранение. Методические указания по герметизации и хранению образцов даны в ГОСТ Р ИСО 22475-1.

Зачистка и подрезка образцов ненарушенного сложения должны выполняться таким образом, чтобы минимизировать их повреждения и не допустить потерю влаги. По возможности, образцы должны поддерживаться жесткой формой, все манипуляции должны выполняться с помощью жестких опорных устройств (например, пластин, цилиндров) и повреждения должны быть сведены к минимуму.

Зачистку и подрезку образцов для фильтрационных и компрессионных испытаний, трехосного сжатия, простого сдвига следует выполнять с использованием пригодных по размеру острых и чистых инструментов (струна, скальпель, нож, линейка, и т. п.). Подходящие устройства для изготовления цилиндрических образцов скальных грунтов включают токарно-отрезной станок и поворотный или отрезной круг. Отрезные круги должны иметь острые кромки и отполированную внутреннюю поверхность, а также быть покрыты смазкой (например, силиконовым маслом). Дополнительные требования к подготовке и обследованию образцов представлены в Е.4.3, Е.4.8, Е.5.2, Е.5.3 (приложения Е).

Необходимы специальные процедуры по подготовке образцов, имеющих сопротивление сдвигу в недренированных условиях $s_u$ менее 5 кПа. При необходимости методика подготовки и используемое оборудование должны отражаться в отчете.

**10.4.4 Искусственно сформированные образцы**

Сформированные в лаборатории образцы включают уплотненные при заданных давлении и влажности и восстановленные при заданной плотности скелета и влажности.

Образцы могут уплотняться статическими нагрузками, вибрированием, трамбованием в сухом или влажном состоянии. Образцы для физико-механических испытаний (фильтрационно-компрессионные испытания, трехосное сжатие, сдвиг) могут быть запрессованы в форму, которая имеет тот же размер, что и образец для испытаний, или превышает его. Если форма превышает размер испытываемого образца, то после уплотнения его следует вынуть из формы и зачистить до необходимого размера в соответствии с процедурой, описанной в 10.4.3. Необходимо не допускать образования в уплотненном образце пустот. Сформированные образцы глинистых грунтов следует выдерживать при постоянной влажности перед испытанием не менее чем 24 ч. В отчете следует приводить подробное описание методики и оборудования для подготовки образцов.

Образцы песков могут быть подготовлены осаждением в воздухе или в воде в латексную мембрану, которая поддерживается жестким шаблоном, установленным непосредственно в испытательной камере прибора. Точная процедура, включая высоту падения и скорость осаждения частиц, которая необходима для достижения заданной плотности скелета грунта, должна быть предварительно подобрана экспериментально. Оборудование и процедуру осаждения следует подробно описывать в методике испытаний.

Образцы связных грунтов заданной плотности следует формировать путем постепенной дегидратации и последующего уплотнения однородной массы при влажности примерно в 1,3 раза больше предела текучести. Вода, используемая для подготовки исходной пасты, может быть с соответствующим содержанием ионов, деионизированной или дистиллированной. Уплотнение формируемого образца следует выполнять в соответствии с Е.3. Начальные нагрузки должны быть достаточно малы, чтобы исключить выдавливание материала при уплотнении. Заключительное давление уплотнения должно быть достаточным, чтобы обеспечить последующее извлечение образца из уплотнителя, его обработку и перенос в камеру испытательной установки. Оборудование и процедуру осаждения следует подробно описывать в методике испытаний.

**10.4.5 Подготовка восстановленных образцов**

Восстановление образцов связных грунтов может достигаться за счет тщательного перемешивания, формования и уплотнения грунта без потери его влажности. Перед восстановлением проба должна храниться в герметичной емкости.

Работа, необходимая для восстановления плотности грунта, в большой степени зависит от соотношения его влажности с пределом пластичности. Грунты с низкой влажностью и низким показателем текучести восстановить труднее, чем пластичные грунты. Проверка тщательности восстановления образцов может выполняться посредством периодических простых определений (например, балансирным конусом) до получения постоянного значения минимальной прочности.

Восстановленный образец может быть подготовлен путем обработки исходного грунта в соответствующей форме. Эти операции следует выполнять как можно быстрее, чтобы не допустить изменений влажности и появления дополнительного объема газовой фазы в образце. Оборудование и процедуру восстановления следует подробно описывать в методике испытаний.

**10.5 Оценка качества образцов ненарушенного сложения**

Не существует общепризнанного метода для определения качества образцов ненарушенного сложения. Нужная информация может быть получена с использованием следующих количественных и качественных методов.

Качественная оценка состояния образца может быть выполнена путем визуального обследования образца или с помощью рентгеновской томографии, как это описано в Е.2.4. Петрографическое исследование строения грунта может применяться для грунтов с жесткими структурными связями.

Количественная оценка состояния образца ненарушенного сложения глинистых грунтов низкой и средней степени переуплотнения может проводиться путем измерения изменения объема при расчетных природных напряжениях ($\sigma'_{v0}$, $\sigma'_{h0}$). Рекомендуемый параметр качества образца $\Delta e/e_0$ вычисляется как:

$$\Delta e/e_0 = \varepsilon_{vol}\,(1 + e_0) / e_0, \qquad (11)$$

где $\Delta e$ — изменение коэффициента пористости;

$e_0$ — коэффициент пористости подготовленного образца;

$\varepsilon_{vol}$ — объемная деформация ($\varepsilon_{vol} = \Delta V/V_0$) от повторного уплотнения ($\sigma'_{v0}$, $\sigma'_{h0}$);

$\sigma'_{v0}$ — вертикальное природное эффективное напряжение;

$\sigma'_{h0}$ — горизонтальное природное эффективное напряжение.

Значения $\Delta e/e_0$ и $\varepsilon_{vol}$ следует вычислять и указывать в отчете по лабораторным испытаниям при уплотнении глинистых грунтов ненарушенного сложения в условиях компрессии, трехосного сжатия и простого сдвига при наиболее достоверной оценке природных напряжений. Качество образца определяется по таблице 6.

Примечания

1 Анизотропное уплотнение $\sigma'_{vc} = \sigma'_{v0}$ и $\sigma'_{hc} = \sigma'_{h0}$ может применяться в условиях анизотропного трехосного сжатия, поскольку в испытаниях с жесткой обоймой (например, в одометре и приборе простого сдвига) определено только $\sigma'_{vc}$, а значение $\sigma'_{hc}$, возникающее в образце, неизвестно. В таких испытаниях $\varepsilon_{vol} = \varepsilon_a$ (осевая деформация).

2 Критерии качества образца в таблице 6 неприменимы для испытаний при дополнительной нагрузке с длительным нагружением (например, 24 ч) из-за возникновения дополнительного эффекта вторичной консолидации. Критерии качества образца таблицы 6 могут использоваться при сравнительно кратковременной дополнительной нагрузке (например, 1—3 ч). Если использовалось более длительное нагружение, то следует интерпретировать кривые «деформация — время», чтобы определить конец основной деформации для соответствующих этапов дополнительного нагружения.

3 Критерии, представленные в таблице 6, разработаны на основе результатов, выполненных на морских глинах, отобранных с глубин ниже дна моря на 0—25 м и с диапазоном изменения числа пластичности 6 % — 43 %, влажности — 20 % — 67 % и OCR = 1 — 4.

Таблица 6 — Оценка качества образца ненарушенного сложения для глинистых грунтов низкой и средней степени переуплотнения

| OCR | $\Delta e/e_0$ при $\sigma'_{v0}$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1—2 | < 0,04 | 0,04—0,07 | 0,07—0,14 | > 0,14 |
| 2—4 | < 0,03 | 0,03—0,05 | 0,05—0,10 | > 0,10 |
| Качество образца | 1 (очень хорошее — отличное) | 2 (удовлетворительное — хорошее) | 3 (плохое) | 4 (очень плохое) |

## 11 Отчет

### 11.1 Требования к отчетным материалам

Объем и детальность отчета по морским исследованиям грунтов должны определяться заданием и являются частью требований по конкретному проекту (см. 5.3).

Пример состава отчета приведен в таблице Ж.1. Если требования к форме представления отчета не даны в проектной документации, то следует использовать практику подрядчика или требования иных применимых нормативов.

### 11.2 Результаты полевых исследований и представление измеренных и рассчитанных геотехнических параметров

Отчет включает описание используемого оборудования и процедур, детальный перечень выполненных работ и мероприятий, цели исследований, данные и результаты исследований, а также сведения о ежедневном выполнении работ (DPR) и могут включать:

- планы, отражающие местоположение всех точек исследований, включая координаты в заданной системе координат;
- глубину моря в каждой точке исследования, с использованной системы высот/уровня моря (например, LAT или MSL);
- ссылки на документацию по применяемым методам и процедурам;
- представление фактических результатов исследований на участке и лабораторных испытаний;
- список выполненных лабораторных испытаний в полевой лаборатории и береговой лаборатории с соответствующими комментариями, описывающими общие характеристики отбора проб и их качество;
- схему стратиграфического расчленения, привязанную к данным бурения с подробным описанием соответствующих данных;
- оценку данных и результатов с указанием сделанных допущений и использованных ссылок для вычисления геотехнических параметров, а также их полученные значения;
- рассматриваемый(е) вариант(ы) проектирования для планируемого сооружения (если определено заданием), а также другая применимая информация о целях исследований;
- сравнение результатов исследований грунтов с имеющимися результатами предшествующих исследований или проектирования в том же районе или в аналогичных условиях.

Для любых выполненных нестандартных полевых или лабораторных испытаний должны быть даны описание методики, оборудования и интерпретации данных, если отсутствует ссылочный документ, стандартная методика или процедура.

Любое отклонение фактически выполненного объема от планового следует отражать в отчете с объяснением причин расхождения.

Все приводимые значения следует давать в международной системе СИ.

Если заданием предусмотрено представление результатов в соответствующей электронной форме, следует подготовить кроме бумажной версии отчета его копию в электронном формате, цифровую базу данных по проекту или в виде ГИС.

Схема стратиграфического расчленения должна основываться на имеющейся информации по скважинам на основе опробования керна и полевых испытаний. Также информация о геофизических исследованиях на участке может предоставить важную дополнительную информацию о геологическом строении, если применимо.

### 11.3 Интерпретация данных и оценка обобщенных геотехнических параметров

Если проектом предусматривается интерпретация данных и получение обобщенных геотехнических параметров грунтового разреза, то это должно быть указано в задании.

Оценка грунтового разреза и интерпретация геотехнических данных зависит от нескольких факторов, которые могут включать:

- объем выполненных морских исследований грунтов;
- качество полученных данных и результатов;
- пространственную изменчивость свойств в пределах интересующего объема грунта;
- тип проектируемого сооружения, для которых предназначены исследования.

При применении корреляционных зависимостей для вычисления геотехнических параметров (например, при определении сопротивления грунта сдвигу в недренированных условиях на основе CPTU или другого полевого испытания) эти зависимости и их применимость к рассматриваемому случаю должны быть описаны в отчете. Такие корреляции, теоретические или эмпирические, могут основываться на литературных данных, приведенных в открытых источниках, или на опыте предыдущих работ.

Значительная изменчивость грунтовых условий может привести к неопределенностям в оценке геотехнических параметров. Следует указать, обусловлены ли такие вариации и неопределенности естественной изменчивостью грунтов, погрешностями измерений, несовершенными методами интерпретации или чем-то иным.

Если некоторые данные и результаты считаются менее репрезентативными, чем другие, то это должно быть отражено в отчете с указанием причин и присвоением им меньшего веса при характеристике грунтовой толщи.

При достаточном количестве частных определений физико-механических свойств грунтов в границах единого слоя/тела оценка результатов выполняется на основе статистических методов согласно ГОСТ 20522, если заданием не предусмотрено иное. Некоторые указания даны также в [15].

Методы, используемые для определения геотехнических параметров (измеренных, вычисленных и обобщенных), должны описываться в отчете или определяться соответствующей ссылкой. Дополнительные указания представлены в [16].

**Приложение А**
**(справочное)**

## Цели, планирование и состав геотехнических исследований

### А.1 Виды и объемы работ

Инженерно-геологические изыскания являются частью проектно-изыскательских работ и могут выполняться при территориальном планировании, подготовке документации по планировке территории и выбору площадки, на этапах архитектурно-строительного проектирования, а также эксплуатации и реконструкции сооружений (см. СП 47.13330.2016, СП 446.1325800.2019).

Виды и объемы работ определяются целями и задачами изысканий, а также сложностью инженерно-геологических условий участка. Объем планируемых исследований зависит, кроме этого, от требований к детальности и, как следствие, необходимостью построения отчетных картографических материалов заданного масштаба. В таблице А.1 приведены типовые виды геотехнических исследований при инженерно-геологических изысканиях на шельфе под объекты нефтегазовой инфраструктуры. Требования к выполнению профильных или других геофизических видов исследований регламентируются другими нормативными и методическими документами в области инженерных изысканий. Такие работы должны обеспечивать изучение пространственной изменчивости различных геологических слоев, которые могут отождествляться с грунтовыми телами (разновидностями грунтов, инженерно-геологическими элементами, расчетными грунтовыми элементами).

Таблица А.1 — Виды и объемы морских исследований грунтов при изысканиях для нефтегазовых сооружений

| Виды работ | Детальность изысканий и масштаб отчетных картографических материалов | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1:100000 | 1:50000 | 1:25000 | 1:10000 | 1:5000 | 1:2000 | 1:1000 |
| Общее количество точек наблюдений на 1 км$^2$ (инженерно-геологические выработки, пункты зондирования, геофизические станции и пикеты) | 1,0—2,2 | 2—5 | 6—12 | 20—40 | 40—100 | 200—500 | 500—1000 |
| В том числе — минимальное количество точек опробования с помощью инженерно-геологических выработок: | 0,35—0,7 | 0,5—2,0 | 2—4 | 6—16 | 15—30 | 50—150 | 100—400 |
| инженерно-геологических скважин/станций испытаний грунтов «в массиве»/ | 0—0,01/ | 0,01—0,02/ | 0,5—1/ | 1—3/ | 2—6/ | 5—15/ | 10—30/ |
| | 0/ | 0—0,01/ | 0—0,5/ | 1—3/ | 3—8/ | 10—30/ | 30—100/ |
| пробоотбора ЛТС | 0,35—0,7 | 0,5—2,0 | 1,5—3,5 | 4—12 | 10—16 | 35—105 | 60—270 |

Примечания

1 Пилотные скважины не входят в расчет количества инженерно-геологических выработок.

2 При выборе объема полевых работ следует руководствоваться принципом «большая детальность при более высоких категориях сложности инженерно-геологических условий», т. е. при более сложных инженерно-геологических условиях следует выбирать количество по большему пределу.

3 Испытания грунтов «в массиве» следует выполнять в большем объеме при большей детальности; при выполнении средне- и мелкомасштабных изысканий свойства грунтов менее важны, чем данные о строении грунтовой толщи, поэтому бурение предпочтительнее.

Глубинность исследований при геотехнических работах обусловлена целями и этапом изысканий, типом сооружения и его фундамента, грунтовыми условиями и должна определяться заданием на изыскания. При отсутствии требований к глубинности в проектных документах рекомендуется использовать показатели таблицы А.2.

Таблица А.2 — Стандартная глубинность исследований геотехническим оборудованием

| Тип сооружения | Глубина моря, м | Глубина инженерно-геологического бурения, м | |
|---|---|---|---|
| | | Глинистые грунты от текучей до тугопластичной консистенции, рыхлые пески | Глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции, пески плотные и средней плотности, многолетнемерзлые грунты |
| Стационарные платформы со свайным основанием[1)] | Более 150 | По согласованию с проектной организацией | |
| | От 60 до 150 | 90—120 | 50—80 |
| | Менее 60 | 60—80 | 40—50 |
| Стационарные платформы гравитационные | До 50 | Не менее 0,7—1,0 ширины (диаметра) платформы | Не менее 0,5—0,7 ширины (диаметра) платформы |
| Насыпные (намывные) острова (дамбы) | | Две высоты отсыпки (намыва) | Полторы высоты отсыпки (намыва) |
| СПБУ | До 50 | 25—30 | 15—20 |
| Морские эстакады | До 60 | 40—50 | 25—30 |
| Полупогружные буровые установки[2)] | Более 60 | 3—5 | 1—3 |
| Плавучие буровые установки и суда[2)] | Более 60 | 1—3 | 0,5—1 |
| Морские трубопроводы[3)] | Более 10 | 2—3 ниже дна (моря, траншеи) | 1—2 ниже дна (моря, траншеи) |

[1)] Принимаемая глубина скважин должна не менее чем на 15 % превышать предполагаемую глубину забивки свай.

[2)] Геотехнические исследования выполняются для изучения грунтового разреза под якорную систему; может потребуется большая глубина исследований, например, для кессонных якорей.

[3)] Геотехнические исследования вдоль трасс трубопроводов выполняются ниже дна моря (при укладке их на дно) или ниже поверхности укладки трубы (при укладке в траншею).

Инженерно-геологические изыскания на шельфе, как правило, выполняются в следующей последовательности: изучение фондовых и других доступных архивных данных по участку; морские геофизические исследования; морские исследования грунтов (рисунок А.1).

Геофизические исследования (фаза 2) не рассматриваются в настоящем стандарте, однако, использование их результатов важно для оценки инженерно-геологических условий.

Одним из результатов по каждой фазе работ может быть рекомендуемый или скорректированный объем работ по следующему этапу, с учетом уже полученных данных и выявленных ограничений.

Возможность проявления геологических опасностей может быть сначала оценена по материалам 1-й фазы работ. По результатам геофизических исследований такая информация может быть подтверждена/опровергнута и детализирована. При необходимости могут быть запланированы специальные исследования для качественного или количественного прогноза изменчивости инженерно-геологических условий (как следствие воздействия опасных геологических процессов), например:

- изучение строения субаквальной толщи многолетнемерзлых пород (определение распространения кровли и подошвы СММП, свойств, слагающих ее грунтов, температурного режима);
- изучение и выявление придонного газа или газогидратов, соответствующих рисков при проектировании морского нефтегазопромыслового сооружения;
- оценка несущей способности грунтового основания в случае нестандартных грунтовых разрезов (сложенных слабыми и текучими грунтами, отложениями с тиксотропными свойствами или, наоборот, представленных переуплотненными или валунными отложениями).

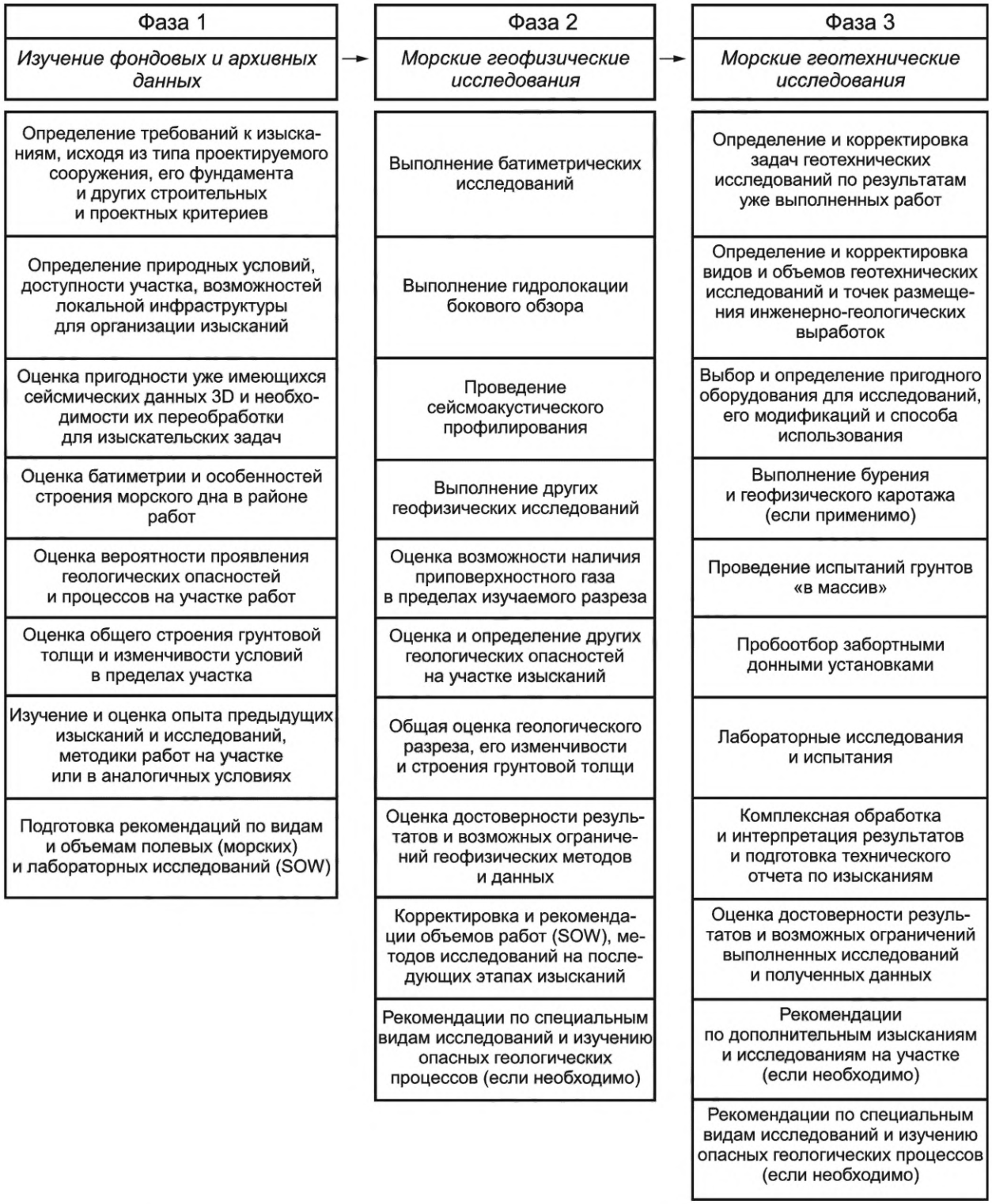



Рисунок А.1 — Схема планирования и последовательности инженерно-геологических изысканий на шельфе

Сочетание морских исследований грунтов с геофизическими методами позволяет выполнить сопоставление их результатов и комплексную обработку, и интерпретацию, объединяя количественные характеристики и информацию о пространственной изменчивости и простирании слоев. Некоторые виды геофизических работ могут использоваться для получения корреляционных зависимостей для определения свойств грунтов, например: вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП), сейсмические исследования с определением скоростных параметров 3D.

Инженерно-геологические изыскания должны быть нацелены на получение достоверных и достаточных данных для выполнения проектных требований. Типы полевых испытаний и лабораторных исследований должны соответствовать предполагаемым условиям проектирования, отвечать условиям и величинам прилагаемых нагрузок.

Взаимодействие между заказчиком и геотехническим(и) подрядчиком(ами) должно быть организовано на всем протяжении проекта. В ходе проведения изысканий возможно изменение объемов и видов работ, в том числе по результатам уже выполненных исследований. Такие изменения должны быть согласованы сторонами, если иное не предусмотрено условиями договора. Основной технической целью инженерно-геологических изысканий является построение модели грунтовой толщи с определением необходимых для проектных решений и расчетов характеристик (расчетных характеристик). Расчеты оснований (несущей способности, устойчивости, осадки, держащей силы якорей и пр.) выполняются проектной организацией (проектировщиком), которая обладает набором данных о сооружении и нагрузках. В некоторых случаях могут потребоваться предварительные (оценочные) расчеты в ходе изысканий, которые могут быть выполнены изыскателем (по заданию заказчика, проектировщика). Например, это может быть важным для определения элементов грунтовой толщи, оказывающих существенное влияние на устойчивость фундамента, и поэтому требовать особого внимания при изысканиях.

Уменьшение объема изысканий (минимально допустимый объем изысканий) или выбор менее эффективных методов исследований возможны только в случае получения достаточных и надежных данных для проектирования и выполнения проектных расчетов. В частности, сокращение допустимо в случаях, когда могут применяться более консервативные оценки или уже имеются многочисленные данные об инженерно-геологических свойствах грунтов и значительный опыт исследований на изучаемой территории. Такие положения должны ясно пониматься заказчиком (проектировщиком) и отражаться в проектной документации (задании на изыскания, программе работ).

Учитывая широкий диапазон естественных условий (морского рельефа, грунтовых условий, наличия геологических опасностей), невозможно установить единые фиксированные требования к видам и объемам геотехнических исследований на шельфе. Для определения достаточного набора исследований следует привлекать специалистов по различным дисциплинам (инженеры-проектировщики, инженеры геологи/геофизики, гидрометеорологи, экологи, геодезисты и др.). Информация о рекомендуемых типовых видах и объемах работ при морских геотехнических исследованиях также приведена в ряде международных документов [2], [17]—[20].

### А.2 Программа и план выполнения работ и требования по охране здоровья, промышленной безопасности и охране окружающей среды (HSE)

Подготовка и планирование инженерно-геологических изысканий являются критическими для успешного завершения работ. Первый этап этого процесса состоит в определении целей проекта, выборе изыскательского судна, бурового и геотехнического оборудования, пробоотборных и лабораторных средств и технологий.

На следующем этапе необходимо сформировать пакет проектной документации, включая программу(ы) работ, план выполнения проекта (PEP). Программы и планы подготавливаются подрядчиком, с определенным участием заказчика (проектировщика), при необходимости. Такие документы должны быть согласованы и приняты сторонами до начала мобилизации.

В проектной документации необходимо отражать методику и технику использования нового или нестандартного оборудования.

Цель разработки проектной документации двойная:

а) обеспечение уверенности в том, что предполагаемые виды и объемы работ позволят достичь необходимых целей (по срокам, технической обеспеченности, с учетом требований безопасности);

б) обеспечение всего персонала понятным и достаточным описанием видов, объемов и методов изысканий, а также определением требований к представляемым результатам, к используемому оборудованию, процедурам выполнения отдельных видов работ, обязанностям каждого участника проекта и взаимодействию сторон.

План выполнения работ (PEP), как правило, состоит из следующих разделов:

- план по качеству (ПК) проекта, включая обеспечение/контроль качества;
- цель и объем работ;
- график выполнения работ;
- план полевых (морских) работ с акцентом на операции мобилизации, развертывания и использования судов и оборудования;
- план управления проектом и организационная схема;
- план HSE (см. ниже), а также система охраны здоровья, промышленной безопасности и охраны окружающей среды (HSEMS), включая план по чрезвычайным ситуациям (ERP);
- план взаимодействия с другими сторонами («документ о взаимодействии»).

Примеры содержания стандартного PEP и его частей даны на рисунке А.2.

*Наименование и местоположение площадки*

*План выполнения работ (PEP):*

1 Введение
2 Использование плана выполнения работ
3 Цель работ
4 Документация по проекту

| ЧАСТЬ А<br>*Объем работ и план по качеству (ПК)* | ЧАСТЬ Б<br>*План HSE* | ЧАСТЬ В<br>*План по управлению безопасностью HSEMS* | ЧАСТЬ Г<br>*План ликвидации аварии (ERP)* |
|---|---|---|---|
| Введение | Введение и заявление о взаимодействии | Цели | Блок-схема аварийного реагирования |
| Цели проекта, объем работ, график | Политики и процедуры HSE | Обзор проекта | SIMOPS |
| Политика в области качества | Оргструктура и обязанности по HSE проекта | Обязанности | |
| Организационная структура проекта и структура управления | Справочная документация по HSE | Система связи | |
| Оборудование | Система связи | Объем работ по проекту | |
| Процедуры эксплуатации и техобслуживания оборудования | Аварийные ситуации | Доклад о происшествиях, авариях и разливах | |
| SIMOPS – план по выполнению одновременных работ | Опыт и обучение | Мониторинг, аудит и анализ | |
| Приложения | Работа с поставщиками и другими подрядчиками | Приложения | |
| | Управление опасностями | | |
| | Охрана здоровья в проекте | | |
| | Процедуры доклада и расследования | | |
| | Оборудование | | |
| | Мониторинг, аудит и анализ HSE | | |
| | Приложения | | |

Рисунок А.2 — План выполнения работ (PEP) и его содержание

Перед началом полевых работ разрабатывается план по идентификации опасностей (HAZID), чтобы определить следующее:

- общие опасности (общий HAZID), относящиеся к обычным повседневным операциям на борту изыскательского судна, включая операции швартовки, операции на рабочей палубе (спуск бурильной колонны, проходка скважины, развертывание оборудования, работа на высоте, перемещение грузов и т. п.);
- специальные опасности, относящиеся к необычным аспектам исследований грунтов, таким как использование нового нестандартного оборудования или использование арендованного судна в отличие от специализированного геотехнического судна;
- опасности на участке изысканий, с которым есть вероятность столкнуться в ходе работ, а также меры по их смягчению или недопущению, при необходимости. Примерами таких опасностей являются естественные особенности морского дна, мелкозалегающий газ, неразорвавшиеся боеприпасы (UXO), субаквальная мерзлота и другие.

После HAZID часто выполняется HAZOP, при необходимости оценки уровня опасности при отклонениях параметров технологических операций от регламентных/проектных значений. Оценка уровня возможного риска может выполняться в соответствии с ГОСТ Р 51901.1, ГОСТ Р 27.012.

План HSE следует составить до начала полевых работ. Он включает:

- общее описание опасностей на площадке, с анализами безопасности работ (JSA);
- общую по проекту и площадке документацию HAZID/HAZOP (с особым вниманием к препятствиям на дне или придонной инфраструктуре, под ним;

- план ликвидации аварии (ERP), включая положения по действиям с травмированным персоналом;
- выявление одновременных операций (SIMOPS), способных повлиять на исследования морского грунта.

Если в составе морских исследований грунтов выполняются пробоотбор, хранение, испытания загрязненных грунтов, то важно применять специально предназначенные инструкции и процедуры. При отборе проб и испытаниях загрязненного грунта нужно соблюдать осторожность и получать достаточное количество проб, хранить их правильно в соответствии с ГОСТ 12071.

**А.3 Примеры нетипичных грунтов**

Примерами нетипичных грунтов являются:

а) терригенные отложения повышенной категории по буримости (например, моренные отложения, мерзлые грунты и др.);

б) специфические терригенные отложения (например, вулканический пепел, илы, глауконитовые отложения и др.);

в) нетерригенные отложения (например, карбонатные и карбонизированные отложения, силикатные породы и т. п.).

Специальные или общие свойства нетипичных грунтов, на которые нужно обратить особое внимание, сведены в таблицу А.3.

