МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

**ГОСТ 12248.3— 2020**

# ГРУНТЫ

## Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

**Сведения о стандарте**

1 РАЗРАБОТАН Научно-исследовательским, проектно-изыскательским и конструкторско-технологическим институтом оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова) АО «НИЦ «Строительство» при участии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ им. М.В. Ломоносова), Общества с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «Геотек» (ООО «НПП «Геотек»), Акционерного общества «МОСТДОРГЕОТРЕСТ-ПГ» (АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ-ПГ»), Общества с ограниченной ответственностью «Петромоделинг» (ООО «Петромоделинг»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 августа 2020 г. № 132-П)

За принятие проголосовали:

| Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97 | Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97 | Сокращенное наименование национального органа по стандартизации |
|---|---|---|
| Армения | AM | ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения |
| Беларусь | BY | Госстандарт Республики Беларусь |
| Казахстан | KZ | Госстандарт Республики Казахстан |
| Киргизия | KG | Кыргызстандарт |
| Россия | RU | Росстандарт |
| Таджикистан | TJ | Таджикстандарт |
| Узбекистан | UZ | Узстандарт |

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 октября 2020 г. № 823-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 12248.3—2020 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июня 2021 г.

5 ВЗАМЕН ГОСТ 12248—2010, подраздел 5.3

*Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.*

*В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»*

© Стандартинформ, оформление, 2020

В Российской Федерации 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 . . . 1
4 Общие положения . . . 2
5 Сущность метода . . . 3
6 Оборудование и приборы . . . 3
7 Подготовка к испытаниям . . . 4
8 Проведение испытаний . . . 5
8.1 Проведение неконсолидированно-недренированного (НН) испытания . . . 5
8.2 Проведение консолидированно-недренированного (КН) испытания . . . 6
8.3 Проведение консолидированно-дренированного (КД) испытания по определению прочностных характеристик грунтов . . . 7
8.4 Проведение консолидированно-дренированного (КД) испытания по определению деформационных характеристик грунтов . . . 9
9 Обработка результатов . . . 10
Приложение А (рекомендуемое) Форма журнала испытания . . . 14
Приложение Б (рекомендуемое) Принципиальная схема камеры стабилометра и ее тарировка . . . 16
Приложение В (обязательное) Реконсолидация и водонасыщение образцов грунта . . . 18
Приложение Г (рекомендуемое) Определение времени 50%-ной и 100%-ной консолидации методом квадратного корня из времени . . . 20
Приложение Д (рекомендуемое) Методика определения скорости деформации грунта при разрушении . . . 21
Приложение Е (рекомендуемое) Определение коэффициента неравномерности расширения образца грунта при трехосном сжатии . . . 22
Приложение Ж (рекомендуемое) Образцы графического оформления результатов испытания грунта методом трехосного сжатия . . . 23
Приложение И (рекомендуемое) Анизотропная реконсолидация и консолидация образца при КН- и КД-испытаниях водонасыщенных в природных условиях грунтов . . . 25
Приложение К (рекомендуемое) Определение угла дилатансии . . . 26

**Поправка к ГОСТ 12248.3—2020 Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия**

| В каком месте | Напечатано | Должно быть |
|---|---|---|
| Предисловие. Таблица согласования | — | Узбекистан \| UZ \| Узстандарт |

(ИУС № 4 2021 г.)

**Поправка к ГОСТ 12248.3—2020 Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия**

| В каком месте | Напечатано | Должно быть |
|---|---|---|
| Предисловие. Таблица согласования | — | Азербайджан \| AZ \| Азстандарт |

(ИУС № 7 2023 г.)

**М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й  С Т А Н Д А Р Т**

# ГРУНТЫ

## Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия

Soils. Determination of strength and deformation parameters by triaxial compression testing

**Дата введения — 2021—06—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к лабораторным методам испытания трехосным сжатием для определения характеристик прочности и деформируемости дисперсных грунтов при их исследованиях для строительства.

Настоящий стандарт не распространяется на все виды мерзлых грунтов.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 5180 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик

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

ГОСТ 12536 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава

ГОСТ 25100 Грунты. Классификация

ГОСТ 30416 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (gost.e-ecolog.ru по указателям национальных стандартов, издаваемым в государствах, указанных в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент, с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 25100 и ГОСТ 30416, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **эффективное напряжение $\sigma'$:** Напряжение, действующее в скелете грунта, определяемое как разность между полным напряжением в образце грунта и поровым давлением, $\sigma' = \sigma - u$.

3.2 **девиатор напряжений $q$:** Разность между наибольшим ($\sigma_1$) и наименьшим ($\sigma_3$) главными напряжениями, $q = \sigma_1 - \sigma_3$.