Таблица А.3 — Примеры нетипичных отложений и их характеристик, представляющих потенциальные осложнения при изысканиях

| Описание | Потенциальные осложнения и опасности |
|---|---|
| Техногенный/загрязненный/насыпной грунт | Загрязнение; опасность для людей |
| Пепел | Прочность, сжимаемость и проницаемость |
| Карбонатизированные пылевато-глинистые отложения | Сцементированные слои; растворимые |
| Песок известковистый | Малая прочность и жесткость после приложения напряжения; сцементированные слои; растворимый |
| Аргиллиты и сланцеватые отложения | Разбухание после уменьшения напряжения |
| Валунный суглинок | Неоднородный, повышенная категория по буримости, разбуренный фрагмент валуна может быть принят за скальный грунт |
| Солифлюкционные отложения | Эрозия, вымывание потоком воды; образование каверн |
| Эвапоритовые отложения | Растворимые; горнорудная деятельность |
| Железистые отложения | Сцементированные слои |
| Трещиноватые литифицированные глины | Низкая прочность; высокая проницаемость |
| Газосодержащие отложения | Высокая сжимаемость; низкая прочность; взрывоопасность; горючесть; токсичность, возможен выброс газа |
| Глауконитовые пески | Слабые частицы; низкая проницаемость; проявляют свойства глин |
| Лессовые отложения | Неустойчивость структуры грунта при нагрузке |
| Слюдистый и органогенный песок | Неустойчивость структуры грунта при нагрузке |
| Органический грунт | Высокая сжимаемость; подвержен химическим изменениям |
| Торф | Высокая сжимаемость; подвержен химическим изменениям |
| Многолетнемерзлые породы | Влияние температуры на структуру грунта, потерю прочности. Наличие ловушек газа. Содержание льда также является важным осложняющим фактором |
| Искусственный грунт | Прочность, сжимаемость и проницаемость сильно зависят от структуры грунта; неоднородное разрушение; возможное наличие крупнообломочных отложений |

*Окончание таблицы А.3*

| Описание | Потенциальные осложнения и опасности |
|---|---|
| Солончак | Изменение объема; агрессивен по отношению к бетону и стали |
| Чувствительная глина (или высокопластичная глина) | Потери прочности при приложении нагрузки |
| Сжимающаяся/набухающая глина (или активная глина) | Потеря прочности и жесткости при увеличении содержания воды; изменение объема при изменении содержания воды |
| Прочный скальный грунт | Обрушение породы при уменьшении напряжения |
| Недоуплотненная глина и пылевато-глинистые отложения | Продолжающееся сжатие под собственным весом |
| Ленточная глина (или переслаивающаяся) | Анизотропия в прочности, жесткости и проницаемости |
| Вулканический грунт | Неустойчивость структуры грунта при нарушении; низкая плотность |
| Инверсионная толща | Слабый грунт может подстилать уплотненный, возможно протыкание верхнего плотного слоя |

**Приложение Б**
**(справочное)**

## Модификации используемого геотехнического оборудования

### Б.1 Системы применения оборудования и точность измерения глубин

#### Б.1.1 Общие положения

В настоящем разделе приведена информация по различным современным модификациям и системам применения (разворачивания) геотехнического оборудования, а также сведения о факторах, влияющих на точность измерений глубины при использовании различных типов такого оборудования. Данная информация является рекомендательной и не носит исчерпывающего характера. При выполнении инженерно-геологических изысканий необходимо правильно оценить воздействие указанных факторов, так как точность измерения глубин оказывает существенное влияние на результаты работ и их достоверность.

Все системы разворачивания геотехнического оборудования можно разделить на три группы: судовые установки, забортные донные установки и легкие технические средства (ЛТС). По способу внедрения в грунт все системы также делятся на два вида: скважинные — «с бурением» (с проходкой ствола посредством бурения, в том числе с поверхности морского дна); «без бурения» (внедрение осуществляется одним рейсом, без его продления).

Первая группа включает комплексы, размещенные на специализированных судах (специально спроектированных или временно применяемых с размещением на палубе мобильных установок). Оперирование и управление процессом ведется с палубы бурового судна, а буровой инструмент и колонна опускаются на дно через специальную шахту в корпусе судна. Существуют установки с использованием водоотделяющей или обсадной колонны. Способ проходки скважины, как правило, вращательный (посредством ротора или вертлюга, расположенного над колонной).

Отбор керна при вращательном бурении выполняется либо в колонковую трубу (керноприемник) в процессе проходки скважины, либо посредством внедрения керноприемного устройства после остановки бурения в ненарушенную (неразбуренную) часть грунтового массива. Извлечение керна осуществляется с поднятием колонны труб и грунтоноса (при технологии с обсадной колонной). При применении водоотделяющей колонны и использовании компоновки низа буровой колонны (КНБК) грунтонос извлекается посредством шлангокабеля (при больших глубинах моря и скважин также возможна замена их набором штанг) без подъема самой колонны.

Работа с забортными донными установками подразумевает вынос за борт и спуск на дно специальных установок, смонтированных на раме или опоре, стабилизирующейся на дне моря (например, УГВП-120М, ПГ-4 или установки CPT Weeldrive, Roson и др.). Такой забортный комплекс может быть управляемым с судна или быть автономным. Как правило, донные установки предназначены для бурения неглубоких инженерно-геологических выработок (5—10 м) за один или несколько рейсов (с использованием кассетных систем для накопления керна разных рейсов). Также донные установки применяются для испытаний грунтов «в массиве», в частности статического зондирования.

Третья группа геотехнического оборудования включает обычно небольшие и легкие пробоотборники (легкие технические средства — ЛТС) преимущественно трубчатого или ковшового вида, внедряемые в донный грунт под собственным весом или с использованием дополнительных грузов, поршневых приспособлений. Ковшовые дночерпатели способны захватывать только первые 10—50 см отложений ниже поверхности дна, в то время как гравитационные и поршневые трубки потенциально способны внедряться в грунт до 20—25 м (например, NGI-corer, Fugro-Stacor).

#### Б.1.2 Точность измерения при использовании различных модификаций оборудования

Б.1.2.1 Системы бурения с судна

На точность вертикальных измерений при использовании судовых систем бурения могут влиять следующие факторы:

а) наличие и характеристики системы компенсации вертикальной качки

Должны быть указаны ограничения по метеоусловиям (высота волны, сила ветра, направление ветра и волны), при превышении которых расчетная точность измерения глубины, вероятно, не будет превышена;

б) тип используемой системы компенсации вертикальной качки

Системы с «жесткой связью», которые используются с донными рамами/плитами (реперная точка «привязана» ко дну моря, и на нее не оказывают влияния вертикальные колебания судна), обеспечивают лучшую стабильность бурильной колонны, чем системы компенсации вертикальной качки «без жесткой связи»;

в) глубина скважины, включая глубину моря, и, как следствие, длина бурильной колонны

Чем глубже скважина и больше глубина моря в районе геотехнических работ, тем больше возможность боковых смещений, связанных с подводными течениями, а также горизонтальными деформациями бурильных труб [см. рисунок Б.1 б)];

г) вес и жесткость бурильных труб

Более тяжелые бурильные колонны предусматривают наличие более жестких систем компенсации вертикальной качки. Такие системы менее чувствительны к изменениям прочностных свойств грунтовой толщи и, как

следствие, обеспечивают меньшее реакционное воздействие для бурильщика, особенно при бурении в слабых грунтах. Это может приводить к искажению информации об истинном забое скважины;

д) точность измерения глубины моря перед началом бурения

Это критический параметр, который используется при расчете глубины забоя скважины/CPT и определении глубины границ слоев;

е) точность эхолота (или аналогичного оборудования)

Оборудование используется для контроля колебаний уровня моря в процессе геотехнических работ; поправки за такие колебания должны вводиться регулярно в процессе работ. Влияние этого фактора существенно в открытых морях с высокими значениями приливных колебаний;

ж) точность измерения длины бурильных труб и компоновки низа бурильной колонны (КНБК);

и) наличие/отсутствие донной рамы/плиты и возможность контролировать ее заглубление в грунт под собственным весом в процессе работ;

к) способность судна удерживаться в заданной точке (горизонтальные перемещения в результате воздействия природного воздействия: ветер, волнение, течения)

Отклонения в плане от центра (точки инженерно-геологической выработки) влияют на расчетную длину бурильной колонны, при глубине скважины в десятки метров такая погрешность может достигать первых метров. Обычно для удержания судна в точке используются системы якорной стабилизации или динамического позиционирования (ДП), если установка не стоит на дне;

л) точность измерения глубины задавливания оборудования относительно КНБК.

Б.1.2.2 Системы, устанавливаемые на дно (забортные донные установки)

Системы, устанавливаемые на дне моря, сначала спускаются и стабилизируются на нем перед началом работ. Такие модификации включают собственно донные буровые установки [работа осуществляется с поверхности морского дна (см. 6.1.3.3), а также установки, не предназначенные для бурения (с их помощью могут выполняться испытания грунтов «в массиве», различные виды донного опробования)], но устанавливаемые для оперирования на дно (6.1.2).

Факторы, влияющие на точность измерений глубины для использования подобных установок, следующие:

а) возможность независимого спуска системы, ее выравнивания и полной стабилизации перед и в ходе геотехнических исследований;

б) независимость системы, установленной на дно, от перемещений и движений судна на поверхности моря:

1) некоторые установки опускаются на дно на шлангокабеле; при условии достаточной длины шлангокабеля, с учетом требований по удержанию судна в точке, такая система может быть полностью независимой от подвижек судна на поверхности;

2) альтернативно другие установки спускаются на дно при помощи лебедки с постоянным натяжением; если метеоусловия не превышают допустимые, то механизм лебедки гасит динамические нагрузки, создаваемые природными или техногенными факторами, обеспечивая независимость донной установки от движений судна на поверхности;

3) точность измерительного оборудования (датчика), определяющего положение вращателя;

4) возможность измерять и осуществлять мониторинг высоты оборудования относительно дна моря [см. рисунок Б.1 а)];

5) длина, вес и упругость бурильной колонны или задавливаемых штанг, используемых для проникновения снаряда в грунтовую толщу;

6) отклонение от вертикали инструмента при проходке инженерно-геологической выработки.

Следует определить природные (метеорологические) условия, в пределах которых может быть достоверно достигнут согласованный класс точности измерения глубины.

Б.1.2.3 Не устанавливаемые на дно системы

Другие виды геотехнического оборудования не имеют донной рамы и не опускаются на дно моря (не имеют «жесткой связи» с дном), например гравитационные трубки или поршневые пробоотборники. Такие устройства обычно остаются подвешенными на тросе лебедки без компенсации вертикальной качки до сброса/спуска на дно. Процесс получения информации, при использовании таких устройств, обычно короткий (внедрение трубки в грунтовую толщу), после чего грунтонос сразу извлекается и доставляется на палубу судна.

Контроль точности измерения глубины инженерно-геологической выработки слабый у таких систем из-за влияния качки судна, а также возможности неконтролируемых движений пробоотборника при внедрении в грунтовую толщу.

На измерение глубины пенетрации таких устройств могут оказывать влияние:

- качка судна в процессе спуска/сброса и проникновения трубки в грунтовую толщу;
- ненадежная оценка глубины пенетрации грунтоноса; такие средства обычно не имеют специальных устройств для измерения глубины пенетрации;
- глубина проникновения спускового механизма ниже морского дна до начала «выстрела» (для пробоотборников поршневого типа с механизмом его срабатывания после касания дна);
- вес подъемного кабеля и его упругость;
- точность счетчика — измерителя длины кабеля;

- степень чувствительности системы, «отклика» оператора лебедки, на момент касания дна (если применимо);
- отклонение от вертикали грунтоноса в ходе его проникновения в толщу;
- горизонтальные смещения пробоотборника относительно местоположения судна на поверхности.

Оценка фактической точности глубины внедрения таких средств пробоотбора (ЛТС) затруднительна. По этой причине класс точности измерения глубины для ЛТС должен:

а) приниматься, как соответствующий классу Z5 (более 2 м, как указано в таблице 1 в 6.2.3), или

б) быть обоснован расчетами, иными доказательствами для определения более прецизионного класса точности в проектной документации.

Следует определить метеорологические условия, в которых может быть достоверно достигнут согласованный класс точности измерения глубины.

**Б.1.3 Параметры, влияющие на вертикальные измерения**

Б.1.3.1 Оценка точности измерения точки отсчета (референцной точки)

Данные о грунтовом разрезе, собираемые в ходе геотехнических исследований, обычно представляются относительно дна моря, при этом глубина обычно определяется как положительная величина ниже поверхности моря. Все приведенные измерения глубины (относительно дна) содержат некоторую неопределенность, связанную с измерением такой референцной точки. Как уже обсуждалось в 6.2, точность измерения глубины точки отсчета является важным фактором, влияющим на достоверность геотехнических исследований.

Можно использовать три альтернативных подхода к измерению глубины:

а) измерения выполняются относительно референцной точки, расположенной на или вблизи дна моря [см. рисунок Б.1 а)];

б) измерения выполняются относительно референцной точки, расположенной на или вблизи уровня моря [см. рисунок Б.1 б)]; или

в) сочетание вышеперечисленных вариантов [см. рисунок Б.1 б)].

Значения для $h_s$, $h_d$, $h_{sf}$ и $d_w$ на рисунке Б.1 а) и б) либо оцениваются, либо выполняются их прямые физические измерения. Оценка может выполняться на основании опыта или чисто практического метода, визуального наблюдения с использованием измерительной шкалы, теоретических расчетов или на основе физического моделирования.

При физических измерениях обычно используют, например:

- измерительную рулетку;
- механический датчик — измеритель расстояния;
- оптический датчик-измеритель;
- акустический датчик-измеритель;
- датчик давления;
- датчик расхода жидкости;
- акселерометр;
- инклинометр.

Дополнительные и взаимосвязанные измерения повышают достоверность измерения. Например, для судовых буровых установок профиль измерения температуры морской воды может улучшить точность измерения глубины моря (эхолотом или одним из датчиков).

Любая оценка или измерение имеют погрешность. Оценка такой погрешности может быть включена в расчет общей оценки точности измерений глубины. Для сложных систем такой подход может быть консервативным, и более строгие оценки точности глубины могут быть получены путем разделения случайных и систематических ошибок, а также с применением вероятностных методов.

Систематические ошибки влияют на среднее значение измерения и, в отличие от случайных ошибок, всегда располагаются в одном направлении. Ошибки калибровки — это пример систематических ошибок. Случайные ошибки приводят к разбросу в значениях, если показания вынести на график *x*—*y*, и влияют на расхождения в измерениях.

Основные факторы, которые могут потребоваться при оценке неопределенности измерения точки отсчета, представлены ниже. Детальная оценка факторов, влияющих на расчетную точность глубины, которая может быть достигнута, должна выполняться для каждой модификации применяемого оборудования.

Б.1.3.2 Определение истинной границы раздела дно моря — вода

Дно моря обычно используется в качестве точки отсчета глубин. При определении уровня дна моря следует учитывать следующие факторы:

- положение дна моря со временем может изменяться из-за эрозии или аккумуляции,
- геотехническое оборудование может частично углубиться в слабые морские грунты,
- поверхность раздела грунт — вода может быть трудно определима. Датчики, используемые для идентификации дна посредством измерения плотности или прочности придонного слоя грунтов, имеют различные пороговые значения. Кроме этого, механические датчики не обязательно определяют верхний водонасыщенный слой осадка,
- акустический датчик-измеритель, как правило, регистрирует самую высокую точку в пределах своего луча, которая не обязательно совпадает с местоположением инженерно-геологической выработки при неоднородном строении дна.

Б.1.3.3 Высота точки отсчета над дном моря ($h_{sf}$)

Донная рама может заглубиться ниже дна моря. Измерение такого заглубления необходимо учитывать для систем, измеряющих глубину относительно самой донной рамы.

Донная рама может заглубиться вертикально и/или наклонно в результате различных воздействий: растягивающих якорных концов, натяжения шлангокабеля или периферийного нагружения на основание при неровной поверхности морского дна.

Б.1.3.4 Глубина ниже дна моря ($z$)

Оценка глубины обычно выполняется посредством измерений длины бурильной колонны или задавливающих штанг, используемых в скважине ($L_{string}$, см. рисунок Б.1), по отношению к фиксированной точке отсчета, находящейся либо на дне моря (донные установки бурения), либо на буровой палубе судна (судовые установки бурения).

На точность измерений глубины могут влиять следующие факторы:

а) погрешности расчетных измерений инструментов и бурильной колонны/задавливаемой штанги

В то время как фактическая длина инструментов может быть обычно измерена в пределах приемлемого допуска; другие факторы, которые нужно учитывать, включают:

- деформацию колонны и, как следствие, ее укорачивание или удлинение при различных нагрузках/растяжениях;
- непрямолинейность бурильной колонны в толще воды.

Искривление колонны может быть, например, результатом воздействия морских течений;

- непрямолинейность бурильной колонны или колонны штанг ниже морского дна (искривление в грунтовой толще);
- температурные деформации (укорачивание/удлинение) колонны.

б) механические недостатки системы задавливания, например проскальзывание направляющей шестерни по колонне при ее задавливании;

в) погрешности электрических измерительных устройств, включая:

- гистерезис и нелинейность измерительных преобразователей смещения;
- погрешности измерения в инклинометрах, используемых для оценки вертикальности развертываемых инструментов.

При выполнении бурения с пробоотбором потеря части керна при проходке часто определяется на основе инженерной оценки. Это может усилить неопределенность точности измерения глубины. Дальнейшие указания по вопросу потери керна (и как этот фактор может влиять на определяемую глубину отбора образца) даны в 9.5.

Б.1.3.5 Глубина моря ($d_w$)

Точное измерение глубины моря особенно важно для судовых буровых установок. Изменчивость глубины моря возникает за счет естественных факторов, таких как приливы, течения, ветер и барометрическое давление. К основным факторам, которые могут влиять на точность измерения глубины моря, относятся:

- изменение осадки судна со временем, возникающее, например, из-за изменения солености морской воды или тоннажа (расход топлива/воды на борту и пр.).

Осадка судна обычно прямо оказывает влияние на положение сенсоров эхолота ниже поверхности воды;

- ошибки, вызванные эхолотированием в районе ведения каких-либо операций на дне.

Прямое измерение глубины моря с помощью бурильной колонны может достигаться путем зажима буровой колонны в донной раме. Прямолинейность и вертикальность колонны будут зависеть от таких факторов, как вес на крюке буровой вышки, течения и положение донной рамы относительно буровой вышки. Система подводного позиционирования, установленная на донной раме, может обеспечить данными об относительном положении донной рамы. Изменение длины бурильных труб обсуждается в Б.1.3.4;

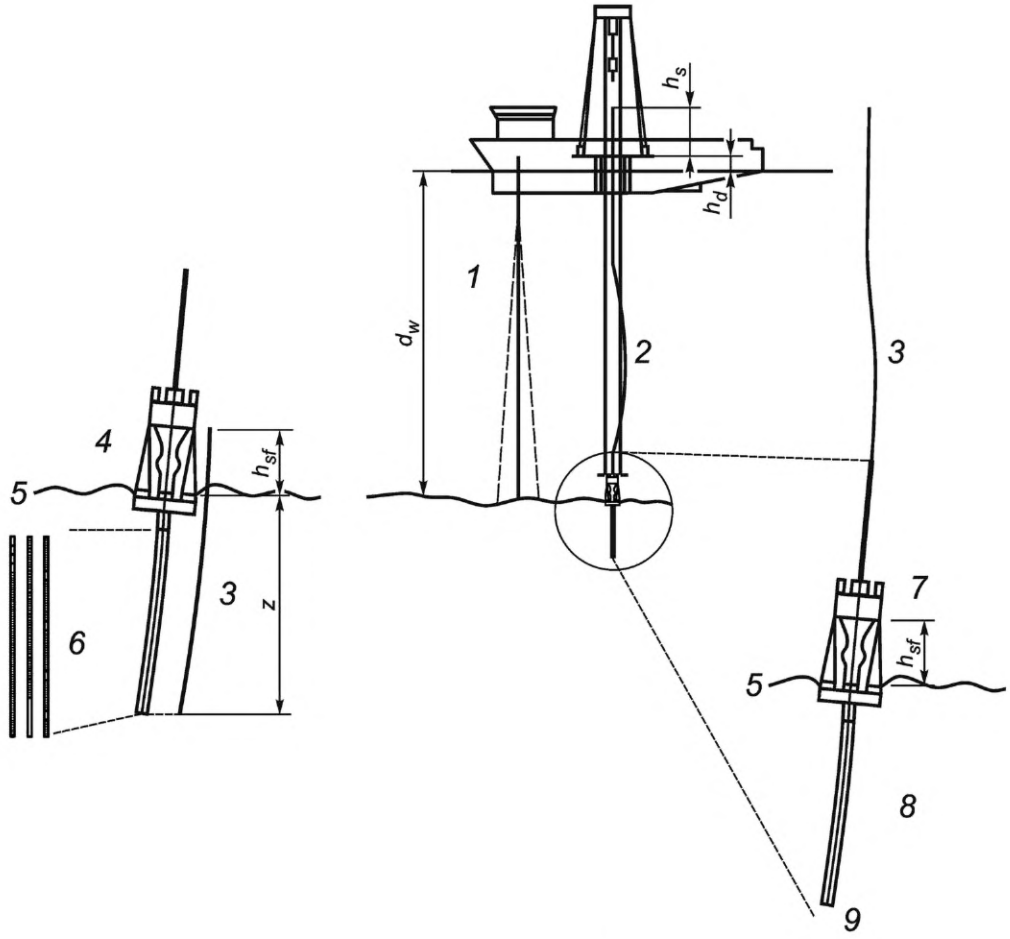
- изменения барометрического давления, солености морской воды, мутности и температуры воды, которые могут влиять на расчетную величину глубины моря, определяемую при помощи датчиков давления на дне.

Б.1.3.6 Высота референцной точки над уровнем моря ($h_s$ и $h_d$)

Для судовых буровых установок также должны учитываться ошибки, связанные с положением точки отсчета над уровнем моря.

Следующие факторы, которые следует учитывать при оценке такой погрешности:

- высота точки отсчета над уровнем моря, $h_s$ и $h_d$ [см. рисунок Б.1 б)] может изменяться из-за осадки судна;
- высота до замка бурильных труб над буровой палубой может быть определена с помощью измерительной ленты и/или визуально. Такое измерение может быть затруднено при работе в условиях сильной качки судна.




а) б)

*1* — измерение глубины моря эхолотом или иным способом; *2* — непрямолинейность бурильной колонны; *3* — $L_{string}$, длина бурильной колонны или колонны задавливаемых штанг; *4* — уклон и/или заглубление донной рамы ниже дна моря; *5* — дно моря; *6* — влияние потери керна на точность измерения глубины отбора данных; *7* — уклон и/или заглубление донной рамы ниже дна моря; *8* — кривизна колонны бурильных труб; *9* — отклонение от вертикали бурильной колонны ниже дна моря; $h_s$ и $h_d$ — высоты точек отсчета выше уровня моря; $h_{sf}$ — высота точки отсчета над дном моря

Примечание — В левой части рисунка (а): измерение глубины при расположении точки отсчета близко к дну моря, в правой части рисунка (б): измерение глубины с судна, точка отсчета расположена вблизи уровня моря.

Рисунок Б.1 — Расположение бурового инструмента при измерении глубины скважины. Примеры факторов, оказывающих влияние на измерение глубин

### Б.2 Минимизация эффекта нарушения придонного слоя грунтов

#### Б.2.1 Общие положения

Большинство установок для геотехнических исследований взаимодействуют с донной поверхностью в той или иной степени. Судовые буровые установки, снабженные системой компенсации вертикальной качки, опираются на донные рамы и имеют фиксированный репер, несмотря на вертикальную качку. Модификации донного оборудования, размещаемые на морском дне, также взаимодействуют с его поверхностью.

Размещение оборудования на дне может сопровождаться его нарушением. Воздействие нагрузки от веса оборудования на донный грунт может создавать избыточное давление на верхний слой грунтовой толщи. Такое воздействие может привести к нарушению естественного сложения, природных свойств грунта, а также естественного природно-напряженного состояния части толщи и получению недостоверных результатов испытаний грунтов «в массиве». Исполнителю инженерно-геологических изысканий следует обеспечить четкое описание методики взаимодействия предлагаемого геотехнического оборудования с верхней частью разреза и минимизировать его для получения достоверных данных. Это особенно важно при выполнении изысканий в районах, сложенных слабыми грунтами.

**Б.2.2 Меры уменьшения нарушения придонных грунтов**

В некоторых случаях проводят оценочно коррекцию нарушения на придонный слой грунта, однако любое техногенное воздействие на него следует минимизировать, если возможно. Нарушение может быть минимизировано следующим образом:

- посредством контроля спуска буровой установки или ее части при начальном контакте с дном с целью предотвращения его быстрого и неконтролируемого воздействия; такой контроль может включать спуск оборудования с учетом иных факторов, например в момент уменьшения вертикальной качки судна или в период между прохождением волн;
- использованием стабилизирующего основания соответствующего размера для передачи нагрузки от веса буровой установки на дно вне зоны дальнейшего пробоотбора/испытаний;
- максимальным увеличением расстояния между местом размещения инженерно-геологической выработки и участком приложения нагрузки от установки на дне;
- минимизацией веса буровой установки на морском дне (соответственно и нагрузки, создаваемой ею);
- обеспечением возможности регулирования высоты буровой установки (при необходимости) в ходе операций на дне;
- максимальным увеличением несущей площади основания для минимизации удельной нагрузки;
- использованием оснований с «юбкой», особенно при работе в районах со слабыми грунтами.

**Б.3 Операции на участках дна со значительным уклоном**

**Б.3.1 Общие положения**

Морские исследования грунтов могут проводиться в районах с крутым уклоном и/или неровной донной поверхностью.

Такими примерами могут быть:

- исследования вдоль трассы трубопровода, проходящего с глубоководья на сушу;
- исследования морского дна на участках, где ранее были обнаружены существенные уклоны морского дна;
- исследования вблизи борозд выпахивания;
- исследования на участках с выходами на поверхность скальных грунтов.

Работа на крутых склонах создает дополнительные сложности для обеспечения безопасности оборудования. Информация о характере и крутизне склонов дна моря обычно получается при интерпретации батиметрических данных и/или результатов сейсмоакустических исследований, а также сейсмических данных 3D. Такая информация должна быть доступной на ранних стадиях выбора оборудования, если возможно обнаружение донной поверхности с крутыми склонами.

Возможности (а где уместно, то и ограничения) предлагаемого оборудования для геотехнических исследований, чтобы оно могло эффективно работать при ожидаемых уклонах морского дна, обычно определяются геотехническим подрядчиком.

Заказчик должен ознакомиться с возможностями предлагаемого оборудования, а также с его потенциальным влиянием на качество получаемых данных. Специальные методы установки оборудования и/или специализированное геотехническое оборудование могут быть выбраны для обеспечения выполнения работ и получения надежных данных.

**Б.3.2 Факторы, влияющие на выполнение работ на участках дна со значительным уклоном**

Заказчик должен учесть следующие факторы для оценки пригодности оборудования:

- предполагаемую прочность, устойчивость верхнего придонного слоя, а также вероятность возникновения неустойчивости морского дна в результате прикладываемого дополнительного веса оборудования;
- вероятность вибрационных, скручивающих или вертикальных нагрузок, приводящих к неустойчивости морского дна;
- вероятность того, что отсутствие донной плиты/рамы затруднит проходку скважины и работу бурового комплекса;
- способность измерять высоту центра тяжести бурового инструмента над дном моря;
- локальную неоднородность поверхности склона, ее влияние на возможность спуска системы и ее устойчивости в ходе бурения.

Большая часть оборудования, которое в настоящее время доступно для морских исследований грунтов, может безопасно работать на морском дне с уклоном поверхности до 5°. Всегда при инженерных изысканиях следует соизмерять уклон дна моря и функциональные возможности выбираемого оборудования. Возможность использования оборудования на склонах может уменьшаться, если имеются неравномерные склоны дна (например, выходы скальных грунтов).

**Приложение В**
**(справочное)**

## Инженерно-геологическое бурение и каротаж

### В.1 Способы бурения

#### В.1.1 Общие положения

При выполнении инженерно-геологических изысканий могут применяться различные способы проходки скважин и отбора керна из них. Наиболее подходящими для таких работ являются технологии с вращательным бурением и отбором задавливаемым грунтоносом, которые позволяют получать минимально нарушенный керн. Однако такие методики не всегда применимы, например, в плотных валунных или песчаных отложениях, переуплотненных или слабых глинистых грунтах, т. е. выбор способа бурения зависит от типа разреза и от целей бурения. Например, при бурении пилотной скважины или технологической скважины (для выполнения в ней каротажа) выход и качество керна не важны. В настоящем стандарте в основном рассмотрена методика вращательного бурения при проходке скважин, которая является основной при изысканиях на шельфе. Дополнительные методические указания по выполнению работ и выбору оборудования также содержатся в СП 11-114—2004, СП 504.1325800.2021, СП 446.1325800.2019.

При вращательном бурении скорость проходки зависит от характеристик породоразрушающего инструмента, давления и объема бурового раствора, вертикальной нагрузки на долото (породоразрушающий инструмент) и свойств грунта, по которому производится проходка. В зависимости от целей и условий бурильщик регулирует сочетание нагрузки, давления и расхода раствора и/или может менять свойства последнего для проходки скважины.

При выполнении работ с бурового судна возникают динамические нагрузки на забое (что приводит к нарушению грунта, его естественного сложения), вызываемые вертикальными движениями бурильной колонны из-за качки. Такие движения ослабляются за счет работы системы компенсации вертикальной качки. Использование компенсаторов вертикальной качки позволяет получать менее нарушенный керн и, как следствие, более достоверные результаты лабораторных исследований из такого керна.

Бурение морских скважин без компенсации вертикальных перемещений возможно при более высоких ограничениях по погодным условиям (допустимая высота волны, сила и скорость ветра, ориентирование судна, глубина скважины, определяемые возможностью и характеристиками судна) и при определенном строении грунтовой толщи.

Рекомендации по выбору оптимальных технологий бурения даны в В.2. Обычно независимо от модификации установки (с судна или с забортной донной установки) используется вращательное бурение с учетом следующих критериев:

- бурение сплошным забоем или бурение с отбором керна (колонковое бурение);
- бурение без обсадки ствола или бурение с обсадкой скважины;
- бурение с водоотделяющей колонной или бурение без водоотделяющей колонны.

#### В.1.2 Бурение сплошным забоем по сравнению с бурением с отбором керна (колонковое)

При вращательном бурении сплошным забоем (открытый ствол — open-hole) отбор керна и полевые испытания грунтов выполняются на ненарушенной части толщи ниже забоя скважины посредством задавливания инструмента (могут также применяться забивные, вибрационные или комбинированные типы грунтоносов). Грунтонос или испытательный зонд (CPT или иной) доставляется к/от забоя при таком способе при помощи троса, оперируемого внутри скважины (wire-line system), или специальных штанг с использованием КНБК — компоновки низа буровой колонны, через открытый центр долота или иного породоразрушающего инструмента. После извлечения грунтоноса и отбора проб производится разбуривание следующего (нарушенного, с отобранной центральной частью) интервала до необходимой глубины и далее — повтор операций (возможно разбуривание больших по протяженности интервалов с частичным отбором грунта).

При вращательном колонковом бурении керн отбирается в керноприемную (колонковую) трубу непосредственно в процессе бурения. Длина шага бурения обычно составляет 1,5—3,0 м [при использовании тросовой (wire-line) системы извлечения снаряда] или может достигать непрерывных интервалов до 5—6 м при извлечении снаряда на бурильной колонне (требует подъема полного набора колонны, составляющего суммарную глубину от кран-блока до забоя скважины). Последняя технология более трудоемкая и требует значительных затрат времени на бурение каждого интервала; кроме этого, необходимо повторно опускать колонну с буровым инструментом в скважину (для этих целей обычно используются направляющие на донной раме или донной плите).

Бурение сплошным забоем с последующим отбором керна и/или испытаниями «в массиве» ниже забоя, как правило, применяется для несцементированных отложений, а также для некоторых слабосцементированных или очень слабых скальных грунтов (например, сильновыветрелые или слабые известняки). Вращательное колонковое бурение обычно пригодно для сцементированных отложений и скальных грунтов, плотных валунных глин/суглинков и песков. Колонковое бурение также эффективно, когда выход керна оказывается важней его качества и качества отбираемых образцов.

В некоторых случаях может применяться сочетание двух разных технологий с тремя различными способами отбора керна и процедурами:

а) полное извлечение из ствола бурильной колонны (для бурения сплошным забоем) и спуск колонны вращательного колонкового бурения. Такой подход предусматривает значительные дополнительные операции с трубами и колоннами, однако максимально увеличивается диаметр получаемого керна и обеспечивается использование для ожидаемого разреза оптимального породоразрушающего инструмента;

б) частичный подъем бурильной колонны над забоем, затем спуск колонкового набора сквозь центральное отверстие в снаряде и бурение с отбором керна (система piggy-back). Такой способ предусматривает дополнительные операции с трубами (возможно, дополнительный верхний привод колонны и позволяет получать керн уменьшенного диаметра, однако он обеспечивает целостность ствола скважины и использование наиболее подходящего породоразрушающего инструмента для ожидаемого типа разреза. Такой режим работы предусматривает зажим (закрепление) колонны в донной раме, чтобы не допустить ее вертикальных движений за счет вертикальной качки судна;

в) спуск колонковой трубы на тросе сквозь бурильную колонну и снаряд, до посадки в специальном устройстве — компоновке низа буровой колонны, КНБК (BHA). Такой подход экономит время на спуско-подъемные операции, но предусматривает длительное непрерывное использование породоразрушающего инструмента (долота), которое может быть менее пригодно для скальных отложений и может привести к ухудшению качества и/или уменьшению выхода керна.

**В.1.3 Бурение с необсаженным стволом (без обсадки) по сравнению с бурением с обсаженным стволом**

Специализированные геотехнические суда обычно позволяют выполнять бурение скважин без обсадки, открытым стволом, когда с буровой платформы (установки, судна) спускается единая труба (бурильная колонна), внутри которой помещается керноприемное оборудование и оборудование для его спуска-подъема, а сама колонна удерживает стенки скважины в процессе бурения.

При разбуривании толщ, где устойчивость стенок скважины является проблемой (например, при избыточном поровом давлении, в песчаных грунтах или в глубоких скважинах), или когда есть специальные требования по проекту (например, отбор керна при помощи piggy-back), может потребоваться спустить одну или несколько обсадных труб перед завершением скважины. Для обсадки могут использоваться специальные обсадные трубы, спускаемые отдельно, или стандартные бурильные трубы, применяемые как обсадные при достижении заданной глубины (или на основе другого критерия). Также могут использоваться составные концентрические бурильные колонны, уменьшающиеся в диаметре по мере углубления скважины, для которых могут потребоваться специальное оборудование и процедуры.

**В.1.4 Бурение без водоотделяющей колонны по сравнению с бурением с водоотделяющей колонной**

Обычно морские геотехнические исследования выполняются в режиме бурения без водоотделяющей колонны и использования райзера, когда буровой раствор и шлам поступают/истекают на дно моря по затрубному пространству (между бурильной колонной и обсадкой или стенками скважины). При такой технологии (так называемым «бурением с полной потерей» или «бурением с возвратом бурового раствора на дно») весь буровой (глинистый) раствор выходит на поверхность морского дна, образуя шлейф, который либо рассеивается придонными течениями, либо из него оседает шлам, образуя конус вблизи устья скважины.

При бурении с водоотделяющей колонной используется обсадная колонна с райзером, замыкающая систему циркуляции бурового раствора, поднимая его до палубы судна или платформы. Такая система позволяет извлекать буровой раствор и шлам либо служит для рециркуляции с удерживанием жидкости и шлама (например, на участках, где требуется обеспечить нулевой сброс в море) или для отбора проб из шлама. Бурение с водоотделяющей колонной предусматривает применение специального оборудования для обращения и обработки, а также процедуры, которые не рассматриваются в настоящем стандарте. Использование подобной технологии осложняется возможностью гидроразрыва при высоких давлениях циркулирующей жидкости, с загрязнением района работ, что может оказаться большей опасностью для окружающей среды, чем использование незамкнутой системы бурового раствора с применением безопасных глин и смесей или обычной морской воды в качестве промывочной (буровой) жидкости, и поэтому применяется очень редко (в особо охраняемых районах) и с использованием особых процедур и оборудования (может потребовать использование дополнительных судов для приема, хранения и транспортирования шлама, раствора и пр.).

**В.2 Выбор бурового оборудования и процедур**

**В.2.1 Оценка применимости бурового оборудования**

Для оценки применимости бурового оборудования с учетом требований и целей конкретного проекта необходима подробная информация, включающая (но не ограничиваясь):

- описание рабочей платформы-носителя (т. е. плавучая, полупогружная или стационарная платформа, используется буровая шахта или выносная буровая платформа) с ее эксплуатационными ограничениями (т. е. по гидрометеорологическим параметрам, автономности, количеству членов экипажа и т. д.);

- производительность буровой установки, высоту буровой мачты/вышки, усилие подачи на вертлюг с приводом (т. е. максимальная масса бурильной колонны, включая УБТ и КНБК), а также подробная информация по

системе компенсации вертикальной качки (тип, максимальная грузоподъемность, длина полного хода и пригодная для эксплуатации длина хода) для бурового судна;

- спецификация и характеристики бурильных труб, системы манипулирования и управления колонной, включая максимальную длину бурильной колонны и максимальный набор труб, которые могут манипулироваться;
- описание применяемого бурового инструмента, технологии проходки скважины и последующего отбора керна;
- подробная информация об используемой донной раме, ее системе компенсации вертикальной качки (тип, максимальная грузоподъемность, длина полного хода и пригодная для эксплуатации длина хода), если применимо;
- информация о системе бурового раствора, включая описание применяемых буровых насосов, системы смешивания, о количестве и объеме емкостей бурового раствора, производительности системы;
- информация о системе регистрации параметров бурения (т. е. автоматическая или ручная, перечень регистрируемых параметров, форма предоставления данных, ограничения системы);
- состав буровой бригады, требования к уровню квалификации персонала, выполняемые функции, описание положения органов управления бурением и сопряженных палубных операций.

В таблице В.1 содержатся рекомендации по выбору пригодного бурового оборудования.

Таблица В.1 — Выбор пригодного бурового оборудования

| Основные требования по проекту | Основные параметры выбора |
|---|---|
| Глубина моря и ожидаемые погодные условия | Бурение со дна моря/бурение с судна/доступность оборудования/ характеристики по грузоподъемности (нагрузка на крюке)/мощность установки/компенсация вертикальной качки |
| Грунтовые условия | Бурение с открытым стволом/колонковое бурение/ бурение с обсадкой скважины/бурение без обсадки/ бурение с водоотделяющей колонной/без водоотделяющей колонны/мощность установки |
| Испытания грунтов «в массиве» и пробоотбор | Бурение с открытым стволом (или сочетание методов)/с донной рамой/ компенсация вертикальной качки |
| Глубина скважины | С необсаженным стволом/с обсаженным стволом/с водоотделяющей колонной/без водоотделяющей колонны/мощность установки |
| Опасности при бурении | С необсаженным стволом/с обсаженным стволом/с водоотделяющей колонной/без водоотделяющей колонны/с пилотной скважиной/необходимость специального оборудования |
| Техника безопасности и экстремальная рабочая среда | Необходимость специального оборудования (минимальные ручные операции на буровой палубе) |
| Выброс в окружающую среду | Без водоотделяющей колонны и райзера/с водоотделяющей колонной и райзером |
| Повышенные требования к качеству данных | Точная компенсация вертикальной качки/донная рама с реакционным усилием |
| Оптимизация количества получаемых данных | Рабочая высота (максимальная длина скважинного инструмента, который может удерживаться) |
| Оптимизация скорости бурения | Мощность установки/характеристики бурового раствора |

**В.2.2 Выбор породоразрушающего инструмента**

Породоразрушающий инструмент (тип, размеры долота/коронки) следует выбирать исходя из предполагаемого разреза, требуемого способа бурения, каротажа, отбора керна, испытаний грунтов «в массиве», а также в зависимости от того, требуется ли оптимальное качество и количество керна (например, выход керна должен составлять не менее 80 %) или максимальная скорость проходки выработки.

При необходимости отбора керна с целью его дальнейшего использования для лабораторных исследований обычно применяют породоразрушающий инструмент открытого типа (долото с открытым центром, позволяющее проводить через него отбор керна, коронки). Бескерновое бурение (долото закрытого типа) может потребоваться для проходки пилотных, каротажных скважин или прохождения части скважины до заданной глубины (например, при повторном разбуривании скважины или проходке уже изученной толщи) сплошным забоем. Бурение сплошным забоем может обеспечить более высокую скорость проходки. Также долото с закрывающимся отверстием, сопрягаемое с КНБК, позволяет преобразовывать его в долото открытого или закрытого типа, извлекать инструмент при помощи овершота (ловильного устройства).

Для бурения сплошным забоем (open hole) в морских несцементированных отложениях лопастное долото (drag bit) может быть одним из приемлемых вариантов. Такое долото, в частности, хорошо подходит для проходки глинистых слоев (которые имеют свойство «затыкать» и блокировать отводящие полости/каналы долот иного дизайна, что может привести к дальнейшему разрушению долота и/или существенному уменьшению скорости проходки. Для других грунтовых условий (для скальных грунтов) могут быть применены рекомендации других нормативов СП 11-114—2004, ГОСТ Р ИСО 22475-1.

При выборе породоразрушающего инструмента следует учитывать следующие факторы:

- возможность использования инструмента в диапазоне ожидаемых в разрезе грунтов, а также потенциальных опасностей и проблем, которые могут встретиться на проекте;
- критерии замены инструмента;
- конструктивные особенности инструмента, в частности его геометрия, расположение промывочных каналов и пр. (т. е. он должен быть отбалансированным для минимизации тенденции к отклонению ствола от вертикали).

**В.2.3 Буровой раствор/промывочная жидкость**

Буровой раствор имеет двойное назначение: вынос шлама с забоя и недопущение перегрева породоразрушающего инструмента. В зависимости от специальных характеристик раствор также может выполнять другие функции:

- углубление скважины, т. е. разрушение грунта перед долотом за счет гидравлического воздействия;
- обеспечение устойчивости стенок скважины, помогая не допускать обрушения стенок скважины, особенно в рыхлых несвязанных отложениях или горизонтах с повышенным давлением;
- предотвращение оседания на забой бурового шлама при остановке циркуляции, например при спуске или отборе проб, либо при выполнении испытаний «в массиве»;
- контроль гидростатического давления в стволе.

Буровые растворы, как правило, замешиваются на морской воде (или пресной). Часто одной воды достаточно при условии, что система позволяет обеспечивать адекватный расход жидкости и давление. При выборе типа, состава раствора следует учитывать возможное его взаимодействие с грунтом (например, возможно выщелачивание, рассоление или растепление отложений буровым раствором).

При необходимости дополнительных функций, которые бы выполнялись раствором, могут быть внесены соответствующие добавки для получения необходимых характеристик; например, барит применяют для утяжеления раствора (в том числе для контроля и предотвращения выброса придонного газа). Добавки могут поставляться в виде жидкости или порошка, и их смешивание и применение должны выполняться с соблюдением требований безопасности окружающей среды и персонала.

**В.3 План выполнения буровых операций**

Такой план описывает методику, процесс, последовательность операций, учет и документацию мероприятий по бурению, относящихся к инженерно-геологическим изысканиям. План буровых операций может быть оформлен в виде отдельного документа (пригодный для ежедневного обращения к нему буровой бригады) или обычно является частью программы работ/плана выполнения проекта (ПВП).

План буровых операций должен описывать все возможные варианты операций для ожидаемого диапазона грунтовых условий по проекту, от начала бурения до его завершения. План должен включать следующие основные компоненты:

а) буровое оборудование и подробная информация по его эксплуатации;

б) геолого-технический наряд (ГТН), описывающий конструкцию инженерно-геологической скважины, указывающий на возможные проблемы бурения, способы их решения, процедуру завершения скважины, ее ликвидации (если требуется), а также нештатные ситуации или варианты ликвидации последствий (например, в случае прихвата колонн или оставления инструмента в стволе);

в) план по буровому раствору с определением состава бурового раствора и критериями его изменения;

г) требования к регистрации параметров бурения (при необходимости);

д) график и процедуры отбора керна и выполнения испытаний;

е) план по придонному газу (если применимо, см. В.4);

Обычно морские скважины не требуют ликвидации и/или цементации, так как водонасыщенные морские отложения быстро закрывают скважину, из которой извлечены инструмент и обсадка, т. е. происходит своеобразная «самоликвидация». Если при бурении не были вскрыты газоносные, флюидоносные или иные «небезопасные» для окружающей среды горизонты, скважина быстро «затягивается» и не оставляет существенных следов (диаметр бурения инженерно-геологических скважин обычно не превышает 30—40 см, а средняя глубина колеблется от 10 до 40 м), кроме небольшого конуса. Поэтому организация «ликвидации» такой скважины с применением цементного раствора или иных технологий потребует существенных дополнительных затрат, требований к судам-носителям (в том числе увеличение их тоннажа, персонала, топлива и пр.), что может оказать значительно большее воздействие на окружающую природу, чем собственно сама выработка.

**В.4 Придонный газ**

**В.4.1 Общие положения**

Газ, идентифицируемый при геотехнических исследованиях (придонный или мелкозалегающий газ — shallow gas), может иметь различный генезис (например, мигрирует из глубинных слоев, в том числе из углеводородных залежей, или образуется вблизи донной поверхности в результате разложения органики) и скапливается под непроницаемыми отложениями в пределах грунтовой толщи (поэтому придонный, мелкозалегающий). Он может представлять серьезную опасность при проходке инженерно-геологических выработок из-за быстрого выброса (blow out) по скважине или затрубному пространству. Необходимо принимать меры по недопущению выброса газа. Для минимизации последствий такого выброса выполняется оценка его опасности на участке работ, включающая:

- «оценку опасности» на объекте изысканий и плановые виды исследований по обнаружению/идентификации придонного газа во время изысканий;
- «оценку риска» по выявлению зон для геотехнического судна/платформы высокого, среднего и малого рисков с учетом последствий возможного выброса газа и мер по смягчению/предотвращению последствий.

**В.4.2 Оценка опасности на объекте изысканий**

Оценка опасностей на объекте обычно выполняется заказчиком, однако на геотехнического подрядчика может быть возложена обязанность по согласованию его собственных процедур и программы работ с выводами и рекомендациями такой оценки. Также подрядчику необходимо подтвердить, что указанные риски (вероятность х последствия), создаваемые опасностями на объекте, оценены надлежащим образом и учтены в программе работ.

При оценке опасностей обычно используется следующая информация:

- региональная геология/фондовые и архивные данные;
- геофизические данные по участку (с учетом типа, качества, разрешения и времени получения информации);
- вероятность изменения условий с периода получения геофизических данных (например, из-за поисково-разведочного бурения);
- потенциальная глубина, давление и объем мелкозалегающего газа;
- альтернативные источники придонного газа на участке, его характеристики (состав, токсичность, горючесть, плотность);
- планируемые виды исследований, например операции на дне моря, геотехнические работы (бурение/пробоотбор/испытания «в массиве»/пилотная скважина).

Возможно применение оценки опасности на объекте по трем категориям:

а) низкая вероятность обнаружения опасности (газа);

б) средняя возможность обнаружения опасности (газа);

в) высокая вероятность обнаружения опасности (газа).

**В.4.3 Оценка риска и процедуры**

В.4.3.1 Оценка риска и процедуры

В зависимости от результата оценки опасности оценка риска должна выполняться для всех зон геотехнических работ, включая зоны потенциального выброса газа или зоны выявленных его скоплений, а также для разработанных схем размещения судна.

Как правило, оценка риска включает:

- специфические операции, такие как бурение с/без водоотделяющей колонны/райзера, наращивание колонны, спускоподъемные операции, отбор керна/испытания «в массиве», потенциальные источники возгорания, обращение с керном, работа в закрытых помещениях и т. п.;
- последствия, например потеря плавучести судна, заливание судна накатной волной, выброс, пожар/взрыв, отравление (токсичность газа);
- пропорциональные меры по предотвращению и смягчению последствий;
- оценивание показателей риска.

Даже при малой вероятности обнаружения газа целесообразно учесть реализацию мер по снижению остаточного риска (см. В.4.3.3 относительно мер по смягчению, которые следует учесть).

В.4.3.2 Средний риск

На разбуриваемых участках со средней вероятностью обнаружения придонного газа следует проводить следующие мероприятия:

- проверку дежурной вахты по газовой учебной тревоге;
- проведение общесудовой тревоги при мобилизации на проект;
- запрет огневых работ/курения на палубе;
- использование газовых датчиков (в буровой шахте и на вышке) и газовая тревога;
- использование датчиков ветра и течения для обеспечения оптимального позиционирования судна по отношению к ветру и течению для минимизации скопления газа на палубе;
- общее наблюдение или специальная вахта на мостике за выходом газа (пузырьков) на поверхность моря в непосредственной близости от судна/платформы;
- подготовку тяжелого бурового раствора (вместе с быстрым подключением высокопроизводительной насосной системы);

- бурение специальной пилотной скважины в дневное время с невозвратным клапаном в нижней части бурильной колонны без спуска скважинных инструментов;
- использование предохранительного клапана на вертлюге в качестве меры предосторожности поступления газа через бурильную колонну;
- в качестве меры предосторожности проникновения газа по затрубному пространству следует использовать смещение бурового судна относительно устья скважины (с учетом гидрометеорологических факторов). Обычно геотехнические работы могут выполняться с отклонением судна от устья (горизонтальное смещение) до 5 %—10 % от глубины моря;
- перенос/задержка всех необязательных/второстепенных крановых операций;
- осуществление постоянного мониторинга глубины и параметров бурения.

При выявлении риска обнаружения придонного газа следует проводить специальный тренинг не только для буровой бригады, но и для всех членов экипажа. Такой тренинг включает обучение по борьбе с проявлениями придонного газа (буровая бригада), вводный инструктаж по опасностям в связи с проявлениями придонного газа (весь экипаж), а также регулярные тренировки по газовой тревоге (весь экипаж).

В.4.3.3 Высокий риск

На участках бурения с высокой вероятностью обнаружения мелкозалегающего газа должны быть приняты дополнительные меры предосторожности помимо мер, рекомендованных в В.4.3.2:

а) использование невозвратного клапана в нижней части бурильной колонны (КНБК) при бурении/подъеме труб;

б) ТВ камера и/или сонар, установленный на донной раме или дистанционно управляемом аппарате (ROV);

в) извлечение керноприемного оборудования/испытательных зондов из грунта вместе с подъемом бурильной колонны, когда скважинный инструмент закрыт в КНБК (с учетом возможного свабирования при вытаскивании инструментов из грунта — поршневой разгрузки);

г) применение датчиков обнаружения газа при проведении испытаний грунта «в массиве» для обеспечения раннего оповещения о содержании газа.

В зависимости от источника, характеристик и степени газовой опасности для уменьшения опасности может использоваться различное дополнительное оборудование:

- газовой дефлектор на верхнем приводе;
- срезные плашки;
- задвижка на выкидной линии бурового насоса;
- невозвратный клапан в КНБК;
- противовыбросовый превентор на верхнем приводе (для герметизации скважины с извлекаемым на тросе инструментом);
- изолированная камера буровой шахты (с воздуховодом или системой ОВКВ);
- зонирование оборудования буровой палубы;
- автоматическая отсечка для незонированного оборудования судна по газовой тревоге;
- индивидуальные портативные газовые детекторы;
- индивидуальные дыхательные аппараты;
- внутренняя безопасная система связи.

### В.5 Многолетнемерзлые породы

#### В.5.1 Общие положения

Субаквальные многолетнемерзлые породы (СММП) на шельфе арктических морей могут быть реликтовыми или новообразованными. В первом случае их происхождение связано с промерзанием в субаквальных условиях и последующим покрытием морем в результате трансгрессии. Установленная бурением мощность СММП может составлять 100 м. Фактическая мощность определяется различными факторами и процессами и предположительно может изменяться от нуля в районах ее полной деградации или, наоборот, достигать сотен метров. Значительной трудностью для их обнаружения является то, что СММП находится в стадии деградации в результате теплового воздействия сверху и снизу и во многих случаях ее обнаружения ее природная температура была/находится близко к точке таяния (Печорское, Карское моря, фактические данные по восточно-арктическим морям отсутствуют), т. е. при бурении она может быть достаточно легко «растеплена» и, как следствие, не обнаружена.

В случае новообразованной мерзлоты донные грунты могут промерзать из-за низких придонных температур водной толщи (при среднегодовой температуре ниже точки замерзания). Мощность такой мерзлой толщи может предположительно составлять первые метры—десяток метров (данных о таких фактах крайне мало, и они не всегда убедительны). К мерзлым грунтам следует относить те, которые находятся при температуре ниже точки замерзания и содержат в своем составе лед (ГОСТ 25100).

При наличии соответствующих условий в криолитозоне могут присутствовать охлажденные и талые грунты, т. е. уже оттаявшие или не содержащие в своем составе воду в твердой фазе (лед), а также мерзлые и морозные грунты. В практике строительства на шельфе криолитозона является объектом изысканий. Поэтому в случае выполнения геотехнических исследований в районах возможного распространения СММП следует выполнять:

- «оценку опасности» на объекте изысканий и определять плановые виды исследований по обнаружению многолетнемерзлых грунтов или иных грунтов, характерных для криолитозоны;

- «оценку риска» с определением зон высокой, средней и малой вероятности встретить мерзлую толщу, а также с учетом возможных негативных последствий и мер по их предотвращению.

**В.5.2 Оценка опасности**

При оценке опасностей обычно используется следующая информация:

- региональные архивные и фондовые данные (в том числе по прилегающей суше);

- результаты геофизических исследований (нет достоверных и однозначно интерпретируемых геофизических методов, которые бы указывали на СММП исходя из определения ГОСТ 25100, однако различные косвенные данные, в том числе о скоростной модели, величине электрического сопротивления грунтов, могут давать предположения о возможном присутствии таких грунтов в толще, и такую информацию необходимо использовать);

- результаты глубокого (поисково-разведочного) бурения (также могут быть источником дополнительной информации, в том числе о строении грунтовой толщи на глубинах более 100 м);

- информация об особенностях строения донной поверхности.

При обнаружении СММП на площадке основные опасности обусловлены вскрытием под их подошвой или в межмерзлотном интервале скопления газа и, как следствие, его выбросом (blow-out). Кроме этого, бурение в мерзлой зоне может спровоцировать «прихват» бурового инструмента (из-за потери циркуляции жидкости, длительного отсутствия вращения снаряда и т. д.), его потерю и, возможно, аварийные ситуации на судне. При опасности выброса газа (вскрытие газовых карманов) следует обратиться к требованиям В.4.

Возможно применение оценки опасности на объекте по трем категориям:

а) низкая вероятность обнаружения опасности (СММП);

б) средняя возможность обнаружения опасности (СММП);

в) высокая вероятность обнаружения опасности (СММП).

**В.5.3 Оценка риска и процедуры**

В.5.3.1 Состав оценки риска

В зависимости от результата оценки опасности оценка риска должна выполняться для всего участка изысканий.

Как правило, оценка риска включает (с учетом возможности газового выброса):

- специфические операции, такие как бурение с/без водоотделяющей колонны/райзера, наращивание колонны, спуско-подъемные операции, отбор керна/испытания «в массиве», потенциальные источники возгорания, обращение с керном, работа в закрытых помещениях и т. п.;

- последствия, например, потеря плавучести судна, заливание судна накатной волной, выброс, пожар/взрыв, отравление (токсичность газа);

- процедуры по бурению, подъему колонны в СММП, в том числе при «прихвате» последней, план по буровому раствору (состав, свойства, мощность и количество);

- пропорциональные меры по предотвращению и смягчению последствий.

Даже при малой вероятности обнаружения СММП следует, как минимум, иметь на борту соответствующие процедуры (выполнения работ при проходке СММП, действий при аварийных ситуациях, отбора и хранения проб мерзлых грунтов и др.), опытный персонал и необходимое оборудование, расходные средства.

В.5.3.2 Средний риск

На участках со средней вероятностью встречи СММП следует выполнять специальные процедуры (с учетом возможных газовых выбросов):

- совещания по промышленной безопасности для всех членов экипажа;

- проверку дежурной вахты по газовой учебной тревоге;

- проведение общесудовой тревоги при мобилизации на проект;

- запрет огневых работ/курения на палубе;

- применение газовых датчиков (в буровой шахте и на вышке) и газовой тревоги;

- использование датчиков ветра и течения для обеспечения оптимального позиционирования судна по отношению к ветру и течению для минимизации скопления газа на палубе;

- общее наблюдение или специальная вахта на мостике за выходом газа (пузырьков) на поверхность моря в непосредственной близости от судна/платформы;

- подготовка специального бурового раствора с низкой температурой замерзания;

- подготовка тяжелого бурового раствора (вместе с быстрым подключением высокопроизводительной насосной системы);

- измерение температуры в придонном слое воды перед бурением скважины;

- бурение технической скважины без отбора керна с измерением температуры по грунтовой толще;

- бурение специальной пилотной скважины в дневное время с невозвратным клапаном в нижней части бурильной колонны без спуска скважинных инструментов;

- использование предохранительного клапана на вертлюге в качестве меры предосторожности поступления газа через бурильную колонну;

- в качестве меры предосторожности проникновения газа по затрубному пространству использовать смещение бурового судна относительно устья скважины (с учетом гидрометеорологических факторов). Обычно геотехнические работы могут выполняться с отклонением судна от устья (горизонтальное смещение) до 5 % — 10 % от глубины моря;
- приостановка необязательных крановых операций;
- постоянный мониторинг глубины и параметров бурения.

При выявлении опасности проходки скважин в криолитозоне следует соблюдать требования В.4.3.2. Также следует проводить специальный тренинг не только для буровой бригады, но и для всех членов экипажа. Такой тренинг включает тренировки по борьбе с «прихватом» колонны/проявлениями мелкозалегающего газа (буровая бригада), вводный инструктаж по опасности при работах в СММП с мелкозалегающим газом (весь экипаж), а также регулярные тренировки по соответствующим тревогам (весь экипаж).

В.5.3.3 Высокий риск

На участках бурения с высокой вероятностью обнаружения СММП должны быть приняты дополнительные меры предосторожности помимо мер, рекомендованных в В.6.3.3 (с учетом возможности газового выброса):

а) использование невозвратного клапана в нижней части бурильной колонны (КНБК) при бурении/подъеме труб;

б) ТВ камера и/или сонар, установленный на донной раме или дистанционно управляемом аппарате (ROV);

в) извлечение керноприемного оборудования/испытательных зондов из грунта вместе с подъемом бурильной колонны, когда скважинный инструмент закрыт в КНБК (с учетом возможного свабирования или прихвата инструмента);

г) применение детекции (датчиков газа) при проведении испытаний грунта «в массиве», для обеспечения раннего оповещения о содержании газа;

д) бурение скважины без длительных остановок, с применением специального бурового раствора (например, повышенной солености).

В зависимости от источника, характеристик и степени опасности для уменьшения опасности может использоваться различное дополнительное оборудование:

- оборудование для измерения температуры;
- оборудование для измерения скоростных параметров или величины электрического сопротивления грунтов;
- газовый дефлектор на верхнем приводе;
- срезные плашки;
- задвижка на выкидной линии бурового насоса;
- невозвратный клапан в КНБК;
- противовыбросовый превентор на верхнем приводе (для герметизации скважины с извлекаемым на тросе инструментом);
- изолированная камера буровой шахты (с воздуховодом или системой ОВКВ);
- зонирование оборудования буровой палубы;
- автоматическая отсечка для незонированного оборудования судна по газовой тревоге;
- индивидуальные портативные газовые детекторы;
- индивидуальные дыхательные аппараты;
- внутренняя безопасная система связи.

### В.6 Геофизические исследования в скважинах

#### В.6.1 Общие положения

Геофизический каротаж может предоставить важную дополнительную информацию и данные. Такой каротаж может выполняться в обсаженной и не обсаженной скважине. Настоящий стандарт не содержит требований к выполнению таких видов работ и предназначен для общего понимания целей и возможных результатов геофизического каротажа.

При определении видов/объема каротажа следует учесть такие факторы, как:

а) необходимые типы измерений;

б) минимальное количество измерений на исследуемый интервал скважины;

в) необходимая последовательность, направление и скорость продвижения при каротаже;

г) класс точности измерения глубины, который следует указать в проектной документации согласно разделу 6;

д) необходимые корреляции между измерениями;

е) набор инструментов и интервал каротажа за рейс;

ж) глубину перебуренного интервала скважины (rat hole);

и) требуется ли компенсация качки для каротажной линии.

Если планируется выполнять каротаж с радиоактивным источником, то его выполнение допустимо квалифицированным специалистом, и должны быть установлены рабочие процедуры для таких операций с учетом следующих факторов:

- обращение с радиоактивными источниками согласно применимым нормативным документам;
- компенсация вертикальной качки инструментов, спускаемых на тросе;
- аварийные процедуры по извлечению инструментов, оставленных в скважине или на дне;
- аварийные процедуры на случай невозможности извлечения радиоактивного инструмента (как правило, цементирование).

**В.6.2 Отчет по результатам исследований**

В отчет по результатам каротажа следует включать, как минимум:

- характеристики систем скважинного геофизического каротажа;
- информацию о грунтовом разрезе и особенностях бурения согласно разделу 7;
- информацию об условиях выполнения каротажа (в открытом стволе/в обсадке);
- данные о последовательности, направлении и скорости проходки каротажных зондов в скважине;
- класс точности измерения глубины;
- результаты каротажа;
- определения, формулы, допущения и ограничения полученных параметров и примененные корреляции.

## Приложение Г
## (справочное)

## Полевые испытания грунтов

### Г.1 Оборудование и процедуры CPT/CPTU

Детальные методические указания по процедурам и интерпретации CPTU/CPT приведены в [10] и [11].

Зонды для статического зондирования с размерами большими или меньшими относительно стандартных могут использоваться для специальных целей, например укрупненный зонд для повышения точности измерений в слабых грунтах. Применение нестандартного оборудования должно быть специально отмечено в проектной документации и содержать подробное описание методики его использования и обработки получаемых данных.

Эмпирические корреляции, полученные для пенетрометров стандартного размера, не обязательно действительны для зондов нестандартного размера и должны использоваться с осторожностью при отсутствии сравнительных испытаний с применением оборудования стандартного размера.

В некоторых случаях важная информация может быть получена за счет выполнения испытаний при нестандартных скоростях. Если выполняются такие испытания, то результаты должны быть указаны с примечанием об использовании нестандартных скоростей.

Как отмечено в 8.3.4, важно внести соответствующую корректировку в величину удельного сопротивления грунта под конусом за счет порового давления. Также возможна корректировка величины удельного сопротивления грунта по боковой поверхности, если было измерено поровое давление в верхней и нижней частях муфты, или такая разница может быть оценена (предположена).

Скорректированное значение удельного трения по боковой поверхности $f_t$, МПа, может быть определено по формуле

$$f_t = f_s - \frac{(u_2 \cdot A_{sb} - u_3 \cdot A_{st})}{A_s}, \quad (Г.1)$$

где $f_s$ — измеренное значение удельного трения по боковой поверхности, МПа;

$A_s$ — площадь муфты трения, мм$^2$;

$A_{sb}$ — площадь поперечного сечения низа муфты трения, мм$^2$;

$A_{st}$ — площадь поперечного сечения верха муфты трения, мм$^2$;

$u_2$ — поровое давление, измеренное между муфтой трения и конусом, МПа;

$u_3$ — поровое давление, измеренное над муфтой трения, МПа.

Такая корректировка предусматривает использование значений $u_2$ и $u_3$, которые предпочтительно измерить, чтобы выполнить коррекцию.

Примечание — $u_3$ можно оценить на основе $u_2$, используя корреляции, приведенные в [10].

Данные корректировки более важны для тонкодисперсных грунтов, в которых избыточное поровое давление при пенетрации может быть значительным. Рекомендуется использовать скорректированные значения показателей для интерпретации и классификации в соответствии с СП 11-114—2004, СП 504.1325800.2021).

### Г.2 Документирование измерений при CPT/CPTU

#### Г.2.1 CPTU/CPT, испытания шарообразным и Т-образным зондами в модификации без бурения

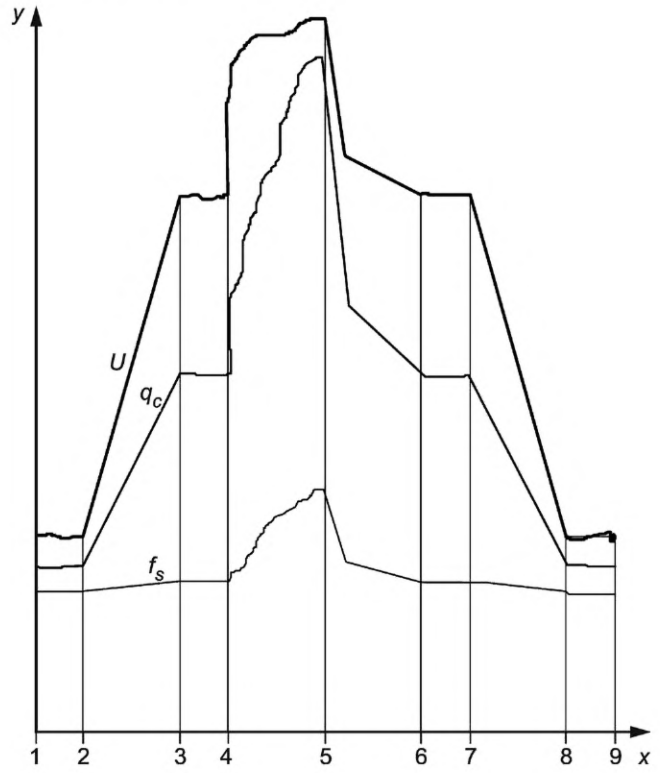
Настоящие рекомендации применимы при выполнении статического зондирования в режиме без бурения. На рисунке Г.1 показан пример результата теста, полученного в ходе проведения испытания CPTU в режиме без бурения.

Такое испытание можно подразделить на следующие этапы (соответствуют интервалам на оси *x* рисунка Г.1):

- этап 1—2 — начальный сбор исходных показаний от всех датчиков на палубы. Исходные показания должны регистрироваться после того, как выходные сигналы датчиков становятся устойчивыми. Операция производится при температуре зонда и пенетрационных штанг, максимально близкой к температуре на дне моря;
- этап 2—3 — спуск зонда на дно моря;
- этап 3—4 — регистрация всех исходных показаний после достижения зондом дна (но без контакта с ним). Исходные показания следует регистрировать после того, как выходные сигналы датчиков становятся устойчивыми;
- этап 4—5 — пенетрация в грунт (выполнение собственно теста);
- этап 5—6 — извлечение зонда из грунта до тех пор, пока он опять не будет на дне (не касаясь последнего);
- этап 6—7 — регистрация исходных показаний от всех датчиков на дне моря. Исходные показания следует регистрировать после того, как выходные сигналы датчиков становятся устойчивыми;

- этап 7—8 — извлечение донной рамы и зонда на палубу. Визуальный осмотр зонда на предмет каких-либо повреждений, налипания грунта на зонде, поврежденных или загрязненных уплотнительных колец и т. п.;

- этап 8—9 — снятие окончательных исходных показаний от всех датчиков на палубе. Зонд должен оставаться в вертикальном положении в ходе этих измерений. Исходные показания следует регистрировать после того, как выходные сигналы датчиков становятся устойчивыми.




*x* — время; *y* — интервалы снятия показаний датчика; *1—2* — исходное показание на палубе; *2—3* — спуск зонда на дно моря; *3—4* — исходное показание на дне моря; *4—5* — пенетрация зонда в грунт; *5—6* — извлечение зонда из грунта на дно; *6—7* — исходные показания на дне моря; *7—8* — извлечение зонда на палубу; *8—9* — исходные показания на палубе

Рисунок Г.1 — Этапы выполнения испытаний «в массиве» и снятия показаний в ходе испытаний. Модификация выполнения забортной установкой без бурения

Полный цикл испытаний должен быть записан и задокументирован с графическим отображением результатов по всем датчикам в зависимости от времени (как показано на рисунке Г.1) и в таблице с показаниями датчиков в физических единицах во времени: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9. Записи полного цикла полевых испытаний без корректировки и обработанные должны быть доступными для заказчика. Изменения порового давления и осевой нагрузки погружаемого зонда на дно моря следует использовать для подтверждения чистого площадного коэффициента зонда *a* для датчика нагрузки.

Вышесказанное действительно для испытаний в режиме выполнения теста на дне моря, когда забортная установка извлекается на палубу после каждого испытания. Процедуру нужно модифицировать, если установка не поднимается на палубу, а судно перемещается с одной точки на другую без подъема оборудования.

Если разница между показаниями в моменты времени 7 и 4 и/или в моменты времени 9 и 2 превышает предельно допустимые значения (устанавливаются для каждого датчика индивидуально), то рекомендуется добавлять в результаты тестов комментарии о величине такого расхождения и применении каких-либо корректировок.

Для CPTU можно рекомендовать ограничительные значения, равные допустимой минимальной точности согласно классам применимости (таблица 2, подраздел 8.3.3.1).

Схема и рекомендации к рисунку Г.1 (для CPT/CPTU) применимы и для испытаний с шарообразным и Т-образным зондами.

**Г.2.2 Испытания CPTU/CPT и шарообразными зондами с установкой на дно моря и с бурением**

Для испытаний в режиме бурения с установкой на дно моря, когда установка остается на дне моря до завершения бурения скважины, установка управляется/включается дистанционно, стабилизируется и обнуляется на дне моря также дистанционно перед началом испытаний.

Как показано на рисунке Г.2, рекомендуется выполнять следующую последовательность испытаний CPT/CPTU в режиме бурения. Этапы соответствуют интервалам на оси *x* рисунка Г.2:

- этап 1—2. Зонд извлекается из инструментального пенала, активируется и устанавливается на испытательную колонну; начальные показания зонда регистрируются на фиксированной глубине, расстоянии от дна моря (внутри установки);

- этап 2—3. Зонд опускается на дно моря (для новых скважин) или на забой текущей скважины;

- этап 3—4. Выполняется пенетрация в ненарушенный грунт до заданной глубины испытаний или до отказа инструмента;

- этап 4—5. Зонд извлекается на дно и снимаются его показания (на той же фиксированной глубине, что и на этапе 1—2);

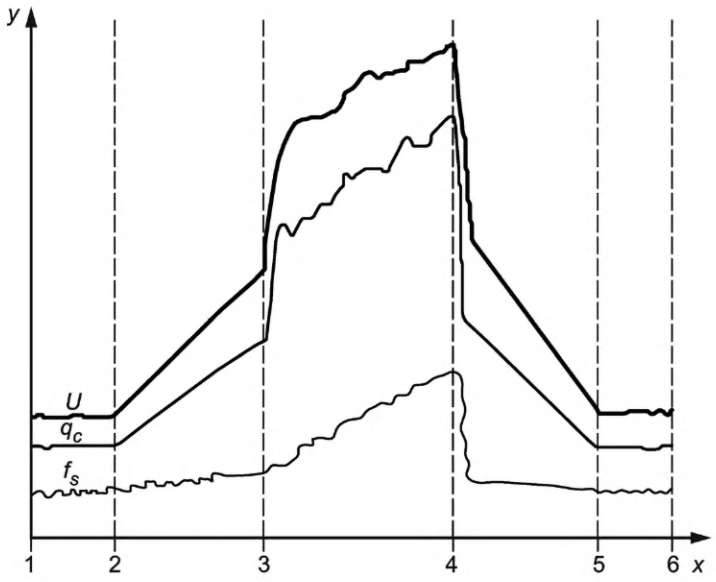
- этап 5—6. Зонд возвращается в инструментальный пенал и выключается.

Затем выполняется сравнение следующих показаний:

а) начальные нулевые показания (этап 1—2), взятые между нынешним и предшествующим испытанием/станцией CPT, при условии использования одного и того же зонда в этих испытаниях;

б) окончательные нулевые показания по всем испытаниям (этап 4—5).

Рекомендации по допустимым отклонениям регистрируемых параметров принимаются, как в Г.2.1.




*x* — время; *y* — интервалы снятия показаний датчика; *1—2* — исходные показания, зонд непосредственно над дном моря; *2—3* — зонд на дне или на забое скважины; *3—4* — пенетрация зонда в грунт; *4—5* — извлечение зонда в положение над дном моря; *5—6* — снятие исходных показаний зонда непосредственно над дном моря

Рисунок Г.2 — Этапы выполнения испытаний и снятия показаний в ходе испытаний. Модификация выполнения установкой с бурением

Схема и рекомендации к рисунку Г.2 (для CPT/CPTU) применимы и для испытаний с шарообразным зондом.

**Г.2.3 Испытания CPTU/CPT и шарообразными зондами в режиме бурения с судна/платформы**

Рекомендуется выполнять регистрацию параметров от палубы до палубы для испытаний статическим зондированием (CPT/CPTU) и шарообразным зондом с бурового судна. Исходные значения следует регистрировать с палубы судна. Обработка выполненных измерений должна учитывать:

а) измерение показателей датчиков в момент закрепления зонда в КНБК и

б) вычисление теоретических смещений, определяемых гидростатическим давлением (суммирование глубины моря и глубины положения датчика ниже дна моря).

Методы а) и б), как правило, дают величины офсетов очень близкие друг к другу. Существенная разница между величинами, полученными двумя методами, должна быть объяснена, чтобы определить возможную неопределенность.

Причины технического характера разницы в результатах двух методов а) и б) включают:

- границу неопределенности влияния гидростатического давления жидкости на показания датчика [методы а) и б)];

- давление жидкости в зазоре пенетрометра не оказывает действия на полную теоретическую площадь поперечного сечения [методы а) и б)];

- неполную чистоту ствола, вызывающую контакт зонда и датчика(ов) с грунтом в момент закрепления зонда в КНБК [метод а)];

- удельный вес бурового раствора отличается от удельного веса морской воды и поровой жидкости [метод а)];

- взвешенный буровой шлам влияет на удельный вес бурового раствора [метод а)];

- значительное гидравлическое сопротивление (пульсирование) в затрубном пространстве между бурильной трубой и окружающим грунтом [метод а)];

- границу неопределенности для вычисленного давления жидкости, полученного суммированием глубины моря и глубины датчика ниже дна моря (в скважине) [метод б)].

**Г.3 Сейсмические пенетрационные испытания (SCPTU/SCPT)**

Испытание SCPTU также может использоваться для измерения скорости продольных волн $V_p$, например для вертикального сейсмопрофилирования (ВСП) в геотехнических скважинах. В этом случае сейсмоисточником может быть водяная/пневмопушка, размещенная сбоку от бурового судна/платформы.

**Г.4 Полевые испытания на сдвиг крыльчаткой (FVT)**

В некоторых случаях при выполнении полевых испытаний крыльчаткой могут быть приняты скорости сдвига, отличающиеся от стандартных. Если выполняются такие испытания, то в результатах должны быть четко даны соответствующие примечания о согласовании нестандартных скоростей.

Соединение между лопастью и штоками может иметь фрикционное сцепление или скользящую муфту. Эти устройства позволяют определять трение штока или крутящего момента до испытаний крыльчаткой. Исходные показания должны быть аналогичны показаниям для испытаний CPT/CPTU.

## Приложение Д
## (справочное)

## Пробоотбор

### Д.1 Выбор пробоотборников

#### Д.1.1 Общие положения

В данном приложении дается описание обычно используемых пробоотборников/грунтоносов при инженерно-геологических изысканиях на шельфе, а также приведены рекомендации по размерам, применимости и потенциальному качеству отбираемых проб. Также в разделе содержатся рекомендации по информации, которую подрядчику следует предоставлять заказчику при выборе оборудования для пробоотбора.

#### Д.1.2 Пробоотбор при бурении (с бурового судна, платформы или со дна моря забортной установкой

Д.1.2.1 Виды грунтоносов и их применимость в различных грунтах

В таблице Д.1 содержится информация по пробоотборникам, используемым при бурении. В таблице даны характеристики по стандартной глубине внедрения/пенетрации грунтоносов, их диаметру и применимости в различных грунтах. Геометрия пробоотборников обусловлена отраслевыми стандартами и сортаментом бурильных труб, допустимо использование иных размеров, если это необходимо.

Таблица Д.1 — Грунтоносы скважинного типа, применяемые при бурении

| Тип пробоотборника | Глубина пенетрации, м | Диаметр керна (внутренний диаметр труб), мм | Применимость в различных морских грунтах | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | текучие — текучепластичные глинистые грунты | мягкопластичные — полутвердые глинистые грунты | полутвердые —твердые глинистые грунты, с обломочным материалом | пески рыхлые — средней плотности, супеси и суглинки нормально и слабо уплотненные | плотные пески, сильно переуплотненные суглинки, супеси | малопрочные скальные и полускальные грунты |
| Поршневой | 1—2 | 68—119 | A—B | A—B | нет | A—B | нет | нет |
| Задавливаемый тонкостенный | 1—2 | 45—70 | A | A—B | нет | B—C | C—D | нет |
| Задавливаемый толстостенный | 0,5—1 | 45—68 | D | C—D | B | B—C | C—D | C—D |
| Вращательный, колонковая трубка | 1—4 | 83—119 | нет | B—C | A | C—D | C—D | A |
| Ударно-вибрационный | 1—4 | 83—119 | D | B—C | C—D | A—B | A—C | C—D |
| Забивной | 0,5—1 | 83—119 | нет | D | B—D | B—C | A—C | B—D |

Примечания

1 Буквами обозначен уровень применимости, где: A — высокий уровень применимости (высоко рекомендуемый), B — средний уровень применимости (рекомендуемый), C — низкий уровень применимости (мало рекомендуемый, в крайнем случае), D — очень низкий уровень применимости (нерекомендуемый, исключительно для общей оценки) и «нет» — не применим.

2 Глубина пенетрации определяется ниже забоя скважины за один рейс.

Д.1.2.2 Информация, предоставляемая по используемым скважинным пробоотборникам

Таблица Д.2 содержит описание предоставляемой необходимой информации об используемых скважинных грунтоносах, при их выборе и описании.

Таблица Д.2 — Предоставляемая информация по скважинным грунтоносам

| Тип пробоотборника | Диаметр и длина керна | Описание конструкции и управления пробоотборником | Макс. нагрузка | Метод измерения пенетрации в грунт | Способ извлечения керна, применение вкладыша | Керно-рватель |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Поршневой | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| Задавливаемый тонкостенный | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| Задавливаемый толстостенный | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| Вращательный колонковый | √ | Включая тип и размеры породо-разрушающего инструмента | Включая крутящий момент и нагрузку | √ | √ | √ |
| Ударно-вибрационный | √ | √ | Частота и энергия | √ | √ | √ |
| Забивной | √ | √ | Масса, высота, характеристики лебедки | √ | — | — |
| Примечание — «√» обозначает, что информация необходима. | | | | | | |

Д.1.2.3 Размеры грунтоносов

При выборе и использовании скважинных пробоотборников следует учитывать следующую информацию:

а) толщина стенок трубки должна быть достаточной, чтобы грунтонос не деформировался при внедрении в грунт;

б) при использовании тонкостенных грунтоносов последние должны отвечать следующим требованиям:

- угол режущей кромки не должен превышать 5°;
- грунтоносы с углом режущей кромки 5° — 15° могут использоваться, если это определенно не влияет на качество;
- относительная внутренняя чистота поверхности пробоотборника

$$C_i = (D_i - D_c) / D_c, \quad (Д.1)$$

где $D_i$ — внутренний диаметр в точке $i$, обычно составляет 0 % — 1 %, предпочтительнее менее 0,5 %;

$D_c$ — начальный внутренний диаметр режущего башмака.

Альтернативные грунтоносы могут являться приемлемыми, например поршневые грунтоносы с острыми кромками и вкладышами. При оценке внутренней чистоты внутренней поверхности трубки следует использовать допуски изготовителя.

**Д.1.3 Пробоотборники, используемые без бурения**

Д.1.3.1 Общие положения

В таблице Д.3 дана информация по пробоотборникам, используемым не в скважинах (т. е. забортными устройствами или установками, см. Б.1.2.2). Она включает обычную глубину внедрения в грунт, диаметр и применимость устройства в различных грунтах, более высокий уровень применимости означает получение более высокого качества керна. Размеры пробоотборников обусловлены отраслевыми стандартами и сортаментом бурильных труб, допустимо использование иных размеров, если необходимо.

Дополнительное описание пробоотборников, используемых вне скважин и без бурения, приводится ниже.

Таблица Д.3 — Пробоотборники, используемые не в скважинах

| Тип пробоотборника | Глубина пенетрации/ глубина моря, м | Диаметр керна (внутренний диаметр труб), мм | Применимость в различных морских грунтах | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | текучие — текуче-пластичные глинистые грунты | мягкопластичные — полутвердые глинистые грунты | полутвердые — твердые глинистые грунты, с обломочным материалом | пески рыхлые — средней плотности, супеси и суглинки нормально и слабо уплотненные | плотные пески, сильно переуплотненные глинистые | малопрочные скальные и полускальные грунты |
| Поршневой с донной рамой | 5—25/до 300 | 83—119 | B—C | A—B | нет | B—C | нет | нет |
| Поршневой без донной рамы | 3—30/до 1500 | 83—119 | B—C | A—B | нет | C—D | нет | нет |
| Гравитационный | 3—10/до 500 | 83—140 | A—B | B | D | C—D | нет | нет |
| Вибрационный | 3—10/до 300 | 69—119 | C | C | B—D | A—B | B—C | C—D |
| Ударно-вибрационный | 4—10/до 100 | 83—119 | C | C | B—D | A—B | B—C | B—D |
| Дночер-патель грейферного типа | 0,1—0,5/до 300 | 0,1—0,5 $м^3$ | A—B | B—C | нет | C | D—нет | D—нет |
| Гидравлический с гидроразмывом | 1—6/до 100 | 69—120 | нет | B—C | C—D | нет | D | D |
| Коробчатый | 0,3—0,5/до 300 | 200×500/ 300×500 | A | C | нет | C | нет | нет |

Примечание — Буквами обозначен уровень применимости, где: A — высокий уровень применимости; B — средний уровень применимости; C — низкий уровень применимости; D — очень низкий уровень применимости, «нет» — не применим.

Д.1.3.2 Поршневой грунтонос с жесткой привязкой ко дну

Такие пробоотборники используются с донной рамой/основанием, опускаемым на дно моря. Жесткая привязка ко дну позволяет точнее определять глубину пенетрации по грунту. Использование поршневого клапана позволяет создавать разряжение в приемной камере грунтоноса. При этом возможна деформация (растяжение) керна и нарушение его естественных свойств (в слабых глинистых грунтах). Некоторые грунтоносы такого типа могут быть снабжены устройствами регистрации глубины внедрения и определять выход керна, на большинстве пробоотборников, вместе с тем, пенетрация измеряется просто по длине испачканной грунтом поверхности. Грунтоносы часто применяются с вкладышами для снижения трения и лучшей герметизации керна.

Дополнительная важная информация, характеризующая эксплуатационные особенности пробоотборника:

- меры, принимаемые для снижения трения вкладышей-лайнеров;
- меры, принимаемые для снижения сопротивления внедрению (режущий башмак и грунтовая трубка);
- смещения и длина хода поршня при пробоотборе;
- метод внедрения и извлечения трубки из дна;
- метод измерения величины пенетрации;
- размеры режущего башмака;
- любые дополнительные измерения, такие как усилие всасывания поршня, усилие вдавливания пробоотборника в грунт, скорость пенетрации и т. п.

Д.1.3.3 Поршневой грунтонос без жесткой привязки ко дну (используемый без донной рамы)

Пробоотборники данного типа используются без донной рамы, при большой длине грунтоноса устройство может состоять из силовой рамы, предохраняющей трубку от изгибов и разрушения, а также крепления спускового механизма поршневого устройства. Использование поршневого клапана позволяет создавать разряжение в приемной камере и увеличение длины отбираемого керна. При его использовании возможна деформация (растяжение) керна с нарушением естественных свойств грунтов. Длинные трубки также подвержены опрокидыванию на дно. Для измерения пенетрации обычно используется замер длины испачканной части трубки.

Дополнительная важная информация, характеризующая эксплуатационные особенности пробоотборника:

- меры, принимаемые для снижения трения вкладышей-лайнеров;
- меры, принимаемые для снижения сопротивления внедрению (режущий башмак и грунтовая трубка);
- метод внедрения и извлечения трубки из дна;
- метод измерения величины пенетрации;
- размеры режущего башмака.

Д.1.3.4 Гравитационная трубка

Гравитационная грунтовая трубка «сбрасывается» за борт, обычно при помощи лебедок и выносных грузовых устройств, и внедряется в грунт под собственным весом. Свободное падение позволяет минимизировать сопротивление пенетрации. Устройство снабжается хвостовым стабилизатором для вертикальности и сменными грузами для ускорения падения и увеличения глубины пенетрации. Режущий башмак и кернорватель обеспечивают легкое извлечение керна, вместе с вкладышем-лайнером. Верхняя часть грунтоноса снабжается невозвратным клапаном для облегчения выхода жидкости из трубки при пенетрации в грунт. В слабых глинистых грунтах пенетрация гравитационной трубки может сопровождаться эффектом свабирования/свайным эффектом/образованием пробки и уменьшением выхода керна с нарушением естественного сложения грунта.

Длина гравитационного пробоотборника, как правило, составляет 4—6 м. Укороченные трубки могут применяться в более плотных грунтах и/или при сложностях при оперировании ими на палубе (недостаток палубного пространства, грузоподъемности и пр.). Грунтоносы длиной до 10—12 м используются при специальных требованиях проекта и при опробовании разреза, сложенного слабыми грунтами. При извлечении керна из длинных трубок высока вероятность его деформации (необходимо использовать лайнеры, пластиковые рукава для снижения трения и минимизации нарушения керна). Рекомендуемый минимальный диаметр гравитационных грунтоносов — 75 мм.

Длина троса при сбросе должна регулироваться счетчиком лебедки. Следует использовать лебедку с функцией возможности свободного падения. При сбросе грунтоноса следует учитывать влияние гидрометеорологических факторов и дрифта судна, особенно при работе на больших глубинах. Глубина пенетрации трубки, как правило, определяется по длине ее испачканной части.

Д.1.3.5 Вибрационная и ударно-вибрационная трубки

Пробоотборник устанавливается на донную раму и на ней опускается на дно. Привод механизма пенетрации осуществляется гидравлически (подача жидкости под давлением шлангами с судна) или электромеханическим способом (преимущественно на больших глубинах). При эксплуатации данных грунтоносов необходимо регистрировать величину выхода керна и пенетрации трубки. Избыточная вибрация недопустима, так как может существенно изменять свойства и состояние отбираемого грунта. Обычно образцы, отбираемые данным способом, относятся к нарушенным. Лабораторные исследования, которые могут выполняться на таких образцах, обычно ограничиваются описанием состава, текстурно-структурных особенностей, а также классификационными показателями и прочностными испытаниями на умеренно нарушенных или восстановленных образцах. Однако такой способ отбора иногда оказывается наиболее эффективным (например, в песчаных разрезах).

Д.1.3.6 Коробчатый пробоотборник

Пробоотборник предназначен для отбора нормально- и недоуплотненных грунтов придонной поверхности. Коробчатый грунтонос на раме опускается на дно на тросе, где срабатывает автоматически или с использованием пульта. Обычно применяют коробы-грунтоносы размером: 0,5 × 0,5 × 0,5 м. Вырезание прямоугольного образца не сопровождается его нарушением (существенным нарушением) и позволяет использовать пробы для различных лабораторных исследований, в том числе большеразмерные пробы для определения прочностных и деформационных свойств. Обычно глубина отбора керна не превышает 0,5 м. При подъеме грунтоноса со дна керн блокируется сверху и снизу, чтобы не допустить его вымывания.

Как правило, из коробчатых проб отбирают несколько образцов:

- три-четыре монолита отбирают пластиковыми/картонными тубами диаметром 50—75 мм, их маркируют, герметизируют и транспортируют для испытаний в стационарных лабораториях;
- пробы нарушенного сложения для определения классификационных свойств;
- пробы для определения плотности и влажности;
- пробы для экспресс-тестов лабораторной крыльчаткой, мини-крыльчаткой и портативным пенетрометром;
- пробы для визуального описания грунта.

Извлеченный материал также должен быть идентифицирован и описан.

Оставшийся материал следует упаковать, промаркировать и сохранить для последующих лабораторных исследований.

Д.1.3.7 Грейферный пробоотборник

Грейферный пробоотборник используется для опробования верхнего слоя грунтов в широком диапазоне глубин. Проба при подъеме должна быть полностью герметизирована, чтобы свести к минимуму потерю материала.

Отобранный материал перемещают в контейнер для обезвоживания (слива воды). При использовании стальных контейнеров в них помещают пластиковый вкладыш во избежание окисления и загрязнения материала. После слива воды пробы герметизируются для транспортирования на берег.

Часть проб может отбираться на экологические исследования и анализы и потребовать специального обращения.

Д.1.3.8 Общетехническая информация о забортных грунтоносах

При исследовании грунтов забортными устройствами (без использования бурения) подрядчик, как правило, предоставляет следующую техническую информацию:

а) вес оборудования на воздухе и в воде;

б) максимальная вертикальная нагрузка, прилагаемая к устройству при пенетрации в грунт;

в) методы обращения с оборудованием;

г) требования к палубному пространству;

д) краткая информация и характеристики грузоподъемного оборудования;

е) изготовитель и серийный номер оборудования (если применимо);

ж) любые эксплуатационные ограничения оборудования, например:

- максимальная глубина моря при использовании;
- грунты, для которых устройство более применимо;
- способ измерения/оценки пенетрации пробоотборника.

В таблице Д.4 приведена информация, необходимая для забортных пробоотборников, в зависимости от объема работ и предоставляемой системы.

Таблица Д.4 — Предоставляемая информация по забортным пробоотборникам (нескважинным)

| Тип пробоотборника | Максимальная глубина внедрения | Максимальная глубина моря | Внутренний/внешний диаметр грунтоноса | Вес и длина (диапазон) | Метод измерения глубины внедрения | Характеристики приводного механизма | Информация о привязке к уровню дна | Информация о керноприемнике/вкладыше | Примечания |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Поршневой с донной рамой | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | Использование невозвратного клапана |
| Поршневой без донной рамы | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | Использование невозвратного клапана |
| Гравитационный | √ | √ | √ | √ | √ | √ | нет | √ | Использование невозвратного клапана |
| Вибрационный | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | Частота и энергия |
| Ударно-вибрационный | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | Частота и вертикальная нагрузка |
| Дночерпатель грейферного типа | √ | √ | геометрические размеры | √ | нет | √ | нет | нет | Объем пробы, способ предотвращения вымыванию |
| Гидравлический с гидроразмывом | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | Характеристики гидроструи, применимый разрез |
| Коробчатый | √ | √ | нет | √ | √ | √ | нет | √ | Способ предотвращения вымыванию, опробование |

Примечание — «√» — информация должна быть предоставлена; «нет» — не применимо.

### Д.2 Обращение с керном и хранение образцов

#### Д.2.1 Общие положения

Отбор керна в море может проводиться разными устройствами и разной длины. Весь отбираемый керн может быть использован для получения проб (нарушенного и ненарушенного сложения) или быть частично утилизирован. Как правило, при отборе проб в скважинах весь керн используется или сохраняется частично (в керновых ящиках), последний может быть использован для описания ограниченных видов исследований впоследствии, если проектными документами не предусмотрено иное. При забортном пробоотборе неиспользованная для проб часть керна может быть утилизирована (на дне моря), если керн не был загрязнен техногенными и химическими веществами на палубе и если иное не предусмотрено программой работ или государственной экологической экспертизой.

**Д.2.2 Обращение с керном**

Д.2.2.1 Извлечение керна и отбор проб

Керн следует извлекать из грунтоноса в том же направлении, в котором он вошел в трубку, чтобы избежать изменения направления напряжений на границе грунт-пробоотборник. Перед извлечением керна, при возможности, на его торцевых поверхностях следует выполнить тесты мини-крыльчаткой и портативным пенетрометром (подбор зондов проводится исходя из визуального определения грунта и применимости зондов).

Извлечение керна необходимо выполнять с использованием специальных устройств (экструдеров) в горизонтальном положении или иным, предусмотренным программой работ способом (например, гидравлическим выдавливанием закрепленного стального стакана, лайнера или его части, выдавливанием при помощи бурового насоса при пониженном давлении из колонковой трубы, штоком). Керн следует извлекать на специальные желоба-поддоны, чтобы избежать его возможной деформации или разрушения. Недопустимо выбивание керна или его извлечение в подвешенном, наклонном состоянии грунтоноса. Иначе извлеченный керн может быть непригоден для лабораторных исследований прочностных и деформационных свойств, изменен его размер, форма. При использовании различных вкладышей-лайнеров (пластиковые трубки, полиэтиленовые рукава) или стальных стаканов керн может быть сохранен прямо в них путем соответствующей герметизации и создания жесткой оболочки. При большой длине керна он может быть разделен/разрезан на отдельные фрагменты для удобства обращения и хранения (как правило, длиной 1—3 м). В этом случае рекомендуется выполнить тесты микрокрыльчаткой и пенетрометром на всех торцах фрагментов керна.

Весь керн/образцы должны быть зарегистрированы. Извлеченный керн фотографируется с использованием масштабной и цветовой шкал. Фотографии следует делать на одном фокусном расстоянии, с эффективной резкостью, позволяющей передать текстурно-структурные особенности грунтов, и которое должно сохраняться в ходе проекта. Каждая фотография должна сопровождаться подробной информацией о пробе (название проекта, района работ, номер скважины, глубина моря и отбора и пр.). Буровой раствор и шлам должны быть с осторожностью удалены с фрагмента керна. При необходимости следует делать фотографии, демонстрирующие особенности текстуры и структуры грунта, включения и границы между слоями.

После идентификации грунта и фотографирования проводится его описание (возможно использование ГОСТ Р 58325). При описании керна разными исполнителями (например, разными сменами) следует унифицировать выделяемые слои и тела, чтобы описание грунтовой толщи было единообразным. После описания керна следует разделить его на части и выполнить отбор проб. Опробование проводится с частотой согласно таблице Д.5. При выполнении пробоотбора также следует учитывать необходимость достаточной количественной характеристики выделенных слоев по площади и по разрезу с учетом допустимого коэффициента вариации (ГОСТ 20522).

Отбор, хранение и транспортирование проб и керна осуществляются согласно требованиям ГОСТ 12071.

Таблица Д.5 — Частота отбора проб

| Интервал глубин опробования от дна моря, м | Шаг опробования, м |
|---|---|
| 0—10 | 0,2—0,5 |
| 11—30 | 0,3—1,0 |
| 31—50 | 0,5—1,5 |
| 51—70 | 1,0—3,0 |
| 70—120 | 2,0—5,0 |
| Более 120 | Определяется программой работ |

Примечания

1 Опробованию подлежит каждый выделенный слой грунта.

2 В слоях мощностью 5 м и более должно быть отобрано не менее трех образцов.

3 При опробовании опорных скважин частоту отбора проб следует принимать максимальной и предусматривать отбор проб для проведения минералого-палеонтологических анализов (микрофаунистический, диатомовый, споро-пыльцевой и др.).

Каждая проба должна иметь подробную привязку и/или уникальный идентификационный номер. Для исследований в стационарной лаборатории следует отбирать репрезентативные образцы. В судовой лаборатории выполняются экспресс-определения/тестирования микрокрыльчаткой и карманным пенетрометром связных грунтов. Также выполняются определения естественной влажности и плотности грунта (ГОСТ 5180). Рекомендуется отбирать пробы нарушенного сложения в непосредственной близости с интервалами судовых тестов (сопротивлению недренированному сдвигу, влажности, плотности), чтобы получить стандартный набор характеристик грунта прочности для выбранного интервала. Экспресс-тесты следует выполнять на вырезанных фрагментах керна достаточ-

ной длины, разместив их на горизонтальной поверхности перпендикулярно к оси скважины/керна. Внедрение и испытание выполняют в центральной части (не менее двух измерений с определением среднего значения). Недопустимо выполнять испытания поперек оси скважины/керна.

Пробы нарушенного сложения отбирают в полиэтиленовые пакеты достаточного количества для определения стандартного набора классификационных свойств. Пробы ненарушенного сложения (монолиты) отбирают и герметизируют в марлю со смесью гудрона и парафина или в картонные тубы по ГОСТ 12071. При определении пригодности проб для различных лабораторных исследований следует руководствоваться таблицей 5 (раздел 10).

Д.2.2.2 Неизвлеченные образцы керна

Образцы несвязных или слабых глинистых грунтов могут быть оставлены в трубке или лайнере, если это целесообразнее, чтобы доставить их минимально нарушенными в стационарную лабораторию. Связные грунты, не извлеченные на борту, следует подвергнуть испытанию мини-крыльчаткой и карманным пенетрометром по торцевой поверхности (по возможности). Также возможно выполнение на них тестов лабораторной крыльчаткой, установив в горизонтальном положении.

Сохранность проб в таких контейнерах обеспечивается герметизаций торцевых частей специальными крышками и парафином/гудроном (при необходимости). Как правило, длина сохраняемых фрагментов керна таким методом составляет 0,5—1,0 м. При необходимости пластиковые лайнеры (трубки) могут быть распилены до любого требуемого размера.

Пластиковая трубка/стальной стакан-грунтонос должны иметь четкую маркировку несмываемым маркером с указанием необходимой информации для идентификации проб. Рекомендуется хранить их вертикально в специальном контейнере (сообразно верху и низу в естественном положении), сконструированном для удобного манипулирования грузоподъемными устройствами.

Д.2.2.3 Колонковые трубки

При отборе керна колонковым снарядом может применяться одинарная, двойная или тройная колонковая труба. Одинарная труба может быть использована только для переуплотненных грунтов, валунных глинистых и полускальных и малопрочных скальных грунтов. Применение двойной и тройной трубы подразумевает отсутствие вращения внутренней, керноприемной части и, как следствие, получение более качественного керна, пригодного для различных лабораторных исследований, включая пробы из нормально консолидированных отложений.

После подъема снаряда на палубу и извлечения внутреннего грунтоноса из последнего изымается керн. Для тройной колонковой трубы это может быть внутренний стальной или пластиковый расщепляемый на части лайнер. Керн помещается в лоток (желательно использовать лотки того же и немного большего диаметра, чем диаметр внутренней части грунтоноса, чтобы не деформировать керн). После этого выполняется фотографирование, идентификация и описание грунта. Так как длина колонковых труб и получаемого керна может меняться по скважине (обычно составляет 1—4 м), то фотографирование следует выполнять поинтервальное, выдерживая общий масштаб вдоль всей скважины (например, шагами по 1 м), а также делать фотографии всего(всех) отобранного(ых) фрагмента(ов) для отражения общего характера отложений, отражения переходов и границ. После этого следует отобрать необходимые пробы. Детальные фотографии также следует выполнять, если это необходимо. Порядок, требования выполнения описания, фотографирования, опробования описаны в Д.2.2.1.

Оставшийся керн, как правило, тщательно укладывают, маркируют, по возможности герметизируют (например, оборачивая в полиэтиленовую пленку) и сохраняют. Извлеченные части керна (отобранного на различные виды анализов) помечают, чтобы точнее установить истинную глубину оставшихся для использования фрагментов керна. При маркировке указывают информацию, идентифицирующую название или номер проекта, номер рейса отбора керна, верх и низ керна, глубины, дату отбора керна и название грунта.

Фрагменты керна должны быть упакованы в специальные керновые ящики, с прокладками между фрагментами. Ящики с керном не должны быть тяжелыми (рекомендуемый вес ящика с керном — до 40 кг, чтобы ими можно было манипулировать вручную и их могли поднять и перенести два человека) и должны иметь крышку, которая надежно закрепляется. Ящики должны быть также промаркированы соответствующим образом (аналогично керну внутри).

**Д.2.3 Хранение керна и образцов в море (на борту)**

Ящики с образцами на борту судна/платформы следует хранить в защищенном от попадания прямых солнечных лучей и влаги месте, вдали от источников динамических воздействий и вибрации. Температура и влажность в таком месте не должны существенно меняться (ГОСТ 12071). Рекомендуемая температура воздуха в помещении 5 °С — 20 °С (не допускается промерзание проб, что может существенно нарушить природные свойства грунта). Если на судне отсутствует специальное керно-/пробохранилище, то пробы можно размещать в иных пригодных помещениях или на палубе, соблюдая указанные выше требования.

Образцы желательно хранить вертикально, соблюдая природную ориентацию. Это касается монолитов и керна, отбираемого в стаканы или разбитого на фрагменты (обычно 0,5—1,0 м). Керн в контейнерах также следует размещать в условиях минимального воздействия (влаги, качки, вибрации, солнечных лучей или иных тепловых источников).

Некоторые пробы могут требовать особых условий обращения и хранения (например, радиоактивные, мерзлые, экологические и др.). Требования к их хранению должны содержаться в проектных спецификациях.

**Д.2.4 Транспортирование, обращение и хранение керна и проб на берегу**

Если ящики с образцами или керном временно будут храниться на берегу перед транспортированием в стационарную лабораторию, то такое хранение должно осуществляться под навесом или в помещении, без промерзания, с соблюдением требований, применяемых для их хранения на судне.

Требования к транспортированию керна и проб определяются ГОСТ 12071.

Срок хранения керна определяется условиями договора, учитывая, что керн может потребоваться для дополнительного описания и исследований. При этом набор возможных тестов и измерений существенно уже, чем для керна, недавно отобранного. Обычно длительность хранения проб составляет 3—6 мес. При более длительном сроке следует его согласовать с заказчиком, с учетом состояния проб и его пригодности для выполнения лабораторных или иных исследований.

## Приложение Е
## (справочное)

## Лабораторные испытания

### Е.1 Общие положения

В разделе 10 и настоящем приложении описано проведение лабораторных испытаний как части морских исследований грунтов. Основное внимание уделяется испытаниям образцов водонасыщенных грунтов, хотя некоторые положения относятся к испытаниям скальных грунтов.

Настоящий стандарт не рассматривает испытания загрязненных грунтов. В других стандартах, например ИСО, АСТМ, описываются экологические условия на площадке, а также отбор проб, испытания загрязненных грунтов, хотя эти стандарты в основном ориентированы на площадки суши.

### Е.2 Классификация

#### Е.2.1 Определение и описание грунта

Описание грунта проводится в соответствии с российской классификацией по ГОСТ 25100, возможно также использование положений ГОСТ Р 58325.

Допускается использование других систем описания грунта. Система определения и описания грунта должна указываться в задании.

В описании грунта должна присутствовать информация:

- по основным типам грунта по размеру преобладающих частиц и с указанием второстепенных фракций (с соответствующим упоминанием карбонатности, если требуется);
- сопротивлению недренированному сдвигу глинистого грунта и зерновому составу песков;
- степени цементации или выветрелости;
- структуре, текстуре и другим особенностям строения;
- цвету, предпочтительно с отсылкой к цветовым эталонам грунтов (например, шкале Манселла);
- форме, окатанности и минеральному составу полнокристаллических частиц;
- другие сведения, включая специфические свойства.

#### Е.2.2 Классификация грунтов

Классификация грунтов выполняется согласно ГОСТ 25100.

Допускается использовать другие системы классификации при их указании в задании.

Примечания

1 Использование других систем классификации, таких как [21] или [22], может дать существенно отличающиеся результаты. Например, при сравнении систем ГОСТ и АСТМ имеются расхождения в определениях типов грунта на основе размера зерен и пластичности. Кроме того, ГОСТ использует генетический признак, а в системе АСТМ это не учитывается.

2 Для некоторых грунтов может потребоваться использовать более узкие частные классификации.

#### Е.2.3 Фотографирование образца

Требования по фотографированию образца следует приводить в задании.

#### Е.2.4 Радиография образца

Радиография может использоваться для визуальной оценки качества образцов грунта, тонкой слоистости и наличия/количества гравия, гальки и других включений.

Представление результатов радиографии должно включать:

- местоположение и размеры радиографированных образцов;
- шкалу и верхние/нижние маркировки;
- описание рентгеновской установки;
- радиографические снимки образца.

Также возможно получить снимки компьютерной томографии (КТ) образцов грунта, которые содержатся в неметаллических пробоотборных трубках или вкладышах. Использование сканирующей технологии КТ позволяет получить визуальные изображения по длине образца, как и при радиографии, но дополнительно можно получить изображения в поперечном сечении. Процедуры, используемые для сканирования (КТ) образцов грунта и представления результатов КТ-сканирования, следует оформлять документально, аналогично радиографии образцов грунта и при необходимости приводить в отчете.

Многосенсорное сканирование керна (MSCL) представляет собой неразрушающую методику, которая может обеспечить полунепрерывный каротаж различных свойств грунта, таких как скорость продольных волн, удельное электрическое сопротивление, магнитная восприимчивость и т. п. Процедуры, используемые для проведения MSCL образцов грунта, и представление результатов, следует оформлять документально и при необходимости приводить в отчете.

**Е.2.5 Влажность**

Естественная влажность *w* должна определяться по ГОСТ 5180.

**Е.2.6 Пределы пластичности**

Пределы пластичности $w_L$ и $w_P$ следует определять согласно ГОСТ 5180.

В описании процедуры испытаний должно быть указано, высушивался ли материал перед испытаниями, и если высушивался, то каким способом (хотя рекомендуется не сушить образец перед испытаниями). Также должно быть указано, удалялись ли крупные частицы перед испытаниями (необходимо указать использовавшийся размер сита для разделения навески грунта). При добавлении воды должна использоваться дистиллированная вода, даже если поровый раствор исследуемого грунта имеет заметную минерализацию.

**Е.2.7 Плотность грунта или удельный вес грунта**

Плотность (при естественном сложении и влажности) грунта $\rho$ приводится в единицах килограмм на кубический метр (кг/м$^3$) и определяется согласно ГОСТ 5180.

Термин «удельный вес», $\gamma$, также часто используется на практике. Удельный вес грунта указывается в килоньютонах на кубический метр (кН/м$^3$). Для преобразования из единиц массы в единицы силы (веса) используется ускорение силы тяжести, $g$ = 9,81 м/с$^2$).

**Е.2.8 Плотность частиц грунта**

Плотность частиц грунта $\rho_s$ следует определять согласно ГОСТ 5180.

В описании процедуры испытаний должно быть указано, высушивался ли материал перед испытаниями, и если высушивался, то каким способом (рекомендуется не сушить образец перед испытаниями). Альтернативно может указываться удельный вес твердых частиц $\gamma_s$, кН/м$^3$, или приведенный вес твердых частиц, $G$ ($G = \gamma_s/\gamma_w$, где $\gamma_w$ — удельный вес дистиллированной воды при температуре 4 °С, 9,81 кН/м$^3$).

**Е.2.9 Максимальные и минимальные показатели плотности**

Максимальную ($\rho_{max}$) и минимальную ($\rho_{min}$) плотность скелета грунта следует определять согласно документально оформленной процедуре. Максимальная и минимальная плотность скелета грунта ($\rho_{max}$ и $\rho_{min}$) представляют собой его самое плотное и самое рыхлое состояния, соответственно, которые могут формироваться при использовании стандартной лабораторной процедуры, минимизирующей разделение и дробление частиц. Гранулометрический состав образца должен определяться до и после проведения испытания для проверки возможного дробления частиц. Максимальная и минимальная плотность скелета грунта обычно определяются для песчаных грунтов. Принято представлять результаты в терминах коэффициента пористости в предельно плотном и предельно рыхлом сложении ($e_{min}$ и $e_{max}$).

Примечание — Для некоторых типов песков возможно создание лабораторных образцов (без дробления зерен) с более высокой плотностью, чем максимальная плотность скелета, определенная в воздушно-сухом состоянии по стандартной процедуре. В таких случаях расчетная степень плотности образца будет выше 100 %.

Существуют разные методы определения максимальной и минимальной плотности скелета грунта, которые могут давать разные результаты. Поэтому в техническом задании следует указывать и методику определения, и оборудование. Результаты, полученные при использовании выбранного оборудования и методики на эталонном песке, следует оформить документально.

**Е.2.10 Классификация по дисперсности**

Классификация грунтов по дисперсности проводится согласно ГОСТ 25100.

Используемый метод определения гранулометрического состава грунта следует указать в отчете. В описании методики определения следует указать, использовались ли диспергаторы и высушивался ли грунт перед проведением анализа, а если высушивался, то каким способом (рекомендуется не сушить образцы перед испытаниями).

Примечание — Некоторые грунты могут потребовать использования специальных диспергаторов.

Гранулометрический состав следует представлять в виде графика в полулогарифмическом масштабе, показывающем суммарное процентное содержание частиц мельче определенного размера в стандартных фракциях.

Также допускается использование методов, основанных на отражении и рассеивании рентгеновских или лазерных лучей, измерении плотности и счетчиков частиц при условии их калибровки в установленном порядке.

**Е.2.11 Форма частиц**

Форму (сферичность, угловатость и пр.) частиц песка и гравия следует определять на качественном либо количественном уровне.

В [22] даны методические указания по выполнению визуального описания окатанности (угловатости) частиц грунта.

**Е.2.12 Содержание органических веществ**

Содержание органического вещества в образце определяется согласно ГОСТ 23740.

С помощью этого метода содержание органического вещества оценивается на основе измерения потери массы в результате прокаливания пробы грунта при определенной температуре. Могут использоваться и другие методы испытаний. Например, содержание органического вещества может быть определено на основе потери массы после обработки перекисью водорода ($H_2O_2$). Другим методом оценки содержания органических веществ в

глинистых грунтах является сравнение результатов определения влажности на границе текучести образца после сушки в печи с результатами, измеренными перед такой сушкой [21].

Примечание — Некоторые минералы в глинистых грунтах при нагревании разлагаются, и проба теряет массу. В таких случаях рекомендуется определение содержания органического вещества на основе общего содержания органических веществ.

**Е.2.13 Карбонатность**

Содержание карбонатов следует определять согласно ГОСТ 34467 методом их разрушения соляной кислотой до постоянной массы. Карбонатность выражается в виде процентного соотношения к массе абсолютно-сухой пробы грунта.

Примечания

1 В [23] также используется метод измерения объема выделяющегося газа, а в [24] — измерение его давления.

2 Кроме того, в разделе 6 [25] описывается процедура измерения карбонатности быстрым титрованием, также может использоваться объемный метод, в котором применяется аппарат Читтика, позволяющий определить общее содержание органического вещества и раздельные количества кальцита ($CaCO_3$) и доломита ($MgCaCO_3$).

Существующие методы не делают различия между разными карбонатами, и результаты представляются как процент эквивалентного содержания кальцита. Четкое отличие различных карбонатов друг от друга предусматривает проведение количественного химического анализа и/или петрографического анализа.

**Е.2.14 Содержание водорастворимых солей**

Показатели некоторых свойств грунтов могут потребовать коррекции на содержание солей в поровой жидкости, которое следует определять экспериментально по ГОСТ 27753.4.

Время между отбором проб и определением засоленности следует минимизировать из-за потенциальных химических изменений, которые могут произойти в образце грунта.

Методы измерения удельного сопротивления (удельной электропроводности) также могут использоваться для оценки солености поровой жидкости при наличии достаточного количества поровой жидкости.

**Е.2.15 Испытания по определению сопротивления недренированному сдвигу грунта**

Е.2.15.1 Общие положения

Оценка сопротивления грунта недренированному сдвигу ($s_u$ или $c_u$) может проводиться для связных грунтов на основе разных методов. Сопротивление грунта недренированному сдвигу следует указывать в килопаскалях (кПа). Следует указывать ориентацию образца (вертикальная или горизонтальная) при испытании. Все измерения должны сопровождаться контролем влажности грунта в образце или в непосредственной близости к точке испытаний.

В этом подразделе описываются наиболее широко применяемые в практике изысканий схемы испытаний грунтов. В данных испытаниях используются высокие скорости сдвига с различными режимами, а нарушение сложения образцов сильно влияет на результаты. Значения сопротивления грунта недренированному сдвигу, полученные с использованием перечисленных ниже схем и устройств, часто дают значительный разброс.

Е.2.15.2 Определение пластической прочности грунта балансирным конусом (FC)

Определение пластической прочности грунта балансирным конусом выполняется согласно [26].

Примечание — Если используется другой стандарт для проведения испытания на определение пластической прочности грунта балансирным конусом, то важное значение имеет документация оборудования, процедура испытаний и калибровки, так как существуют отличия между разными стандартами. Например, существует большая разница в коэффициентах калибровки между норвежскими (NS) и шведскими (SGF) стандартами, особенно для конусов 10 г/60° и 60 г/60°.

Масса и угол используемого конуса должны соответствовать применяемому стандарту. Поверхность конуса должна быть гладкой и чистой. Должны выполняться регулярные проверки вершины конуса. Испытание желательно проводить, когда проба все еще находится внутри пробоотборной трубки (или в пределах кольца) для ограничения поперечной деформации и для минимизации влияния упругого вертикального сжатия, вызываемого воздействием конуса.

На каждом образце должно быть получено не менее трех замеров, и среднее из этих показаний берется в качестве фактического значения. Необходимо соблюдать осторожность и не выполнять испытаний близко к боковой стенке жесткого контейнера, а также обеспечить, чтобы зона воздействия одного испытания не взаимодействовала с другими.

Е.2.15.3 Испытание карманным пенетрометром (микропенетрация)

При проведении испытания карманным пенетрометром сопротивление грунта недренированному сдвигу оценивается по усилию, которое необходимо для внедрения стального цилиндрического штока (или его наконечника) на фиксированное расстояние через выровненную поверхность грунта, используя сжатие тарированной пружины.

Наконечники различных диаметров, установленные на стальной шток, могут влиять на диапазон измеряемых сопротивлений сдвигу. Каждый наконечник имеет указанный тарировочный коэффициент. Используемый на-

конечник должен быть указан в отчете. Фиксированная глубина внедрения штока или наконечника должна быть равна диаметру штока.

Карманный пенетрометр следует вдавить в исследуемый грунт в течение примерно 1 с. Сопротивление грунта недренированному сдвигу оценивается как измеренное усилие, деленное на 2. Предпочтительно выполнять испытание, когда грунт все еще находится внутри пробоотборной трубки (или в пределах кольцевой вставки) для ограничения поперечных деформаций.

На каждом образце должно быть получено не менее трех показаний, и среднее из этих показаний берется в качестве фактического значения. Необходимо соблюдать осторожность и не выполнять испытаний близко к боковой стенке жесткого контейнера, а также следить, чтобы зона воздействия одного испытания не взаимодействовала с другими.

Примечание — У каждого наконечника карманного пенетрометра есть указанный производителем тарировочный коэффициент преобразования.

Е.2.15.4 Испытание миникрыльчаткой (TV)

Испытание миникрыльчаткой для измерения сопротивления грунта недренированному сдвигу может использоваться на выровненной поверхности образца связного грунта в соответствии с процедурой, описанной в [27].

Площадь образца должна быть по крайней мере в два раза больше площади, очерчиваемой лопастями миникрыльчатки. Предпочтительно выполнять испытание, когда грунт все еще находится внутри пробоотборной трубки или в жестком кольце для ограничения поперечной деформации. Не допускается проведение испытаний близко к боковой стенке жесткого контейнера, а также необходимо исключить перекрытие зон влияния разных испытаний.

Устройство должно показывать сопротивление грунта недренированному сдвигу сразу после поворота скручивающей пружины. Для расширения диапазонов измерения сопротивления сдвигу на крыльчатку могут устанавливаться адаптеры различных размеров. Характеристики используемого адаптера должны быть указаны в отчете.

Е.2.15.5 Испытание миниатюрной или лабораторной крыльчаткой (MV)

Испытание с использованием миниатюрной или лабораторной крыльчатки (с электроприводом или в ручном режиме) следует выполнять согласно [28].

Примечание — Требования [27] аналогичны [28], за исключением разницы в рекомендуемой скорости вращения крыльчатки. По [28] она составляет 60° — 90°/мин, а по [27] — 6° — 12°/мин, поэтому важно указывать в отчете используемую скорость вращения.

Лопасти крыльчатки следует вдавить в центр пробы грунта, когда он находится в пробоотборной трубке, на минимальную глубину, равную двойной высоте лопасти крыльчатки, когда верхний край лопасти погружен по крайней мере на одну высоту крыльчатки.

Если миниатюрная крыльчатка также используется для измерения сопротивления перемятого грунта недренированному сдвигу (см. Е.2.15.8), то количество вращений крыльчатки для перемятия образца, следует указать в отчете.

С помощью миниатюрной крыльчатки можно выполнить несколько различных измерений сопротивления грунта недренированному сдвигу, включая:

а) начальное: сопротивление недренированному сдвигу грунта, измеренное на образце ненарушенного сложения;

б) остаточное: сопротивление недренированному сдвигу грунта, измеренное на образце ненарушенного сложения в конце испытания;

в) начальное: сопротивление недренированному сдвигу перемятого грунта, измеренное после не менее 5—10 быстрых вращений крыльчатки после завершения испытания на образце ненарушенного сложения;

г) остаточное сопротивление сдвигу перемятого образца;

д) установившееся сопротивление перемятого грунта сдвигу, измеренное после не менее 5—10 быстрых вращений крыльчатки.

Размеры лопастей крыльчатки следует указать при представлении результатов.

Е.2.15.6 Испытание на одноосное сжатие

Испытание на одноосное сжатие следует выполнять согласно ГОСТ 12248.2

В отчете следует отметить, был ли образец обрезан до диаметра меньшего, чем диаметр керна (см. 10.4). Начальное отношение высоты образца к его диаметру должно быть равно двум. Используемую скорость деформации при кинематическом нагружении следует отразить в отчете.

Результаты испытания представляются согласно требованиям ГОСТ 12248.2 и должны включать изображение или описание формы разрушения образца.

По завершении испытания образец следует разрезать и дать описание грунта (см. Е.2.1). Любые наблюдаемые внедрения и/или текстурные особенности и следы деформаций должны быть отмечены (например, поверхность скольжения, пластинчатость, комковатость).

Е.2.15.7 Неконсолидированно-недренированное (НН) испытание при трехосном сжатии

Неконсолидированно-недренированное испытание при трехосном сжатии следует выполнять согласно ГОСТ 12248.3

В обычных условиях не требуются измерения порового давления, поэтому не нужны торцевые фильтры и фильтровальная бумага.

Эффективное напряжение при испытаниях следует задавать в программе испытаний. Используемую скорость деформации при кинематическом режиме нагружения следует отразить в отчете.

Результаты испытания представляются согласно требованиям ГОСТ 12248.3 и должны включать изображение или описание формы разрушения образца.

По завершении испытания образец следует разрезать и дать описание грунта (Е.2.1). Любые наблюдаемые внедрения и/или текстурные особенности и следы деформаций должны быть отмечены (например, поверхность скольжения, пластинчатость, комковатость).

Е.2.15.8 Недренированная сдвиговая прочность грунта нарушенного сложения

Прочность связного грунта нарушенного сложения при недренированном сдвиге ($s_{ur}$) может быть определена несколькими методами, включая балансирный конус (см. Е.2.15.2), миниатюрную лабораторную крыльчатку (см. Е.2.15.5) и неконсолидированно-недренированное испытание при трехосном сжатии (в зависимости от состава грунта с нарушенной структурой; см. Е.2.15.7), или в приборе кольцевого сдвига (см. Е.5.3).

Прочность на сдвиг грунта с нарушенной структурой также может быть определена вдавливанием миниатюрного индентора (балка, шарик).

Грунт следует формировать при постоянной влажности, как это описано в 10.4.5, а метод подготовки образцов следует указать в отчете.

Е.2.15.9 Чувствительность грунта

Чувствительность грунта $S_t$ представляет собой отношение сопротивления при недренированном сдвиге грунта ненарушенного сложения $s_u$ к сопротивлению сдвигу, определенному на искусственно сформированном образце (в нарушенном сложении) $s_{ur}$, т. е.

$$S_t = s_u/s_{ur}. \qquad (Е.1)$$

### Е.3 Компрессионное сжатие

#### Е.3.1 Общие положения

Испытания методом компрессионного сжатия проводят в компрессионных приборах (одометрах), исключающих возможность бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой в соответствии с ГОСТ 12248.4.

Метод компрессионного сжатия включает в себя компрессионные и консолидационные испытания грунтов. Компрессионные испытания проводят для определения коэффициента сжимаемости $m_0$, секущего одометрического модуля деформации $E_{oed}$, касательного одометрического модуля деформации $E^k_{oed}$, модуля повторного нагружения $E_{ur}$. По результатам компрессионных испытаний определяется зависимость деформации образца от нагрузки.

Консолидационные испытания проводят для определения коэффициентов фильтрационной и вторичной консолидации $c_v$ и $c_a$ соответственно. По результатам консолидационных испытаний определяют зависимость деформации от времени при фиксированном значении нагрузки.

Программу нагружения, а также траектории разгрузки/повторного нагружения, следует выбирать с учетом возможной истории нагружения грунта. Для глинистых грунтов низкой и средней степени переуплотнения результаты этих испытаний также могут использоваться для оценки качества образца, как это описано в 10.5.

Испытания могут выполняться как в условиях ступенчатого нагружения, так и с постоянной скоростью деформации по [29].

Примечание — Испытание с постоянной скоростью деформации может привести к созданию более высоких сжимающих напряжений, чем при стандартном ступенчатом нагружении в течение 24 ч. Испытание с постоянной скоростью деформации допустимым максимальным избыточным поровым давлением в соответствии с [29] приводят к получению значений $\sigma'_p$, примерно на 10 % выше результатов испытаний при ступенчатом нагружении.

#### Е.3.2 Компрессионное сжатие при ступенчатом нагружении

Испытание проводится в соответствии с ГОСТ 12248.4. Определение нагрузки предварительного уплотнения $\sigma'_p$ при компрессионном сжатии проводится в соответствии с ГОСТ Р 58326.

Любое отклонение от этих процедур следует описывать в программе работ. Если требуется цикл разгрузки — повторного нагружения, то в программе также должен быть определен начальный уровень напряжения такого цикла, а также доля его разгрузки.

#### Е.3.3 Компрессионное сжатие с постоянной скоростью деформации

Имеется несколько типов испытаний на компрессионное сжатие с постоянной скоростью деформации. Подготовка образцов проводится так же, как и для испытаний при нагружении ступенями. Особенности испытаний с постоянной скоростью деформации приведены ниже. При использовании другой процедуры подробная информация по оборудованию и методике испытаний должна быть документирована и представлена в отчете.

Для стандартов, предусматривающих приложение противодавления для водонасыщения образца, а также систему измерения порового давления на нижнем торце образца (например, [29]), применяемое оборудование должно позволять прикладывать и контролировать это противодавление. Оно должно позволять нагружать/разгружать образец грунта при установленной постоянной скорости вертикальной деформации. Свободное дренирование на верхнем торце образца допускается только во время нагружения с постоянной скоростью. Поровое давление следует измерять на нижнем торце образца с помощью жесткой системы измерения давления. В качестве проверки изменение объема этого устройства, когда оно полностью насыщено, не должно превышать 2 мм$^3$ при повышении давления с 70 до 100 кПа.

Нагружение должно начинаться с вертикального напряжения, не превышающего 0,25 $\sigma'_{v0}$ (где $\sigma'_{v0}$ — эффективное значение вертикального природного давления), а затем проводится нагружение с постоянной скоростью деформации так, чтобы поровое давление, измеренное на нижнем торце образца, находилось в пределах 3 % — 15 % от приложенного общего вертикального напряжения в диапазоне нормально уплотненного состояния грунта.

Примечание — В [29] предлагается начальное значение скорости деформации 10 % в час для высокопластичных илов, 1 % в час для тугопластичных глинистых грунтов и 0,1 % в час для высокопластичных глинистых грунтов, которые могут подстраиваться в ходе испытания для поддержания порового давления на нижнем торце образца в пределах 3 %—15 % приложенного общего вертикального напряжения.

Если требуется провести цикл разгрузки — повторного нагружения, то начальный уровень напряжения и уровень разгрузки следует указывать в техническом задании. Если выполняется цикл нагружения/разгрузки, то следует дождаться условной стабилизации деформаций при постоянном напряжении перед началом разгрузки, и еще раз — перед началом повторного нагружения.

**Е.3.4 Коэффициент сжимаемости**

Коэффициент сжимаемости ($m_0$) следует вычислять в соответствии с ГОСТ 12248.4.

Примечание — На основе измеренных данных при испытании с постоянной скоростью деформации может быть определен коэффициент фильтрации. Также он может быть определен прямым измерением (например, убывающего напора) в испытании с постоянной скоростью деформации (во время паузы в нагружении) или при ступенчатом нагружении (после окончания основного уплотнения на заданной ступени нагрузки), с использованием специально предназначенного для этого одометра по ГОСТ 25584.

**Е.3.5 Определение горизонтального напряжения**

Испытания, проводящиеся с использованием специально оборудованного одометра, могут использоваться для определения горизонтального напряжения в ходе компрессионного испытания для оценки коэффициента бокового давления грунта в состоянии покоя $K_0$. Такие испытания выполняются на основе той же методики, что и обычные компрессионные испытания. Описание ячейки одометра с системой измерения горизонтального напряжения и размерами образца грунта следует документировать и приводить в отчете.

Значение $K_0$ также может быть определено при трехосном сжатии, как это описано в Е.4.5.3.

Пробоотбор вызывает разгрузку природных напряжений, действующих в массиве. Измеренное в лаборатории значение горизонтального напряжения в переуплотненных грунтах, как правило, меньше, чем вертикальное напряжение в массиве. Поэтому для получения более надежных измерений горизонтального напряжения для нормально уплотненного грунта (т. е. с OCR = 1) вертикальное напряжение в испытании следует повышать значительно за пределы напряжения предварительного уплотнения, а последующее использование одного или нескольких циклов разгрузки-нагрузки позволяет измерить $K_0$ в зависимости от OCR.

**Е.3.6 Представление результатов**

Результаты компрессионных испытаний представляются в соответствии с требованиями ГОСТ 12248.4. Необходимость представления дополнительных результатов, например:

- отношения избыточного порового давления к общему вертикальному напряжению в зависимости от вертикального эффективного напряжения;
- изменения порового давления в зависимости от времени, получаемые при испытаниях с постоянной скоростью деформации, должна быть регламентирована в техническом задании.

Для представления вертикального эффективного напряжения и/или коэффициента фильтрации должны использоваться как линейная, так и полулогарифмическая шкалы. Линейные графики должны иметь достаточное разрешение при низких напряжениях для их точной интерпретации.

Если табличные результаты включают оценку напряжения при предварительном уплотнении, то метод(ы) его определения должен (должны) быть указан(ы) в отчете.

**Е.4 Консолидированные испытания при трехосном сжатии**

**Е.4.1 Общие положения**

Консолидированные испытания при трехосном сжатии выполняются для определения характеристик сдвиговой прочности и деформируемости грунта. Для недренированных испытаний с измерениями порового давления также определяются параметры дилатансии. Для глинистых грунтов от низкой до средней степени переуплотнения испытания на трехосное сжатие с предварительной анизотропной консолидацией при природном напряженном со-

стоянии также могут использоваться для оценки качества образцов, как это описано в 10.5. Ниже описаны общие требования к оборудованию (Е.4.2) и процедурам (Е.4.3— Е.4.6) испытаний при трехосном сжатии.

Основные стадии стандартного испытания при трехосном сжатии включают:

а) подготовку образца;

б) насыщение противодавлением;

в) предварительную консолидацию;

г) девиаторное нагружение.

Испытание может предусматривать статическое или динамическое нагружение. Предварительная консолидация может быть изотропной, анизотропной или одномерной (т. е. $K_0$-консолидацией, которая является специальным видом анизотропной консолидации). Сдвиг, как правило, проводится либо дренированный с измерениями изменений объема или недренированный с измерением вызванного сдвиговым деформированием порового давления.

Статические и динамические испытания при трехосном сжатии следует выполнять согласно ГОСТ 12248.3 и ГОСТ Р 56353, соответственно.

Испытание на одноосное сжатие и неконсолидированно-недренированное испытание при трехосном сжатии описаны в Е.2.15.

**Е.4.2 Оборудование для испытаний**

Е.4.2.1 Камера трехосного сжатия

Уплотнительная втулка и направляющая штока поршня камеры трехосного сжатия должны обеспечивать плавное и соосное перемещение поршня. Если осевая сила измеряется за пределами камеры трехосного сжатия, то поршень, проходящий через верх камеры и его уплотнительная втулка должны обеспечивать трение между ними не более 0,1 % максимального осевого усилия.

Для испытаний на растяжение и при динамических испытаниях соединение поршня с верхним штампом должно противостоять растягивающей силе и обеспечивать минимальную погрешность ее измерения.

Камеры трехосного сжатия подразделяются на типы А и Б в зависимости от способа создания среднего напряжения в образце. В приборе типа А образец со всех сторон подвергается действию давления рабочего тела, т. е. находится в состоянии гидростатического сжатия до приложения дополнительного осевого напряжения. В приборе типа Б напряжение на боковой поверхности ($\sigma_r$) и торцах образца по его вертикальной оси ($\sigma_z$) создаются раздельно.

Анизотропная консолидация в камерах типа А возможна только при $\sigma_z > \sigma_r$ для специальных исследований при $\sigma_z < \sigma_r$, например, для переуплотненных грунтов необходимо использовать приборы типа Б либо предусматривать жесткую связь штока со штампом в камере типа А.

Е.4.2.2 Резиновая мембрана

Толщина и свойства материала резиновой мембраны должны удовлетворять требованиям ГОСТ 12248.3. Необходимые поправки к измеренным величинам напряжений за счет жесткости мембраны не должны превышать такой уровень, чтобы вычисленная коррекция осевых и радиальных напряжений по отношению к сдвиговому напряжению при разрушении была меньше, чем:

- 15 % для $t_f < 12{,}5$ кПа;
- 10 % для $12{,}5 \le t_f \le 25$ кПа;
- 5 % для $t_f > 25$ кПа,

где $t_f$ — сдвиговое напряжение при разрушении.

Е.4.2.3 Фильтровальные диски и бумага

Фильтровальные диски должны иметь плоскую и гладкую поверхность. Их сжимаемость должна быть незначительной по сравнению со сжимаемостью образца. Допускается применение дисков с коэффициентом фильтрации 5—10 м/с. Фильтровальные диски должны проходить регулярную очистку и проверку для сохранения требуемой проницаемости.

Испытания могут выполняться с/без использования бумажных фильтров между образцами и фильтровальными дисками. Полоски фильтровальной бумаги для облегчения бокового дренажа устанавливаются на образце либо вертикально, либо спирально вокруг него. При вертикальной установке боковых бумажных фильтров необходимо вводить поправку к вертикальной силе на сопротивление фильтровальной бумаги. Применение бумажных фильтров документально оформляется в описании методики испытаний.

Подготовленные пористые диски могут быть сухими, влажными или предварительно водонасыщенными; используемый метод подготовки следует документировать в описании методики испытаний. Выбранный метод подготовки фильтров зависит от особенностей возможного взаимодействия образца с водой, например, от того, является ли исследуемый грунт набухающим. Сухие фильтры могут применяться для всех грунтов. Влажные фильтры могут использоваться для неполностью водонасыщенных грунтов. Влажные или водонасыщенные фильтры могут применяться для испытаний водонасыщенных ненабухающих образцов. Влажный фильтровальный диск подготавливается путем удаления избытка воды помещением его на бумажное полотенце на несколько минут с последующей установкой на сухой пьедестал прибора. Водонасыщенные фильтры готовятся путем установки водонасыщенного диска на пьедестал прибора в заполненной водой камере и последующего удаления избыточной воды бумажным полотенцем.

Когда используются сухие фильтры, вода (имеющая ту же минерализацию, что и поровый раствор образца) не должна поступать к фильтру до того, как вертикальное напряжение превысит давление набухания грунта. Следует фиксировать напряжение в момент насыщения фильтра и исключить испарение влаги из образца до насыщения.

Е.4.2.4 Поддержание постоянного давления жидкости

Устройство для поддержания на постоянном уровне давления в камере, а также порового давления в ходе консолидации, должно отвечать требованиям ГОСТ 12248.3. Разница давления в камере и порового давления ниже 25 кПа должна поддерживаться постоянной с точностью ± 0,7 кПа.

Е.4.2.5 Силовая рама

Силовая рама установки для статических или динамических испытаний должна соответствовать требованиям ГОСТ 30416, ГОСТ 12248.3 и ГОСТ Р 56353.

Е.4.2.6 Измерительные устройства

Е.4.2.6.1 Сила

Силоизмеряющие устройства должны соответствовать требованиям ГОСТ 30416, ГОСТ 12248.3 и ГОСТ Р 56353.

Е.4.2.6.2 Давление

Устройства для измерения давления должны соответствовать требованиям ГОСТ 30416, ГОСТ 12248.3 и ГОСТ Р 56353.

Для оценки необходимой жесткости системы измерения порового давления могут использоваться следующие ориентировочные значения:

- для статических испытаний: $\Delta V_{ms}/(V \cdot \Delta u) = 0{,}5 \cdot 10^{-6}$ м$^2$/Кн; (Е.2)

- для динамических испытаний: $\Delta V_{ms}/(V \cdot \Delta u) = 0{,}1 \cdot 10^{-6}$ м$^2$/Кн, (Е.3)

где $\Delta V_{ms}$ — изменение объема системы измерения порового давления за счет изменения порового давления, м$^3$;

$\Delta u$ — изменение порового давления, кН/м$^2$;

$V$ — общий объем образца, м$^3$.

Примечание — При испытании глинистых грунтов использование локальной системы измерения порового давления (в центральной части образца) минимизирует эффекты частичного выравнивания порового давления в ходе недренированных сдвиговых испытаний и обеспечивает более точные измерения порового давления.

Е.4.2.6.3 Деформация

Устройства для измерения деформаций образцов должны соответствовать требованиям ГОСТ 30416 и ГОСТ 12248.3.

Примечание — Стандартные внешние измерения смещений часто бывают ненадежными ниже уровней осевой деформации примерно 0,5 %, особенно для жестких грунтов, за счет таких факторов как деформации оборудования и фильтров, наклон образца и др.

Системы локального (на теле образца) контроля смещений обеспечивают более точные измерения небольших деформаций вплоть до 0,001 % от начальной высоты образца. Если техническим заданием требуется точное измерение малых деформаций, то следует использовать систему локальных датчиков перемещения.

При проведении динамических испытаний система регистрации деформации должна обеспечивать ее измерение в диапазоне двойной амплитуды не менее 15 % от высоты образца до начала динамического нагружения.

Е.4.2.7 Сбор данных

Регистрацию измеряемых величин при статических испытаниях (осевой силы, осевого смещения, давления в камере и порового давления) проводят до разрушения образца или до достижения заданного значения напряжения или деформации. Частота регистрации измеряемых величин при динамическом нагружении должна обеспечивать представление их изменений в каждом цикле воздействия.

**Е.4.3 Подготовка образцов для испытаний при трехосном сжатии**

Подготовку образцов к испытаниям в условиях трехосного сжатия проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 12248.3 и ГОСТ 30416.

**Е.4.4 Насыщение противодавлением**

Насыщение образцов противодавлением при необходимости проводят в соответствии с ГОСТ 12248.3.

**Е.4.5 Предварительная консолидация**

Е.4.5.1 Общие положения

Методы определения напряжений при консолидации ($\sigma'_v$, $\sigma'_h$) следует указывать в техническом задании. Наиболее распространенные варианты включают рекомпрессию до расчетных значений природных эффективных напряжений на основе метода рекомпрессии или SHANSEP, включающих уплотнение до нормально уплотненного состояния и состояний различной степени переуплотнения в зависимости от программы испытаний.

Для точного определения жесткости грунта при малых деформациях важным аспектом является воспроизведение истории нагружения грунта в ходе консолидации, и в техническом задании следует задавать траекторию такого нагружения.

Е.4.5.2 Изотропная консолидация

Изотропная консолидация грунта проводится в целом в соответствии с требованиями ГОСТ 12248.3.

Заданное эффективное напряжение изотропного уплотнения при рекомпрессии не должно быть равно вертикальному эффективному природному напряжению, особенно для мягких глинистых грунтов, значения $K_0$ которых существенно ниже 1. Это может вызвать значительные объемные деформации при консолидации и привести к завышению измеренного сопротивления сдвигу. В этом случае изотропное напряжение может приниматься равным среднему природному эффективному напряжению. Для воссоздания природного напряженного состояния грунта следует использовать анизотропную консолидацию с учетом имеющейся оценки величины $K_0$ (см. Е.4.5.3).

Качество образца контролируется по скорости объемной ползучести при выходе на стадию вторичной консолидации — ее скорость не должна превышать 0,006 %/ч. В случае больших значений скорость объемной ползучести должна быть измерена и указана в отчете. При измерении модуля деформации и порового давления в диапазоне малых деформаций необходимо дождаться выполнения указанного условия. В остальных случаях фаза сдвига может быть начата по окончании фильтрационной консолидации.

Е.4.5.3 Анизотропная и $K_0$-консолидация

Е.4.5.3.1 Предварительную анизотропную консолидацию грунта в камере трехосного сжатия типа А проводят при напряжениях, соответствующих условиям залегания испытуемого грунта с учетом природной и дополнительной нагрузки. При анизотропной консолидации отношение главных эффективных напряжений $\sigma'_1/\sigma'_3 \neq 1{,}0$ приводит к определенному сдвиговому деформированию грунта.

Е.4.5.3.2 Значения и соотношение главных напряжений грунта в массиве могут существенно варьироваться в зависимости от глубины, степени переуплотнения грунта и других обстоятельств, имея часто критическое значение для надежной экспериментальной оценки поведения грунтов. Величину отношения $\sigma'_1/\sigma'_3$ задают соответствующим соотношением давления в камере и осевого усилия. При консолидации до природного напряженного состояния осевое напряжение $\sigma'_1$ принимают равным эффективному значению вертикального природного напряжения $\sigma'_{v0}$ на глубине опробования испытуемого грунта в массиве.

Горизонтальное напряжение рассчитывают по формуле

$$\sigma'_3 = K_0 \cdot \sigma'_{v0}, \tag{Е.4}$$

где $K_0$ — коэффициент бокового давления покоя грунта, который следует предварительно определять экспериментально при уплотнении грунта до природного напряженного состояния при отсутствии радиальных деформаций.

Е.4.5.3.3 Для нормально уплотненных несвязных грунтов значение $K_0$ может быть получено расчетом по формуле

$$K_0 = 1 - \sin\varphi', \tag{Е.5}$$

где $\varphi'$ — эффективное значение угла внутреннего трения грунта.

При невозможности определения или расчета значения коэффициента бокового давления покоя для нормально уплотненных грунтов допускается принимать:

- $K_0 = 0{,}5$ — для несцементированных песков;
- $K_0 = 1{,}0$ — для глинистых грунтов мягкопластичной и текучепластичной консистенций, а также илов и торфов;
- $K_0 = 0{,}7$ — для всех остальных дисперсных грунтов.

Для переуплотненных грунтов значение $K_0$ следует определять экспериментально.

Е.4.5.3.4 Анизотропная консолидация проводится после завершения изотропного обжатия в соответствии с ГОСТ 12248.3. Осевое давление передают ступенями в соответствии с таблицей Е.1.

Таблица Е.1 — Осевое давление

| Грунты | Давление в камере $\sigma_3$, кПа | Ступени вертикального давления $\Delta\sigma_1$, кПа |
|---|---|---|
| Пески гравелистые независимо от плотности, пески крупные и средней крупности плотные.<br>Глины с $I_L \leq 0{,}25$ | До 500 | $0{,}2\sigma_3$ |

*Окончание таблицы Е.1*

| Грунты | Давление в камере $\sigma_3$, кПа | Ступени вертикального давления $\Delta\sigma_1$, кПа |
|---|---|---|
| Пески средней крупности рыхлые и средней плотности, пески мелкие плотные и средней плотности.<br>Глинистые: супеси и суглинки с $I_L \le 0,5$;<br>глины с $0,25 < I_L \le 0,5$ | До 300 | $0,1\sigma_3$ |
| Пески мелкие рыхлые, пески пылеватые независимо от плотности.<br>Глинистые: супеси, суглинки, глины с $I_L > 0,5$ | До 200 | $0,1\sigma_3$ |
| Органоминеральные и органические грунты | До 100 | $0,05\sigma_3$ |
| Примечания<br>1 При значениях давления в камере, больших указанных в настоящей таблице, ступени давления принимают равными 10 % конечного давления.<br>2 Вертикальное давление прикладывают через 15 мин после достижения заданного давления в камере. | | |

Е.4.5.3.5 При консолидации до уровня нагрузок от сооружения сначала следует провести уплотнение до начального природного напряженного состояния, а затем продолжить консолидацию в соответствии с таблицей Е.1 при дополнительных нагрузках.

Е.4.5.3.6 Объемная деформация при консолидации контролируется по изменению отжатой жидкости. Пересчет текущего коэффициента пористости грунта и размеров образца обычно ведется автоматически. Данные консолидации на момент ее окончания заносят в протокол испытаний. Консолидацию ведут до полного завершения фильтрационных процессов. Для водонасыщенных грунтов за критерий окончания фильтрационной консолидации образца может быть также принято условие изменения объемной деформации не более 0,3 % за последние 4 ч.

Примечание — Если осевая деформация образца при анизотропной консолидации превысила 5 %, это означает, что значение $K_0$ определено неверно.

Скорость объемной деформации перед началом сдвига должна удовлетворять критериям проверки устойчивости, как это указано в Е.4.5.2.

$K_0$-консолидация представляет собой специальный тип анизотропного уплотнения с условиями одномерной деформации (т. е. $\varepsilon_{vol} = \varepsilon_a$). Ее процедура и требования по контролю и регулированию эффективного напряжения, используемого для $K_0$-консолидации, должны указываться в техническом задании.

Е.4.5.3.7 Определение коэффициента бокового давления в состоянии покоя $K_0$

Определение коэффициента бокового давления в состоянии покоя выполняется для связных грунтов с числом текучести $I_L < 0,75$ при полном водонасыщении либо при естественной влажности. Определение $K_0$ для нормально уплотненных грунтов проводится в камерах типа А и камерах типа Б. Определение $K_0$ для переуплотненных грунтов проводится в камерах типа Б. Коэффициент бокового давления $K_0$ в состоянии покоя характеризует соотношение между горизонтальными и вертикальными напряжениями в образце в состоянии покоя (при отсутствии деформаций образца). Определение коэффициента бокового давления выполняется для образцов ненарушенной структуры.

Для определения коэффициента бокового давления в камерах типа А необходимо жесткое соединение штока с верхним штампом, не допускающее образование зазора между ними.

В камерах типа А определение коэффициента бокового давления выполняется путем ступенчатого увеличения давления в камере прибора при закрытых дренажах. Величина ступени составляет 25 кПа. В ходе приложения ступени всестороннего давления путем создания девиатора напряжений компенсируется возникающая объемная деформация образца таким образом, чтобы радиальная деформация $\varepsilon_3$ отсутствовала (диаметр образца не менялся). Величина относительной радиальной деформации рассчитывается в соответствии с ГОСТ 12248.3. После стабилизации деформаций операция повторяется.

Величина ступени всестороннего давления и время стабилизации на последней ступени принимается в соответствии с Е.4.5.3.4.

Испытание прекращается, когда значение вертикального напряжения достигает расчетного значения вертикального природного давления на глубине отбора образца. Коэффициент бокового давления $K_0$ определяется как отношение достигнутого после стабилизации давления в камере $\sigma_r$ к вертикальному давлению $\sigma_z$ на образец с учетом достигнутого порового давления.

$$K_0 = \frac{\sigma'_r}{\sigma'_z} = \frac{\sigma_r - u}{\sigma_r - u + q}. \qquad (Е.6)$$

Примечание — В камерах типа Б определение коэффициента бокового давления выполняется путем ступенчатого увеличения давления в камере прибора при закрытых дренажах.

После окончания испытаний строится график зависимости $\sigma'_r = f(\sigma'_z)$. Пример графика для переуплотненного грунта приведен на рисунке Е.1. Для нормально уплотненного грунта приводится только ветвь нагрузки.

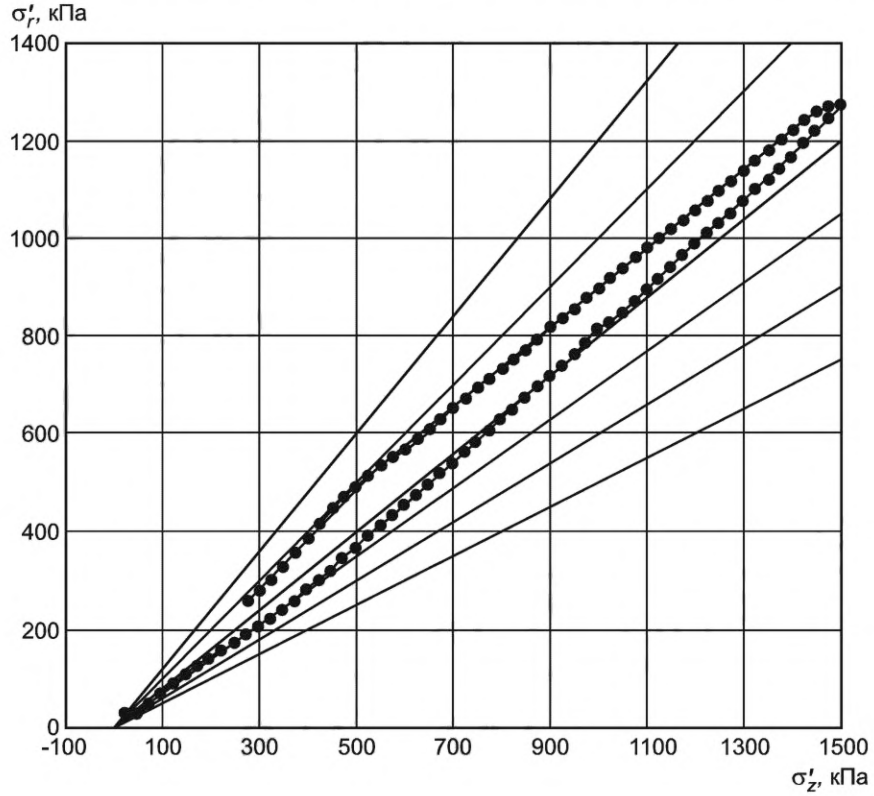



Рисунок Е.1 — Пример графического оформления результатов испытания переуплотненного грунта

Коэффициент бокового давления $K_0$ считается на каждой ступени по формуле

$$K_0 = \frac{\Delta\sigma'_r}{\Delta\sigma'_z}. \quad (E.7)$$

Для нормально уплотненных грунтов за коэффициент $K_0$ принимается коэффициент, рассчитанный на последней ступени нагрузки.

Для переуплотненных грунтов за коэффициент $K_0$ принимается коэффициент, рассчитанный на последней ступени разгрузки.

**Е.4.6 Статическое испытание**

Е.4.6.1 Общие положения

Испытание может включать сжатие [укорочение образца (наиболее распространенное испытание) или растяжение (удлинение образца)] со следующими вариантами нагружения/разгрузки:

а) трехосное сжатие (ТС):

1) нагружение — увеличение полного осевого напряжения при сохранении полного постоянного радиального напряжения;

2) радиальная разгрузка — уменьшение полного радиального напряжения при сохранении полного осевого напряжения;

б) трехосное расширение (ТЕ):

1) нагрузка — увеличение полного радиального напряжения при сохранении полного постоянного осевого напряжения;

2) осевая разгрузка — уменьшение полного осевого напряжения при сохранении постоянного полного радиального напряжения.

В ходе сдвига регистрируются показания всех измерительных устройств для получения кривых «напряжения—деформации» и траекторий нагружения.

Если не указано иное, то испытание продолжают до момента разрушения образца (достижения максимального девиатора напряжений $q_f$ или до достижения относительной вертикальной деформации образца $\varepsilon_1 = 0{,}15$, в зависимости от того, что наступит раньше).

В подпунктах Е.4.6.2 — Е.4.6.4 кратко указаны наиболее распространенные испытания на сдвиг методом трехосного сжатия.

Е.4.6.2 Консолидированно-дренированные (КД) испытания

Консолидированно-дренированные испытания для определения прочностных характеристик грунтов проводят в соответствии с ГОСТ 12248.3.

Е.4.6.3 Консолидированно-недренированные (КН) испытания

Консолидированно-недренированные испытания для определения прочностных характеристик грунтов проводят в соответствие с ГОСТ 12248.3. Для некоторых проектов может потребоваться информация по влиянию скорости нагружения на сопротивление грунта недренированному сдвигу. В таких случаях может потребоваться выполнение испытания с несколькими различными скоростями деформации.

Е.4.6.4 Консолидированные испытания при постоянном объеме (CCV)

При трехосных CCV-испытаниях в ходе фазы сдвига поровое давление должно поддерживаться постоянным, а давление в камере регулируется таким образом, что в образце не происходит изменения объема.

Максимальная скорость осевого смещения выбирается такой же, как при КН-испытаниях с измерением порового давления.

В ходе испытаний регистрируются:

- время от начала опыта;
- осевое усилие;
- вертикальное смещение;
- поровое давление;
- давление в камере.

Остальные требования соответствуют Е.4.6.3.

**Е.4.7 Динамическое испытание**

Динамическое трехосное сжатие проводится в соответствии с ГОСТ Р 56353.

Если не указано иное, то испытание по динамическому трехосному сжатию выполняется как испытание с контролем напряжений.

**Е.4.8 Извлечение образца после испытания**

После окончания испытания образец разгружают, сбрасывают давление в камере и сливают рабочую жидкость. Образец грунта извлекают из камеры и отбирают из него пробы для контрольного определения влажности. При необходимости проводят контрольное взвешивание образца, измеряют его объем и линейные размеры. Для фиксации характера разрушения образец фотографируют.

Примечание — Фотографирование образца несвязного грунта проводят без снятия оболочки, непосредственно на месте его установки.

**Е.4.9 Представление результатов испытаний**

Состав и форма представления результатов трехосных испытаний должны соответствовать положениям ГОСТ 12248.3 и ГОСТ Р 56353.

**Е.5 Сдвиговые испытания**

**Е.5.1 Общие положения**

Испытания на сдвиг включают в себя приложение горизонтальной сдвигающей силы к испытываемому образцу и приводят к вращению осей главных напряжений в ходе испытания. Три наиболее распространенных метода испытаний на сдвиг включают:

- простой сдвиг (DSS), когда верх образца скашивается горизонтально по отношению к низу (режим простой деформации);
- кольцевой сдвиг (RS), когда нижняя и верхняя части полого образца в форме кольца сдвигаются посредством вращения;
- плоскостной срез (DS), когда верхняя и нижняя половинки образца смещаются по отношению друг к другу в горизонтальном направлении.

Во всех трех испытательных схемах образец грунта предварительно уплотняется в условиях невозможности бокового расширения. И дренированные, и недренированные сдвиговые испытания могут выполняться в устройстве простого сдвига, хотя наиболее распространены недренированные испытания [при постоянном объеме (CCV)]. Испытания RS и DS обычно выполняются в дренированных условиях. В приборе простого сдвига могут выполняться как статические, так и динамические испытания.

**Е.5.2 Испытания на простой сдвиг (DSS)**

Е.5.2.1 Оборудование для испытаний

Е.5.2.1.1 Общие положения

Испытания следует выполнять согласно [30], [31], ГОСТ Р 56353.

Е.5.2.1.2 Фиксация образца по боковой поверхности

Образец должен быть жестко зафиксирован по горизонтали, чтобы обеспечить отсутствие латеральных деформаций при консолидации, а также постоянную площадь поперечного сечения в ходе всего опыта. Это обеспечивается мембранами, армированными тонкой стальной нитью, или стопкой тонких колец, поддерживающих гибкую мембрану снаружи. Подробности фиксации образца следует документировать и указывать в техническом задании. Если используется армированная резиновая мембрана, то в отчете должны указываться ее диаметр, допустимый изгиб и предельное напряжение сдвига, а также максимально допустимое вертикальное напряжение при уплотнении.

Некоторые виды оборудования для DSS используют только гибкие мембраны, что требует их размещения в камере для приложения обжимающего давления. Такое оборудование не позволяет контролировать эффективные напряжения в ходе уплотнения, и возможность его использования следует указывать в техническом задании.

Диаметр мембраны не должен отличаться более чем на 0,1 мм от диаметра готового образца.

Е.5.2.1.3 Фильтровальные диски

Фильтровальные диски должны иметь плоскую и гладкую поверхность. Если существует вероятность проскальзывания между образцом и фильтровальным диском, поверхность последнего должна быть модифицирована, чтобы избежать этого, например, с помощью коротких (1,5 мм) тонких штырей, прикрепленных к фильтровальным дискам. Сжимаемость фильтровальных дисков должна быть несущественной по сравнению со сжимаемостью образца. Допускается применение фильтровальных дисков с коэффициентом фильтрации 5—10 м/с. Проницаемость дисков должна регулярно контролироваться.

Подготовленные пористые диски могут быть сухими, влажными или предварительно водонасыщенными. Используемый метод подготовки следует документировать в описании методики испытаний. Выбранный метод подготовки фильтров зависит от особенностей возможного взаимодействия образца с водой, например является ли исследуемый грунт набухающим. Сухие фильтры могут применяться для всех грунтов. Влажные фильтры могут использоваться для не полностью водонасыщенных грунтов. Влажные или водонасыщенные фильтры могут применяться для испытаний водонасыщенных ненабухающих образцов. Влажный фильтровальный диск подготавливается путем удаления избытка воды помещением его на бумажное полотенце на несколько минут с последующей установкой на сухой пьедестал прибора. Водонасыщенные фильтры готовятся путем установки водонасыщенного диска на пьедестал прибора в заполненной водой камере и последующего удаления избыточной воды бумажным полотенцем.

Когда используются сухие фильтры, вода (имеющая ту же минерализацию, что и поровый раствор образца) не должна поступать к фильтру до того, как вертикальное напряжение превысит давление набухания грунта. Следует зафиксировать напряжение в момент насыщения фильтра и исключить испарение влаги из образца до насыщения.

Для образцов грунтов ненарушенного сложения, водонасыщенных в условиях естественного залегания, вода может быть подведена к фильтру вскоре после приложения начальной нагрузки, которая должна быть немедленно увеличена при необходимости для предотвращения набухания. Необходимо предотвратить испарение из образца за счет использования водяной бани или бюреты, соединенной с верхним штампом и основанием и заполненной водой до высоты образца.

Е.5.2.1.4 Статическая система горизонтального нагружения

Система горизонтального нагружения должна быть способна плавно прикладывать к образцу линейно нарастающее смещение или силу с переменной скоростью. Фактическая скорость не должна отклоняться более чем на ± 10 % от требуемого значения.

Внутреннее трение в системе приложения горизонтальной нагрузки не должно превышать 1,5 Н.

Е.5.2.1.5 Динамическая (циклическая) система горизонтального нагружения

Система нагружения должна представлять собой оборудование для динамических испытаний по трехосному сжатию с контролем нагрузки (если иное не указано в задании). При динамическом нагружении образец испытывается в недренированных условиях.

В этих испытаниях разрушение образца фиксируется в соответствии с требованиями [31] на основе критерия максимальной амплитуды динамической сдвиговой деформации либо по соотношению приведенного динамического сдвигового напряжения с прочностью, определенной в сопутствующем статическом испытании на простой сдвиг.

Система нагружения должна иметь возможность создавать напряжения с частотами 0,01—0,5 Гц. Оборудование должно поддерживать постоянную форму волны нагружения, амплитуду и частоту напряжений в ходе испытаний.

Образцы грунта должны испытываться при синусоидальной знакопеременной сдвиговой нагрузке.

Система нагружения для динамических испытаний должна иметь техническое описание с указанием типа системы нагружения, производительности (по нагрузке, смещению, частоте), точности, условий соединения штока с поршнем, а также порядка технического обслуживания установки.

Е.5.2.1.6 Система вертикального нагружения

Система вертикального нагружения должна быть способна прикладывать необходимую вертикальную нагрузку при уплотнении, а также контролировать ее в ходе сдвига при постоянном объеме, когда невозможно жесткое пассивное ограничение изменения высоты образца.

Внутреннее трение в системе приложения вертикальной нагрузки не должно превышать 1,5 Н.

Если установка оборудована автоматическим механизмом контроля вертикальной нагрузки, то подробная информация об этом механизме при необходимости должна приводиться с указанием точности, скорости действия и иных основных рабочих характеристик.

Для устройств с пассивным (механическим) контролем постоянной высоты образца описание и документация этого оборудования должны быть приведены в отчете.

Е.5.2.1.7 Силоизмерительные устройства

Горизонтальная сила, прикладываемая к образцу, должна измеряться с точностью не менее ± 2 % от пикового значения при разрушении.

Для динамического (циклического) нагружения нелинейность и гистерезис измерительного преобразователя горизонтальной силы не должны превышать 0,25 % полного диапазона измерений, а воспроизводимость измерений должна быть не менее 99,9 %.

Е.5.2.1.8 Измерители деформации

Вертикальная деформация образца в ходе уплотнения должна измеряться с точностью не менее ± 0,01 % от исходной высоты образца. Измеряемая вертикальная деформация в испытании должна корректироваться на деформацию установки, которую следует определять калибровкой с помощью металлического вкладыша вместо образца.

Примечание — Коррекция на деформацию установки обычно имеет значение только для сравнительно жестких грунтов.

Сдвиговая деформация образца должна измеряться с точностью не менее ± 0,01 %. Необходимо учитывать возможные погрешности измерения.

Для динамических испытаний измерители горизонтальной деформации должны иметь диапазон двойной амплитуды не менее 20 %.

Для обеспечения испытания с постоянным объемом высота образца должна поддерживаться постоянной с точностью ± 0,05 % от его начальной высоты после консолидации.

Е.5.2.1.9 Система сбора данных

При статических испытаниях значения соответствующих параметров должны обеспечивать регистрацию минимум 100 значений для полной диаграммы нагружения.

При динамических испытаниях система сбора данных должна обеспечить регистрацию не менее 50 значений всех контролируемых параметров за каждый цикл. К числу контролируемых параметров относятся:

- горизонтальная сила;
- горизонтальное смещение (динамическое и постоянное);
- изменение вертикальной нагрузки (для испытаний при постоянном объеме);
- изменение высоты в ходе уплотнения образца и в ходе сдвига (для дренированных испытаний).

Е.5.2.2 Подготовка образцов

Минимальный диаметр образца должен составлять 45 мм, минимальная высота — 12 мм, а отношение высоты к диаметру не должно превышать 0,4. Торцы образца должны быть плоскими и перпендикулярными к его вертикальной оси.

Образцы ненарушенного сложения для сохранения их влажности должны готовиться в помещении с относительной влажностью не ниже 80 %.

Испытательная лаборатория должна иметь разработанные процедуры подготовки и установки:

- образцов ненарушенного сложения, способных сохранять форму при установке;
- образцов ненарушенного сложения, не сохраняющих форму без обоймы при установке;
- восстановленных образцов песков;
- восстановленных образцов илов и глинистых грунтов.

Е.5.2.3 Стадия предварительной консолидации

Вертикальное напряжение при консолидации ($\sigma'_{vc}$) должно указываться в техническом задании. Наиболее общие случаи консолидации включают рекомпрессию до расчетного значения природного эффективного напряжения или методом SHANSEP, с уплотнением до нормально уплотненного состояния и состояний различной степени переуплотнения в зависимости от программы испытаний.

Если используется метод рекомпрессии, то образец сначала нагружается до приблизительно 75 % — 80 % предварительно оцененного напряжения предварительного уплотнения, а затем разгружается до вертикального природного эффективного напряжения. Такое предварительное нагружение необходимо, чтобы создать в образце более реалистичное горизонтальное напряжение.

Консолидацию следует продолжать по крайней мере до окончания фильтрационной стадии. Образцы глинистых грунтов следует выдерживать перед испытанием при конечном значении вертикальной нагрузки приблизительно в течение 24 ч.

Е.5.2.4 Статический сдвиг

Е.5.2.4.1 Общие положения

Если не указано иное, то статическое испытание на сдвиг может быть остановлено, когда горизонтальное напряжение спадает на 20 % относительно пикового значения или достигается деформация, превышающая ее значение на 10 % при пиковом горизонтальном напряжении, в зависимости от того, что наступает раньше. Следует контролировать отсутствие относительного смещения между торцевыми поверхностями образца и штампов.

В ходе испытания с постоянным объемом образца (CCV) должны регистрироваться следующие параметры:

- время с начала испытания;
- горизонтальная сила;
- горизонтальное смещение;
- вертикальная сила;
- вертикальное смещение.

Е.5.2.4.2 Консолидированный сдвиг при постоянном объеме (CCV)

При испытаниях с постоянным объемом высота образца должна сохраняться постоянной в пределах, указанных в Е.5.2.1.6 для вертикальных систем нагружения. Должна использоваться скорость горизонтальной деформации, соответствующая типу грунта. Для глинистых грунтов горизонтальная скорость деформации должна быть равна приблизительно 5 % в час.

Для некоторых проектов может потребоваться информация по влиянию скорости нагружения на сопротивление грунта недренированному сдвигу. В таких случаях может потребоваться выполнить испытания с несколькими различными скоростями деформации.

Е.5.2.4.3 Дренированные испытания

Дренированные испытания следует выполнять с горизонтальной скоростью деформации 10 % от скорости деформации при испытаниях с постоянным объемом, которая для глинистых грунтов составляет приблизительно 0,5 % в час. Вертикальная нагрузка на образец должна поддерживаться постоянной в ходе испытания при свободном дренировании образца.

Е.5.2.5 Динамические (циклические) испытания

Динамическое испытание при простом сдвиге может проводиться с контролем напряжений или с контролем деформаций. Динамическое испытание должно быть недренированным с частотой нагружения, выбираемой в зависимости от исследуемых проблем.

Протокол динамического испытания должен включать:

- определение критерия разрушения;
- амплитуду и средний уровень динамического напряжения (для испытаний с контролем напряжений), динамической деформации при разрушении или максимальное число циклов;
- динамический и средний уровень деформации для испытаний с контролем деформаций, максимальное число циклов до разрушения;
- частоту нагружения;
- количество выполненных циклов;
- наличие предварительного сдвигового деформирования.

Е.5.2.6 Изъятие образца

После прекращения испытания горизонтальные и вертикальные напряжения должны быть сброшены до нуля, вода должна быть выпущена из фильтров, а образец осторожно вынут из испытательной установки с последующим определением его влажности.

Е.5.2.7 Представление результатов испытаний

Е.5.2.7.1 Общие положения

Результаты испытания следует представлять в форме графиков и таблиц по наиболее значимым параметрам, измеренным в ходе каждого испытания.

Е.5.2.7.2 Консолидация

Результаты должны быть представлены в виде кривой консолидации. Кроме того, следует привести:

- эффективное вертикальное напряжение консолидации (максимальные и минимальные значения, если образец нагружался с разгрузкой или было выполнено SHANSEP испытание),
- вертикальную деформацию при уплотнении (максимальные и минимальные значения, если образец нагружался с разгрузкой или было выполнено SHANSEP испытание).

Е.5.2.7.3 Статические испытания

Результаты статических испытаний на простой сдвиг следует представлять в виде графиков:

- сдвигового напряжения в зависимости от сдвиговой деформации;
- порового давления (изменения вертикального напряжения) в зависимости от сдвиговой деформации;
- зависимости сдвиговой деформации от вертикального напряжения;

- модуля сдвига (G) в зависимости от сдвиговой деформации (сдвиговая деформация дается по логарифмической шкале).

Кроме того, должны быть указаны:

- максимальное сдвиговое напряжение;
- сдвиговая деформация и вертикальное эффективное напряжение при максимальном сдвиговом напряжении.

Е.5.2.7.4 Динамические испытания

Результаты динамических испытаний должны включать следующие зависимости:

- максимальную и минимальную сдвиговую деформацию в зависимости от количества циклов для испытаний с контролем напряжений;
- максимальные и минимальные сдвиговые напряжения в зависимости от количества циклов, для испытаний с контролем деформаций;
- сдвиговое напряжение в зависимости от эффективного осевого напряжения;
- средние и динамические сдвиговые напряжения в зависимости от количества циклов для испытаний с контролем напряжений;
- средние и динамические сдвиговые деформации в зависимости от количества циклов для испытаний с контролем деформаций;
- относительное поровое давление при нулевой сдвиговой нагрузке в зависимости от количества циклов.

Для каждого динамического испытания при необходимости также должна быть представлена в табличной форме следующая информация:

- средние и динамические сдвиговые напряжения для испытаний с контролем напряжений;
- средние и динамические сдвиговые деформации для испытаний с контролем деформаций;
- количество циклов до разрушения;
- максимальные и минимальные сдвиговые деформации и поровое давление при нулевой сдвигающей нагрузке в цикле разрушения для испытаний с контролем напряжений.

**Е.5.3 Кольцевой сдвиг (RS)**

Е.5.3.1 Общие положения

Испытание грунта в условиях кольцевого сдвига используется для исследования развития сдвиговых напряжений в образце или вдоль границы раздела между грунтом и элементом сооружения при больших деформациях. Испытание грунта на кольцевой сдвиг следует выполнять согласно [32] или [33]. Наиболее распространенными типами оборудования для таких испытаний являются устройства Бишопа и Бромхеда.

Е.5.3.2 Испытания грунта

Образец может быть вырезан из грунта ненарушенного сложения или скомпонован из нескольких срезов (или секторов) и затем обрезан до круглой формы при вращении. Испытание также может выполняться на образце с нарушенной структурой.

Процедуры подготовки пористых фильтров и уплотнения аналогичны испытаниям при простом сдвиге, как это описано в Е.5.2.

Дренированные испытания следует проводить при скорости сдвига, обеспечивающей незначительное или нулевое избыточное поровое давление.

Недренированные испытания могут выполняться при постоянном объеме, как это описано для испытаний на простой сдвиг в Е.5.2, при условии отсутствия потерь грунта из обоймы с образцом при сдвиге. Недренированные испытания также могут выполняться со скоростью сдвига, не допускающей дренирования.

Примечание — Использование большой скорости сдвига в недренированных условиях связано с потенциальной возможностью влияния эффектов скорости деформации на измеряемое сопротивление сдвигу.

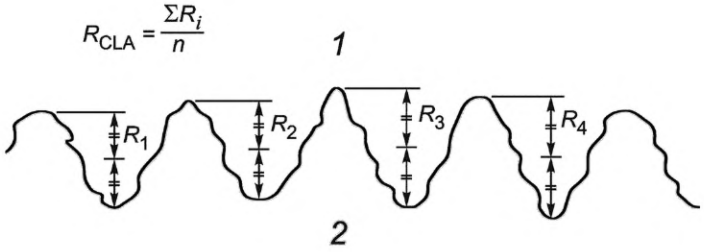
Е.5.3.3 Испытание на кольцевой сдвиг по контакту «грунт — сталь»

Е.5.3.3.1 Общие положения

Испытание на кольцевой сдвиг по границе контакта «грунт — сталь» используется в некоторых методах проектирования свай.

Это испытание не может применяться к грунтам более крупнозернистым, чем песок средней крупности.

Использующийся стальной кольцевой разделительный материал и его шероховатость должны быть указаны в проетных документах. При отсутствии таких указаний следует использовать осредненную величину шероховатости $R_{CLA}$, равную 10 нм (Centre Line Average, CLA) (рисунок Е.2).




*1* — стальная поверхность; *2* — поверхность грунта; $R_{CLA}$ — осредненная величина (линия) шероховатости; $R_i$ — частное значение шероховатости; *n* — количество измеренных значений шероховатости

Рисунок Е.2 — Идеализированное представление линии осредненной линии шероховатости

Подготовка пористых фильтров аналогична их подготовке в испытании на простой сдвиг, как это описано в Е.5.2.

Е.5.3.3.2 Подготовка образцов

Связные грунты не должны сушиться на воздухе, их нужно помещать непосредственно в кольцевую обойму после формования руками при естественной влажности. Если крупные частицы грунта могут повлиять на результаты испытаний (из-за масштабного эффекта в установке), то их следует удалить до формования и отметить этот факт при представлении результатов.

Если связный грунт слишком прочен для формования руками, то необходимо смешать пробу с дистиллированной водой (при отсутствии естественной поровой воды грунта) при влажности, соответствующей показателю текучести грунта в пределах 0,0—0,2. И наоборот, если грунт может быть подвержен сильной деформации в ходе уплотнения, то пробе следует позволить высохнуть на воздухе до влажности, соответствующей показанию текучести между 0,0 и 0,2.

Пробы грунта от мелкого песка до песка средней крупности засыпаются непосредственно в обойму прибора.

Грунт следует укладывать в обойме не менее чем в два слоя, равномерно уплотняя каждый слой пальцами. Особого внимания требует минимизация возможности попадания воздуха в образец, не допускаются любые неровности грунта на поверхности контакта.

Е.5.3.3.3 Уплотнение

Полное вертикальное (нормальное) напряжение, которое будет приложено к образцу, следует указывать в техническом задании. Это напряжение следует создавать ступенями, согласно Е.3.

Для устройств Бромхеда и Бишопа следует использовать минимальное вертикальное напряжение 50 кПа для снижения погрешностей, связанных с трением по боковым стенкам обоймы; для устройства Бромхеда вертикальная деформация при уплотнении не должна превышать 15 %.

Е.5.3.3.4 Сдвиг

Фаза сдвига включает два этапа. На первом этапе образец подвергается серии быстрых сдвигающих импульсов для общего смещения не менее чем на 1 м. Импульсы должны вызывать смещения приблизительно на 200 мм со скоростью 500 мм/мин и разделяться периодами пауз (при нулевом сдвиговом напряжении) в течение примерно 3 мин в установке Бромхеда и приблизительно 10 мин в установке Бишопа.

Если наблюдается существенное отжимание/потеря грунта между ограничительным кольцом и поверхностью контакта в ходе первого этапа сдвига (это показывают значительные изменения высоты образца), то скорость быстрого сдвигообразования следует снизить и/или следует снизить предполагаемое смещение на этой скорости, или зазор между кольцом и поверхностью контакта в установке Бишопа следует закрыть. Это следует отметить при представлении результатов испытаний.

В конце первого этапа сдвига необходимо дать полностью рассеяться возникшему избыточному поровому давлению. Затем образец должен быть переуплотнен перед началом второго этапа сдвига. Вертикальное напряжение следует указать в техническом задании и создавать ступенями, как это указано в Е.3.

Второй этап сдвига следует выполнять с низкой скоростью, обеспечивающей дренирование образца при смещении, пока не будет достигнуто остаточное сопротивление сдвигу, для которого обычно требуется смещение более 10 мм. Скорости смещения, необходимые для обеспечения полностью дренированных условий в пластичных глинистых грунтах, обычно составляют 0,02 мм/мин и 0,005 мм/мин в установках Бромхеда и Бишопа, соответственно.

Е.5.3.4 Представление результатов испытаний

В ходе испытания на кольцевой сдвиг регистрируются следующие параметры:

- время;
- крутящий момент;
- угол поворота;
- вертикальная сила (для сдвига с постоянным объемом);

- вертикальное смещение;
- скорость сдвига.

Результаты испытания кольцевым сдвигом следует представлять в виде графиков зависимостей:

- кривой консолидации на этапе уплотнения перед испытанием;
- среднего сдвигового напряжения от угла поворота или общего эквивалентного линейного смещения;
- вертикального напряжения от угла поворота или общего эквивалентного линейного смещения для недренированных (при постоянном объеме) испытаний;
- вертикального смещения от угла поворота или общего эквивалентного линейного смещения.

Следующие данные должны быть также представлены в протоколе испытания:

- эффективное вертикальное напряжение при уплотнении (максимальные и минимальные значения, если было проведено нагружение с разгрузкой или выполнено испытание методом SHANSEP);
- вертикальная деформация уплотнения (максимальные и минимальные значения, если было проведено нагружение с разгрузкой или выполнено испытание методом SHANSEP).

**Е.5.4 Испытание на одноплоскостной срез**

Испытание методом одноплоскостного среза следует выполнять согласно ГОСТ 12248.1.

### Е.6 Малоамплитудные динамические испытания методом резонансной колонки

**Е.6.1 Общие положения**

Испытания методом резонансной колонки, который используется для определения динамического модуля сдвига и коэффициента поглощения грунта при малых сдвиговых деформациях, следует выполнять согласно ГОСТ Р 56353.

Подготовка образцов грунта должна выполняться согласно требованиям к трехосным испытаниям (см. Е.4, за исключением того, что боковые дренажные фильтры не используются). Анизотропная консолидация выполняется согласно Е.4 для трехосных испытаний.

Примечание — Использование анизотропного напряженного состояния обычно приводит к иным значениям $G_{max}$ по сравнению со значениями, полученными при изотропном обжатии с консолидацией либо до аналогичного вертикального напряжения, либо до равного октаэдрического напряжения.

**Е.6.2 Процедура испытаний**

Е.6.2.1 Общие положения

Требования к задаваемым параметрам испытания и регистрируемым данным определены в ГОСТ Р 56353.

Е.6.2.2 Начальный динамический модуль сдвига ($G_{max}$) и коэффициент поглощения грунта ($D$) как функции времени

Для каждого приращения сжимающих напряжений испытания следует проводить в последовательности, аналогичной последовательности регистрации данных при консолидации (например, через 1 мин, 2 мин, 4 мин, 8 мин, 15 мин, 30 мин, 60 мин, 120 мин) и на участке вторичной консолидации. Эти периодические испытания следует проводить при постоянном уровне сдвиговой деформации не выше $10^{-3}$ %.

Е.6.2.3 Динамический модуль сдвига (G) и коэффициент поглощения грунта ($D$) как функции сдвиговой деформации

Деградация динамического модуля сдвига и рост коэффициента поглощения грунта с увеличением сдвиговой деформации определяются в соответствии с ГОСТ Р 56353.

Для серии испытаний на образцах в переуплотненном состоянии следует указывать продолжительность действия последнего уровня сжимающих напряжений перед разгрузкой и точно придерживаться этого значения для всех испытаний. Эта продолжительность должна быть такая же, как и в любых параллельных сериях трехосных испытаний.

**Е.6.3 Представление результатов испытаний**

Результаты представляются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 56353. При этом для каждого указанного в техническом задании уровня сжимающих напряжений могут представляться следующие графики (если указано в техническом задании):

- эффективные значения осевых и радиальных напряжений при консолидации, соответствующая им осевая объемная деформация;
- начальный динамический модуль сдвига ($G_{max}$) в зависимости от логарифма времени действия нагрузки;
- изменение коэффициента поглощения грунта ($D$) в функции логарифма времени;
- динамический модуль сдвига ($G$) в зависимости от логарифма сдвиговой деформации;
- изменение коэффициента поглощения грунта ($D$) в зависимости от логарифма сдвиговой деформации.

Конечный диаметр образца после консолидации должен быть отражен в отчетных материалах.

### Е.7 Испытания с пьезоэлектрическими преобразователями

Пьезоэлектрические изгибные преобразователи используются для измерения скорости поперечных волн ($v_s$), которые могут быть использованы для вычисления начальных динамических модулей сдвига грунта при малых деформациях $G_{max}$.

Пьезоэлектрические преобразователи дают возможность неразрушающего контроля грунта на любом этапе испытания трехосного сжатия, простого сдвига или консолидации, не влияя на результаты конкретного вида испытания.

Подготовка образца к испытаниям выполняется согласно требованиям к испытаниям в одометре, при простом сдвиге и трехосных испытаниях.

При внедрении пьезоэлектрического преобразователя в верхнюю и нижнюю часть образца следует соблюдать осторожность, чтобы добиться хорошего акустического контакта с грунтом и не повредить пьезоэлектрический элемент. Выступы пьезоэлектрических элементов за пределы торцов образца необходимо точно измерять.

Испытательное оборудование обычно состоит из пары пьезоэлектрических керамических элементов, смонтированных в верхнем штампе и основании одометра, трехосной установки или установки простого сдвига, преобразователя и осциллографа. Для улучшения качества регистрируемых сигналов используются фильтры сигнала и его усилители.

После установки образца можно измерить скорость поперечных волн в любой момент в ходе этапов консолидации и сдвига. Два пьезоэлемента изгибных колебаний работают в качестве генератора и приемника поперечных волн соответственно. Испытание заключается в измерении времени распространения поперечных волн от одного элемента до другого через образец.

Более сильный сигнал получается при параллельном электрическом подключении передающего пьезоэлемента и последовательном — принимающего. Время задержки в системе измерения следует калибровать, непосредственно соединив пару пьезоэлементов и измерив время задержки системы ($t_c$). Это также помогает интерпретировать сигналы, если пары пьезоэлементов размещены так, что они поляризуются положительно (т. е. начальный положительный сигнал в передающем элементе генерирует начальный положительный электрический сигнал в принимающем элементе). Для генерирования передающего сигнала используются разные формы колебаний, но наиболее распространенными являются синусоидальная и П-образная волны.

Меняя частоту возбуждения сигнала, можно создавать поперечные волны с разными скоростями и поразному их интерпретировать. Необходимо использовать осциллограф, способный измерять короткое время пробега поперечных волн (особенно для коротких образцов в приборах простого сдвига и одометрах). Осциллограф должен быть способен хранить зарегистрированные сигналы либо в собственной памяти, либо на подключенном к нему ПК для последующей обработки и вывода.

Скорость поперечных волн ($v_s$) вычисляется на основе скорректированного времени их пробега ($\Delta t$), которое равно измеренному времени распространения ($t$) минус время задержки системы ($t_c$). Существует несколько методов интерпретации времени вступления, например, первых вступлений, от пика к пику, взаимной корреляции, или первого перехода через ноль.

Примечание — Меняя метод интерпретации, используемый для определения времени вступления, можно получить и разные скорости поперечных волн.

Скорость поперечных волн $v_s$, м/с, вычисляют по формуле

$$v_s = l_{tt} / \Delta t, \tag{E.8}$$

где $l_{tt}$ — пробег поперечной волны, измеряемый как расстояние между концами пьезоэлементов.

Начальный модуль сдвига при малых деформациях $G_{max}$, МПа, вычисляют по формуле

$$G_{max} = \rho v_s^2, \tag{E.9}$$

где $\rho$ — плотность грунта.

В обычных условиях скорость поперечных волн измеряется в направлении вдоль вертикальной оси ($v$) образца, используя горизонтально ($h$) поляризованную поперечную волну, и обозначаемую поэтому $v_{vh}$. Можно измерять скорость поперечной волны и в горизонтальном направлении по диаметру образца, например в условиях трехосного сжатия.

Способ передачи сигнала и метод интерпретации момента первого вступления поперечных волн должны при необходимости документироваться и представляться в отчете.

Результаты испытаний представляются в виде скорости поперечных волн $v_s$ и рассчитанного максимального значения модуля сдвига при малых деформациях $G_{max}$.

### Е.8 Испытание на тиксотропность

Результаты испытаний на тиксотропность обеспечивают сведениями о потенциальном увеличении сопротивления грунта нарушенного сложения недренированному сдвигу во времени за счет тиксотропного упрочнения, исключая эффекты уплотнения. Измерение сопротивления грунта недренированному сдвигу обычно выполняется с использованием балансирного конуса или лабораторной крыльчатки.

Образец грунта должен быть сформирован при природной влажности. Сформированные образцы помещаются в сосуды (стеклянные или плексигласовые), закрываются крышкой или полимерной пленкой и хранятся в помещении с контролируемой температурой и влажностью.

Затем определяется начальное сопротивление сдвигу грунта ненарушенного сложения и искусственно сформированного с помощью балансирного конуса или лабораторной крыльчатки. Далее на других подготовленных образцах проводятся аналогичные измерения через определенные интервалы времени, которые сопровождаются и контролем влажности испытанных образцов. Измерения выполняются на свежесрезанной поверхности образца.

Испытания следует проводить через интервалы времени, позволяющие уверенно проследить за упрочнением грунта. Начальные короткие интервалы измерений постепенно увеличиваются. Примером набора интервалов может быть 0 ч (начальное показание), 1 ч, 2 ч, 4 ч, 8 ч, 1 сут, 2 сут, 4 сут, 8 сут, 15 сут, 30 сут и 60 сут. Начальное показание ($t$ = 0) исключительно важно, и для его контроля должно быть выполнено не менее двух таких измерений.

Тип балансирного конуса/лабораторной крыльчатки, и коэффициенты, используемые для преобразования измерений балансирным конусом/лабораторной крыльчаткой в сопротивления грунта недренированному сдвигу, следует указать в отчете (см. Е.2.15.2 по балансирным конусам).

Результаты испытаний на тиксотропность должны включать зависимости:

- сопротивления грунта недренированному сдвигу от времени;
- сопротивления сдвигу искусственно сформированного грунта от времени, т. е. значений, измеренных после формирования каждого образца;
- влажности грунта от времени.

Протокол испытаний должен содержать следующую информацию:

- наименование объекта и его местоположение;
- название грунта и глубину отбора;
- тип испытания для измерения сопротивления сдвигу (т. е. балансирный конус или лабораторная крыльчатка);
- начальную влажность грунта.

### Е.9 Водопроницаемость

Определение коэффициента фильтрации грунтов выполняется в соответствии с ГОСТ 25584. При соответствующем обосновании также могут применяться следующие стандарты [34]—[37].

Примечание — При наличии компрессионно-фильтрационного прибора по ГОСТ 25584 испытание можно проводить в ходе испытания по уплотнению (см. Е.3).

Жидкость, использованную при испытаниях, следует указывать в техническом задании.

Предпочтительно использовать методику с постоянным напором (и поэтому при постоянном эффективном напряжении).

### Е.10 Испытание на теплопроводность

Определение теплопроводности мерзлых грунтов проводят в соответствии с ГОСТ 26263.

Определение теплопроводности талых и немерзлых грунтов может проводиться в соответствии с [38] с использованием игольчатого температурного зонда на образцах ненарушенного или нарушенного сложения.

Зонд — длинная игла небольшого диаметра, представляющая собой нагревательный и измеряющий температуру элемент, вставляется в образец. Подавая постоянный ток на нагреватель, регистрируется повышение температуры в функции времени и на основе анализа кривой температуры — времени определяется коэффициент теплопроводности.

Зонд вставляется в грунт ненарушенного сложения, который при этом еще может находиться в пробоотборнике или в уже извлеченной части керна.

Искусственно сформированный грунт следует предварительно уплотнить в металлической или пластиковой трубке до нужной плотности перед тем, как вставлять зонд.

Зонд нужно откалибровать перед использованием (согласно [38]), а образец грунта должен находиться в равновесном состоянии с температурой помещения. После внедрения игольчатого зонда на него подается постоянный ток известной силы и через определенные промежутки времени (не менее 100 с) регистрируются показания температуры.

Коэффициент теплопроводности $\lambda$ вычисляется на основе линейной части графика температуры в зависимости от натурального логарифма (ln) времени.

Представление результатов испытания на теплопроводность должно включать график измеренной температуры в зависимости от натурального логарифма (ln) времени.

График результатов испытаний должен сопровождаться следующей информацией:

- наименование и местоположение объекта;
- наименование грунта и глубину отбора образца;
- тип испытания;
- начальная влажность;

- рассчитанный коэффициент теплопроводности $\lambda$ Вт/(м·К);
- рассчитанное удельное тепловое сопротивление, $\rho = 1/\lambda$, (м·К)/Вт).

**Е.11 Другие лабораторные испытания**

В зависимости от потребностей конкретного проекта в дополнение к испытаниям, указанным в настоящем стандарте, могут выполняться другие лабораторные исследования грунтов. Потребность в таких исследованиях должна быть указана в техническом задании.

Примерами таких испытаний могут быть:

- испытание при плоской деформации;
- испытания при истинно трехосном напряженно-деформированном состоянии;
- испытания с высоким давлением (например, компрессионные или трехосные испытания);
- испытания при высокой/низкой температуре (например, компрессионные или трехосные испытания);
- испытания при постоянной нормальной жесткости (в условиях простого сдвига или кольцевого среза) (CNS испытания);
- испытание на крутильный сдвиг полого цилиндрического образца;
- испытания с пьезоэлектрическими изгибными элементами при их различной ориентации (например, вертикальная и горизонтальная ориентация в трехосном испытании);
- испытания по определению параметров ползучести (при простом сдвиге, трехосном сжатии);
- специальные трехосные испытания для измерений капиллярного давления в газоносных отложениях.

Для этих испытаний должна быть приведена детальная информация, включая:

- цель испытания;
- описание установок/испытательного оборудования, с указанием размеров, производительности и требуемой точности;
- необходимую массу/размеры образцов;
- систему сбора данных;
- подготовку и монтаж/демонтаж образца;
- фазы испытаний;
- представление результатов,
- предыдущий опыт таких исследований и примеры результатов испытаний (при наличии).

**Е.12 Геологические и геохимические исследования**

**Е.12.1 Общие положения**

Исследования образцов грунта и анализ их результатов могут дать полезную информацию о генезисе и истории формирования отложений и должны выполняться опытными геологами.

Необходимо документировать и представлять следующую информацию:

- наименование лаборатории, проводящей испытания/исследования;
- используемые стандарты и процедуры испытаний/исследований.

В Е.12.2 — Е12.9 содержатся рекомендации и указания по геологическим исследованиям и геохимическим анализам. В зависимости от требований конкретного проекта могут быть предложены возможные дополнительные или заменяющие их методы исследований.

В Е.2.12 — Е.2.14 указаны процедуры исследований по определению содержания органического вещества, карбонатов и водорастворимых солей.

Примечание — Дополнительные методические указания (см. [14]) по некоторым стандартным видам геохимических исследований, которые используются многими геотехническими лабораториями.

**Е.12.2 Макроскопическое описание**

Подробное макроскопическое описание следует проводить по свежему образцу. Описание должно включать информацию по пунктам, перечисленным в Е.2.1.

Исследование строения образцов глинистых грунтов должно выполняться на образцах, наполовину разрезанных ножом, а наполовину — разломанных. На таких поверхностях лучше всего видна текстура грунта и ее разрывы (трещины).

Мелкие примеси грунта следует собирать для более подробного изучения. При необходимости раковины и их фрагменты также должны быть описаны по возможности с указанием их названий и описанием условий обитания соответствующих организмов. Описание гравийных и галечных частиц должно включать их размеры (в миллиметрах), окатанность, а также состав мономинеральных зерен или исходной горной породы.

**Е.12.3 Минералогический анализ**

Минералогический анализ может включать:

- анализ образцов грунта природного строения или шлифов сканирующим электронным микроскопом;
- количественный минеральный состав грунта по результатам рентгеноструктурного анализа.

Должна быть описана текстура грунта и приведена ее фотография.

Поскольку методы количественного анализа минерального состава на основе рентгеновской дифракции могут различаться в разных лабораториях, то следует предоставлять следующую информацию:

- описание процедуры подготовки образца;
- исходные дифрактограммы;
- тип использованного измерительного прибора и параметров измерения.

Примечание — Рентгеновская дифракция позволяет четко идентифицировать глинистые минералы с количественной точки зрения, но не предоставляет информацию о смешаннослойных видах, таких как иллит-смектиты, которые распространены в глинах осадочного происхождения. Поэтому точное количественное определение минералов в смеси остается в высшей степени неопределенным при использовании только рентгеновской дифракции.

**Е.12.4 Абсолютное датирование на основе анализа аминокислот**

Абсолютное датирование на основе анализа аминокислот должно выполняться специализированной лабораторией. Должен быть описан метод анализа, а также охарактеризован предыдущий опыт лаборатории.

**Е.12.5 Анализ стабильных изотопов кислорода**

Анализ стабильных изотопов кислорода должен выполняться в специализированной лаборатории. Должен быть описан метод анализа, а также охарактеризован предыдущий опыт лаборатории.

**Е.12.6 Газы в образцах грунтов**

Образцы для анализа придонных газов в грунтах следует хранить либо в газонепроницаемых металлических контейнерах, ибо в пластиковых пакетах и немедленно их замораживать. Если используются металлические контейнеры, то свободное пространство в них заполняется азотом. Если используются пластиковые пакеты, то избыток воздуха из них следует выдавливать перед закрытием пакета. Идеальным методом замораживания является использование либо жидкого азота, либо сухого льда (твердого $CO_2$). Образцы хранятся и транспортируются в лабораторию в замороженном состоянии.

Могут быть выполнены следующие виды анализа газов:

- состав и содержание газов в свободном состоянии (может изучаться только в образцах, хранящихся в металлических контейнерах);
- состав и содержание защемленных и растворенных газов;
- состав и содержание адсорбированных газов (газов, адсорбированных глинистыми минералами);
- общий объем газов (вместо раздельного изучения между защемленными и адсорбированными газами);
- анализ газовых изотопов (например, соотношения изотопов углерода метана, этана и пропана), в тех случаях, когда эти данные могут использоваться для определения происхождения газа.

**Е.12.7 Радиоуглеродное датирование $^{14}C$ (определение абсолютного возраста)**

Датирование органического материала или раковин с использованием радиоуглеродного метода по $^{14}C$ может проводиться при достаточном количестве грунта хорошего качества. Для стандартного датирования требуется 5—10 г карбонатного материала, тогда как для определения содержания $^{14}C$ в масс-спектрометре с ускорителем требуется лишь несколько миллиграмм материала.

**Е.12.8 Нано- и микропалеонтологический анализ**

При необходимости представительные образцы грунта следует отправлять в специализированную лабораторию для анализа нано- и микропалентологических остатков.

Методику подготовки, процедуру анализа, а также первичные данные, показывающие процентное отношение различных видов фоссилий, следует привести в отчете.

**Е.12.9 Агрессивность грунтов**

В техническом задании должны быть указаны специальные исследования, выполняемые как часть анализа агрессивности грунтов к строительным материалам и конструкциям:

а) испытания в море

- образцы для анализа содержания сульфатвосстанавливающих бактерий (SRB) и растворимых в кислоте сульфатов должны помещаться в воздухонепроницаемые сосуды в атмосферу азота и сразу же после отбора герметизироваться полимерной пленкой. Сосуды должны храниться в холодном состоянии (при температуре менее 40 °С), чтобы не допустить их биологических и химических изменений;
- измерения удельного электрического сопротивления должны выполняться на образцах с естественной влажностью в контейнере с грунтом с параллельными электродами, с использованием высокочастотного измерителя удельного сопротивления грунта;
- измерения pH следует выполнять непосредственно на влажных образцах, используя электрод, соединенный с pH-метром;
- макроскопическое описание грунта с указанием цвета и запаха;
- часть образцов грунта ненарушенного сложения для анализов на содержание сульфатов, общего содержания серы, а также неорганического и органического углерода, должна храниться в герметичных пластиковых пакетах на холоде (при температуре менее 4 °С),

б) испытания на берегу

- образцы для определения содержания сульфатвосстанавливающих бактерий (SRB) должны быть отправлены в лабораторию немедленно;

- содержание растворимых в кислоте сульфатов следует определять на том же герметизированном образце, используемом для определения сульфатредуцирующих бактерий, согласно положениям [39];

- общую серу следует определять на сухих порошковых пробах. Содержание неорганического и органического углерода следует анализировать согласно ГОСТ 23740 на сухих порошковых пробах;

- для анализа сульфатов оставшуюся часть образца в пакете или остаток образца SRB необходимо пропустить через мелкий бумажный фильтр в объеме менее одной пятой объема его поровой влаги. Поровый раствор следует хранить в атмосфере азота и анализировать (предпочтительно) с использованием ионного хроматографа.

### Е.13 Испытания скальных грунтов

В настоящем стандарте не приведены детали лабораторных испытаний скальных грунтов. Указания по их классификации и лабораторным испытаниям даны в стандартах ГОСТ серий «Грунты» и «Породы горные». При исследовании скальных грунтов в условиях подводного залегания следует обратиться к этим стандартам.

## Приложение Ж
## (справочное)

## Отчет

### Ж.1 Общие положения

Объем и формат отчетных материалов являются частями общего объема работ, которые должны определяться заказчиком исследований. Если заказчиком не указано иное, то отчетность должна быть организована в хронологическом порядке, охватывая:

- полевые операции и предварительные результаты;
- измеренные и вычисленные характеристики состава и свойств грунтов, а также окончательные результаты;
- интерпретацию и оценку данных по обобщенным геотехническим параметрам.

Пример формата и содержания различных отчетов представлен в таблице Ж.1, однако также могут использоваться альтернативные форматы отчетов, включая принятые в регулярной практике подрядчика.

Содержание каждого отчета должно быть представлено в логической и четкой последовательности.

Фактический объем отчетности, который может быть ограничен полевыми операциями или включать интерпретацию данных и оценку обобщенных геотехнических параметров, может быть представлен в самостоятельном отчете или отдельных отчетах (наряду с проектными спецификациями).

Таблица Ж.1 — Состав и содержание отчетов

| Отчет по полевым операциям с предварительными[1)] результатами | Технический отчет с измеренными и рассчитанными геотехническими параметрами | Технический отчет с интерпретацией данных и оценкой обобщенных геотехнических параметров |
|---|---|---|
| Краткий обзор | Краткий обзор | Краткий обзор |
| Точки исследований с картами и координатами | Точки исследований с картами и координатами | Точки исследований с картами и координатами |
| Список использованных обозначений и терминов | Список использованных обозначений и терминов | Список использованных обозначений и терминов |
| Объем полевых операций с описанием платформы исследования грунта (например, судно/буровая установка) | Объем полевых операций с описанием платформы исследования грунта (например, судно/буровая установка) | Обзор грунтовых условий и схема стратиграфического расчленения |
| Записи буровых операций (при использовании для оценки грунтов) | Окончательные записи по геотехническому бурению и разрезы с предлагаемой схемой стратиграфического расчленения | Предполагаемое сооружение(я), а также рассматриваемый вариант проектирования |
| Операции по испытаниям *in situ*, процедуры и предварительные[2)] результаты | Операции по испытаниям *in situ*, процедуры и окончательные результаты | Оценка данных и результатов, с методами интерпретации и процедурами |
| Операции пробоотбора, процедуры и предварительные[2)] результаты | Процедуры пробоотбора и окончательные результаты | Рекомендуемые обобщенные геотехнические параметры |
| Результаты полевых лабораторных испытаний | Процедуры лабораторных испытаний и окончательные результаты | Геологические объекты, разломы и другие геориски геотехнического характера |
| Предварительные[2)] записи по инженерно-геологическому бурению | Результаты других испытаний (например, мультисенсорный сканер керна или рентгенорадиометрия, химические и геологические исследования) | Рекомендации по дополнительным данным о грунтах, которые могут потребоваться |
| Инвентарный список отобранных образцов и предлагаемая программа испытаний в береговой лаборатории | Другие данные и результаты (например, геофизические данные, результаты предыдущих исследований грунта) | Ссылки |

*Окончание таблицы Ж.1*

| Отчет по полевым операциям с предварительными[1)] результатами | Технический отчет с измеренными и рассчитанными геотехническими параметрами | Технический отчет с интерпретацией данных и оценкой обобщенных геотехнических параметров |
|---|---|---|
| Записи ежедневных полевых мероприятий | Ссылки | |
| Список участников исследований грунта | | |
| Глубина моря и приливные измерения | | |
| Документирование поверок, калибровки оборудования и метрологического подтверждения пригодности | | |
| Ссылки | | |

[1)] Альтернативные форматы отчетности также могут использоваться, включая обычные практики подрядчиков. Для каждого проекта окончательная структура отчетности может меняться.

[2)] Когда объем исследования грунта ограничен только полевыми работами, результаты, представляемые вместе с полевыми операциями, являются окончательными.

В зависимости от требований конкретного проекта и типа исследования грунта отчет может обеспечивать рассмотрение более или менее сложных геотехнических вопросов, например:

- комплексное исследование грунта для рабочего проектирования фундаментов опорного основания гравитационного типа, платформы со свайным основанием или аналогичного морского сооружения сравнительно крупных размеров;
- исследования грунта регионального характера на ранней стадии проекта, например для новой площадки для разработки, для которой тип и местоположение платформ не определены на момент проведения исследований;
- исследование грунта с ограниченным объемом изучения площадки, уже изученной в ходе предыдущих исследований, или для небольшого подводного объекта с неглубоким фундаментом;
- исследование грунта вдоль трассы трубопровода, когда требуются исследования на небольшую глубину с большими расстояниями между точками исследований;
- исследование грунта с целью выявления геологических опасностей.

Любые активные геологические процессы или геологические опасности могут отрицательно влиять на геотехнические параметры или целостность фундаментов проектируемого сооружения. Такие геологические опасности могут включать: наличие твердых грунтов на поверхности морского дна, неустойчивость донных отложений в прошлом, присутствие газов в придонном грунте (особое внимание следует обращать на любые случаи обнаружения порового давления, превышающего гидростатическое, а также на возможное влияние газа на поведение грунта), суффозия в песках на мелководье, транспорт наносов, газовые гидраты, многолетнемерзлые породы и т. п. Проявления известных геологических опасностей следует четко определять в объеме работ, так как это может потребовать сбора дополнительной информации, отличающейся от результатов стандартного исследования морского грунта.

Примечание — Процесс геотехнического проектирования включает в себя последовательные этапы, как описано в [16]. Первый этап включает оценку исходных данных и результатов исследования грунта, следующий этап посвящен определению обобщенных геотехнических параметров, а последний этап включает расчеты по проекту. В настоящем стандарте основное внимание уделяется первому этапу.

В разделах Ж.2, Ж.3 и Ж.4 даны методические указания/рекомендации по различным этапам представления отчетности, которые могут быть включены в общий объем работ в зависимости от технического задания.

### Ж.2 Отчет по полевым операциям с предварительными результатами

Отчет по полевым операциям и предварительным результатам (см. примечание) должен включать описание использованных методов бурения, испытаний *in situ* и отбора проб, например:

а) описание платформы для исследования грунта (например, судна/буровой установки);

б) буровое оборудование и процедуры с акцентом на следующих аспектах:

- регистрации параметров бурения в объеме, необходимом для оценки грунтовых условий,
- любом изменении состава или плотности бурового раствора (по факту),

- возможном влиянии условий бурения на качество испытаний *in situ* и результатов отбора проб различных обнаруженных грунтов;

в) верификацию документации и/или сертификатов калибровки испытаний *in situ*, а также оборудования для лабораторных испытаний;

г) информацию по операциям позиционирования, оборудованию и процедурам выполнения работ с соответствующим документальным оформлением проверок оборудования позиционирования;

д) регистрацию ежедневных полевых мероприятий;

е) предварительные результаты всех морских геотехнических измерений *in situ* и лабораторных испытаний в море.

Примечание — Если объем исследований грунта ограничен только полевыми работами, то результаты, представленные вместе с описанием полевых операций, являются окончательными.

### Ж.3 Технический отчет с измеренными и рассчитанными геотехническими параметрами

После верификации полевых данных и завершения лабораторных испытаний на берегу, взамен предшествующей предварительной отчетности по результатам полевых работ представляется подробный отчет с информацией по измеренным и рассчитанным геотехническим параметрам с окончательными результатами.

В дополнение к документации по каждому отдельному испытанию должны быть представлены инженерно-геологические колонки буровых скважин и разрезы, на которых собраны основные данные о грунтах, дающие общее представление о ситуации. Такие колонки и разрезы должны, как правило, содержать следующую информацию, включая графики изменения измеренных и рассчитанных значений показателей с глубиной:

а) описание грунта в каждом инженерно-геологическом элементе;

б) влажность и пределы пластичности;

в) плотность грунта;

г) прочностные свойства в пределах инженерно-геологического элемента, включающие:

1) сопротивление глинистых грунтов недренированному сдвигу, полученное на основании корреляции с испытаниями *in situ* и/или различными лабораторными испытаниями на прочность на образцах нарушенного и ненарушенного сложения;

2) относительная плотность песков, например по результатам испытаний CPTU.

Обычно также представляются следующие характеристики грунтов и геотехнические параметры:

а) описание грунта;

б) глубина ниже дна моря (океана) или высота по отношению к указанному эталонному уровню (например, LAT или MSL);

в) данные для классифицирования грунтов, т. е.:

1) влажность;

2) пределы пластичности и текучести, число пластичности и показатель текучести;

3) гранулометрический состав;

4) плотность грунта;

5) плотность частиц грунта;

6) содержание карбонатов, органического вещества и засоленность (где требуется);

7) для песчаных грунтов — коэффициенты пористости песка в предельно рыхлом и плотном состоянии, плотность *in situ* и степень плотности песка, измеренная в ходе лабораторных испытаний или определенная на основе корреляции с испытаниями *in situ*;

8) для глинистых грунтов — показатель сопротивления недренированному сдвигу, измеренный карманным пенетрометром, балансирным конусом, миникрыльчаткой или лабораторной крыльчаткой (по ситуации);

9) температура на дне моря (океана), а также температура грунтов по разрезу (где уместно);

г) давление вышележащих грунтов, $p_0'$ или $\sigma_{v0}'$;

д) поровое давление *in situ* $u_0$, включая любое избыточное поровое давление (где уместно);

е) нагрузка предварительного уплотнения $p_c'$, коэффициент переуплотнения OCR и коэффициент напряжений на пределе текучести YSR;

ж) коэффициент консолидации $c_v$ и коэффициент сжимаемости $m_0$ (если требуется);

и) для песчаных грунтов — угол внутреннего трения при сжатии или расширении на основе различных лабораторных испытаний (например, по испытаниям на трехосное сжатие, испытаниям при плоской деформации или срезу);

к) для глинистых грунтов — сопротивление недренированному сдвигу на основе разных методов лабораторных испытаний (например, неконсолидированные UU испытания при трехосном сжатии, изотропные или анизотропные трехосные консолидированные испытания КН или КД и/или испытания при простом сдвиге, сообразно обстоятельствам), или на основе корреляций с испытаниями *in situ* с оценкой анизотропии грунтов, а также сопротивления сдвигу образца с нарушенной структурой и чувствительностью $S_t$.

Особое внимание следует уделить аномальным результатам для любого грунта при сравнении с результатами на основе других видов лабораторных испытаний или испытаний *in situ*, позволяющих измерять тот же

параметр. Такие аномальные результаты должны выявляться и тщательно оцениваться с точки зрения их представительности для характеристики грунтовых условий площадки работ.

### Ж.4 Технический отчет с интерпретацией данных и оценкой обобщенных геотехнических параметров

Интерпретация всех данных и результатов исследования грунта должна быть представлена в отчете, включая методы и процедуры, использованные для оценки обобщенных геотехнических параметров.

Схема стратиграфического расчленения и подразделение на инженерно-геологические элементы (ИГЭ) должны учитывать следующие аспекты:

- слои, в пределах которых геотехнические параметры меняются незначительно и случайным образом могут рассматриваться как один инженерно-геологический элемент;
- последовательность тонкого переслаивания грунтов разного состава и свойств может считаться одним ИГЭ, если для рассматриваемого проектного варианта они будут работать как одно целое, и их поведение может быть адекватно охарактеризовано едиными обобщенными геотехническими показателями;
- при определении границ между различными ИГЭ может быть применена линейная интерполяция данных между точками исследования при условии, что расстояние между ними невелико, и местные геологические условия достаточно однородны (это необходимо обосновать и задокументировать).

Схема стратиграфического расчленения, составленная на основании интерпретации данных бурения, может быть сопоставлена на предмет ее согласованности с имеющимися данными геофизических исследований. Дополнительные наблюдения или измерения в ходе бурения также могут использоваться при определении границ между различными слоями.

В зависимости от планируемого типа сооружения и рассматриваемого варианта проектной нагрузки на фундамент для оценки геотехнических параметров могут применяться различные требования, например:

- подробная характеристика верхнего первого метра отложений, имеющего особое значение для трубопроводов и райзера;
- оценка свойств грунта в зависимости от глубины применительно к конструкции забивных свай, с акцентом на свойства грунта на глубине пяты сваи, важных для несущей способности сваи в слоистой толще;
- оценка динамических свойств грунта и относительной проницаемости слоя для объектов с различными периодами и скоростями нагружения, в частности несущей способности в недренированных условиях и сдвиговых напряжений в грунтах, обусловленных циклическим нагружением основания гравитационного типа, мобилизацией пассивного всасывающего давления платформ с юбочным основанием или кессонными сваями, влиянием сейсмической нагрузки и т. п.;
- в нетипичных грунтах (таких, как карбонатные, слюдистые или глауконитовые по составу грунты, многолетнемерзлые грунты, валунные суглинки и др.), необходимо особое внимание при получении геотехнических параметров по результатам испытаний.

Ряд геотехнических параметров могут использоваться для разных типов сооружений, фундаментов или рассматриваемых вариантов нагружения. С другой стороны, один и тот же геотехнический параметр (например, сопротивление недренированному сдвигу глины, угол внутреннего трения песка и т. п.) может отвечать определенной модели нагружения/разрушения или зависеть от проектных задач (требуется оценка несущей способности, расчет осадки, смещения или прогнозирование условий в ходе установки сооружения и т. п.). Поэтому перечень геотехнических параметров, указываемых в отчете, будет меняться в разных ситуациях и должен определяться в задании на изыскания.

Возможно осреднение показателей свойств грунтов по разрезу для фундаментов, вовлекающих в работу большие объемы грунта, но оно должно использоваться с осторожностью, так как осреднение может скрыть наличие ослабленной зоны. Случаи, когда выявление слабых зон может быть важным:

- горизонтальное смещение оснований сооружений гравитационного типа мелкого заложения;
- оценка риска «протыкания» грунтового основания опорой самоподъемной установки;
- при определении несущей способности сваи, когда ее величина на конце сваи имеет существенное влияние на расчет;
- участки с проблемами устойчивости склона.

Рекомендации о любых необходимых дополнительных исследованиях *in situ* или лабораторных испытаниях могут быть включены в отчет с комментариями, обосновывающими необходимость таких дополнительных работ.

## Библиография


[1] ИСО 19901-10:2021 — Нефтяная и газовая промышленность. Специальные требования к морским сооружениям. Часть 10. Морские геофизические исследования (Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 10: Marine geophysical investigations)

[2] ISSMGE TC 1 Guide. 2005 — Геотехнические и геофизические исследования на шельфе и в транзитной зоне (Geotechnical and geophysical investigations for offshore and nearshore developments)

[3] Правила международной морской организации. 3-е издание. 2010 (ISM Code 3rd ed., 2010) — Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращению загрязнений (International safety management code and guidelines on implementation)

[4] Конвенция МАРПОЛ международной морской организации. 1973 (MARPOL 1973, ITM code) — Международная конвенция по предотвращению загрязнения судами (International convention for the prevention of pollution from ships)

[5] Конвенция СОЛАС международной морской организации. 1973 (SOLAS 1974, IMO code) — Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (International convention for the safety of life at sea)

[6] Правила международной морской организации. 2003 (ISPS 2003, IMO code) — Международные правила по охране судов и портов (International ship and port facility security code)

[7] Стандарт международной гидрографической организации (МГО). Специальное (IHO Special Publication No. 44, 2008. — Стандарты МГО по гидрографическим исследованиям (IHO standards for hydrographic surveys)

[8] Руководство ОГП-ИМКА. 2010 (Guidelines OGP-IMCA, 2010) — Руководство по спутниковому навигационному обеспечению для нефтегазовой индустрии (Guidelines for GNSS positioning in the oil and gas industry)

[9] ИСО 10012:2003 — Системы менеджмента измерений. Требования к измерительным процессам и измерительному оборудованию (Measurement management systems — Requirements for measurement processes and measuring equipment)

[10] Пособие ISSMGE. 1997 (ISSMGE practice. 1997) — Статическое зондирование в геотехнической практике (Cone penetration testing in geotechnical practice)

[11] Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. Cone penetration testing in geotechnical practice, BlackieAcademic & Professional, (eds.), 1997

[12] АСТМ Д7400 — Стандартные методы скважинных сейсмических испытаний (Standard test methods for downhole seismic testing)

[13] АСТМ Д2573 — Стандартный метод испытаний для полевых испытаний на сдвиг крыльчаткой в связных грунтах (Standard test method for field vane shear test in Cohesive soil)

[14] ЕН 1997—2:2007 — Геотехническое проектирование. Часть 2. Исследование грунта и испытания (Geotechnical design — Part 2: Ground investigation and testing)

[15] DNV RP-C207 Practice. 2012 — Статистическое представление информации о грунтах (Statistical representation of soil data)

[16] ИСО 19900:2019 — Нефтяная и газовая промышленность. Общие требования к морским сооружениям (Petroleum and natural gas industries — General requirements for offshore structures)

[17] ИСО 19901-4:2016 — Нефтяная и газовая промышленность. Специальные требования к морским сооружениям. Часть 4. Геотехнические и расчетные аспекты проектирования фундаментов (Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 4: Geotechnical and foundation design considerations)

[18] ИСО 19905-1:2016 — Нефтяная и газовая промышленность. Оценка передвижных морских установок с учетом условий площадки постановки. Часть 1. Самоподъемные плавучие буровые установки (Petroleum and natural gas industries — Site-specific assessment of mobile offshore units — Part 1: Jack-ups)

[19] Guidance SUT. Rev: 02, 2000 — Руководство по геотехническим исследованиям для подводных сооружений (Guidance notes on geotechnical investigations for subsea structures)

[20] Guidance SUT. Rev: 03, 2004 — Руководство по геотехническим исследованиям для морских трубопроводов (Guidance notes on geotechnical investigations for marine pipelines)

[21] АСТМ Д2487-17e1 — Стандартная практика классификации грунтов в инженерных целях (единая система классификации грунтов) [Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)]

[22] АСТМ Д2488-17e1 — Стандартная практика описания и идентификации грунтов. Визуально-практические процедуры (Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures)

[23] ИСО 10693:1995 — Качество почвы. Определение содержания карбоната. Объемный метод (Soil quality — Determination of carbonate content — Volumetric method)

[24] АСТМ Д4373-14 — Стандартный метод испытания для быстрого определения содержания карбонатов в грунтах (Standard Test Method for Rapid Determination of Carbonate Content of Soils)

[25] BS 1377-3 — Методы испытаний грунтов для гражданского проектирования. Часть 3. Электрические и электрохимические испытания (Methods of test for Soils for civil engineering purposes — Part 3: Chemical and electro-chemical tests)

[26] ИСО 17892-6:2017 — Геотехнические исследования и испытания. Лабораторные испытания грунтов. Часть 6. Определение текучести грунта балансирным конусом (Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 6: Fall cone test)

[27] BS 1377-7 — Методы испытаний грунтов для гражданского проектирования. Часть 7. Сдвиговые испытания. Общее напряжение (Methods of test for Soils for civil engineering purposes — Part 7: Shear strength tests (total stress)

[28] АСТМ Д4648/Д4648М-16 — Стандартный метод испытаний лабораторной мини крыльчаткой водонасыщенных тонкозернистых глинистых грунтов (Standard Test Methods for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil)

[29] АСТМ Д4186/Д4186М-12e1 — Стандартный метод испытаний одноосным сжатием водонасыщенных связных грунтов с использованием контролируемой деформации нагружения (Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Saturated Cohesive Soils Using Controlled-Strain Loading)

[30] АСТМ Д6528-17 — Стандартный метод испытаний консолидированно-недренированным простым сдвигом в тонкозернистых грунтах (Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils)

[31] АСТМ Д8296-19 — Стандартный метод испытаний консолидированно-недренированным простым сдвигом при циклический нагрузке и контроле постоянного объема или смещения (Standard Test Method for Consolidated Undrained Cyclic Direct Simple Shear Test under Constant Volume with Load Control or Displacement Control)

[32] АСТМ Д6467-13e1 — Стандартный метод испытаний кольцевым сдвигом с кручением для определения дренированной остаточной сдвиговой прочности связных грунтов (Standard Test Method for Torsional Ring Shear Test to Determine Drained Residual Shear Strength of Cohesive Soils)

[33] ИСО 17892-10:2018 Геотехнические исследования и испытания. Лабораторные испытания грунтов. Часть 10. Испытания плоскостным срезом (Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 10: Direct shear tests)

[34] ИСО 17312:2005 Качество почвы. Определение гидравлической проводимости насыщенных пористых материалов с применением пермеаметра с жесткими стенками (Soil quality — Determination of hydraulic conductivity of saturated porous materials using a rigid-wall permeameter)

[35] ИСО 17313:2004 Качество почвы. Определение влагопроводности насыщенных пористых материалов с применением гибкого пермеаметра (Soil quality — Determination of hydraulic conductivity of saturated porous materials using a flexible wall permeameter)

[36] АСТМ Д2434-19 Стандартный метод испытаний проницаемости дисперсных грунтов. Постоянный напор (Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)

[37] АСТМ Д5856-15 Стандартный метод испытаний гидравлической проводимости порового материала с использованием устройства с жестким стенками и уплотнительной камерой (Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Porous Material Using a Rigid-Wall, Compaction-Mold Permeameter)

[38] АСТМ Д5334-14 Стандартный метод испытаний для определения теплопроводности грунта и слабой породы игольчатым зондом (Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure)

[39] NS 4737:1976 Анализ воды. Определение сульфидов в водах отходов. Колориметрический метод (Water analysis — Determination of sulphide content of waste water — Colorimetric method)

УДК 69.058:006.354 ОКС 73.020

Ключевые слова: нефтяная и газовая промышленность, морские нефтегазопромысловые сооружения, морские исследования грунтов, инженерно-геологическое бурение, каротаж, геотехнические операции, испытания грунтов, пенетрация, керн, пробоотбор

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 04.05.2022. Подписано в печать 13.05.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 13,95. Уч.-изд. л. 12,62.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

ОКС 73.020

**Поправка к ГОСТ Р 59996—2022 Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Морские исследования грунтов**

| В каком месте | Напечатано | Должно быть |
|---|---|---|
| Введение, четвертый абзац | расположенных на континентальном шельфе (в том числе на акваториях с ледовым режимом), в территориальном море и внутренних водах Российской Федерации, за счет установления требований к проведению инженерно-геологических изысканий (за исключением геофизических исследований). | расположенных во внутренних морских водах, в территориальном море, в исключительной экономической зоне, на континентальном шельфе Российской Федерации (в том числе на акваториях с ледовым режимом), в российском секторе Каспийского моря, на участках недр, расположенных в Черном и Азовском морях, за счет установления требований к проведению инженерно-геологических изысканий (за исключением геофизических исследований). |
| Область применения, первый абзац | нефтегазопромысловых сооружений на континентальном шельфе, внутренних морских водах, территориальном море, прилежащей зоне Российской Федерации, а также в экономической зоне окраинных морей. | нефтегазопромысловых сооружений во внутренних морских водах, в территориальном море, в исключительной экономической зоне, на континентальном шельфе Российской Федерации, в российском секторе Каспийского моря, на участках недр, расположенных в Черном и Азовском морях. |

(ИУС № 12 2022 г.)

gost.e-ecolog.ru