**Издание официальное**

3.3 **реконсолидация:** Восстановление природной плотности и природного фазового состояния образца грунта, разуплотненного в результате парогазовыделения в процессе пробоотбора.

3.4 **противодавление:** Искусственное повышение порового давления в образце грунта.

3.5 **вертикальное напряжение от собственного веса грунта $\sigma'_{zg}$:** Вертикальное эффективное напряжение в скелете грунта в условиях природного залегания от веса вышележащих слоев грунта.

3.6 **горизонтальное напряжение от собственного веса грунта $\sigma'_{xg}$:** Горизонтальное эффективное напряжение в скелете грунта от веса вышележащих слоев грунта в условиях природного залегания. $\sigma'_{xg} = K_0 \cdot \sigma'_{zg}$, где $K_0$ — коэффициент бокового давления покоя.

3.7 **среднее эффективное напряжение в условиях природного залегания $p'$:** Среднее эффективное напряжение в скелете грунта на глубине отбора, $p' = (\sigma'_{zg} + 2\sigma'_{xg})/3$.

3.8 **консолидация:** Процесс уплотнения образца во времени.

3.9 **эффективное напряжение консолидации $\sigma'_c$:** Дополнительное всестороннее эффективное напряжение на образец, превышающее среднее эффективное напряжение грунта в условиях природного залегания.

3.10 **водонасыщенные грунты:** Все грунты, имеющие степень водонасыщения $S_r > 0{,}8$.

3.11 **стабилометр:** Установка для трехосных испытаний грунтов в условиях осесимметричного нагружения.

3.12 **дискретность:** Цена деления для механических или разрешающая способность для электронных измерительных устройств.

## 4 Общие положения

4.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к методам лабораторных испытаний дисперсных грунтов в условиях трехосного осесимметричного нагружения для определения характеристик прочности и деформируемости.

4.2 Общие требования к лабораторным испытаниям грунтов, оборудованию и приборам, лабораторным помещениям, способам изготовления образцов для испытаний приведены в ГОСТ 30416.

4.3 Способы отбора монолитов и подготовки образцов для испытаний должны обеспечить сохранение их структуры и влажности в соответствии с ГОСТ 12071 и ГОСТ 30416.

4.4 Для испытуемых грунтов должны быть определены физические характеристики по ГОСТ 5180, ГОСТ 12536 и ГОСТ 30416.

Для несвязных дисперсных грунтов определяются влажность, плотность, плотность частиц, гранулометрический состав, содержание органических веществ.

Для связных дисперсных грунтов определяются влажность, плотность, плотность частиц, гранулометрический состав, влажность на границах текучести и раскатывания, содержание органических веществ.

Примечание — По специальному заданию могут быть определены другие классификационные параметры по ГОСТ 25100.

4.5 В процессе испытаний ведут журналы, формы которых приведены в приложении А. При автоматизации процесса испытаний и обработки данных с помощью компьютерных программ результаты опыта выводятся в виде файлов данных или в форме протокола испытания.

4.6 Отчет об испытании должен включать в себя:

- идентификацию образца (номер буровой скважины, номер пробы, номер испытания, глубина отбора и т. п.);
- метод подготовки образца (ненарушенного или нарушенного сложения, предварительное водонасыщение);
- начальные размеры образца;
- размеры образца после консолидации;
- физические характеристики грунта;
- принятую схему испытания;
- таблицу результатов испытания (нагрузки — деформации);
- графики испытаний;
- числовые значения полученных характеристик грунта.

При необходимости допускается приводить и другую дополнительную информацию.

## 5 Сущность метода

5.1 Испытания методом трехосного сжатия в условиях осесимметричного нагружения проводят для определения характеристик прочности и деформируемости дисперсных грунтов, включая:

- угол внутреннего трения $\varphi$;
- удельное сцепление $c$;
- сопротивление недренированному сдвигу $c_u$;
- модуль деформации $E$;
- секущий модуль деформации $E_{50}$;
- модуль деформации повторного нагружения $E_{ur}$;
- коэффициента поперечной деформации $\vartheta$;
- угол дилатансии $\psi$.

Конкретный состав определяемых характеристик указывается в задании.

Примечание — При необходимости в задании могут быть указаны и другие дополнительные характеристики, требующие определения.

5.2 Указанные характеристики определяют по результатам испытаний образцов в камерах установки трехосного сжатия (стабилометра) типа А, обеспечивающих возможность бокового расширения образца грунта в условиях трехосного осесимметричного статического нагружения при

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3,$$

где $\sigma_1$ — наибольшее главное напряжение (вертикальное);

$\sigma_2$, $\sigma_3$ — наименьшее и промежуточное главные напряжения (горизонтальные).

Принципиальная схема камеры стабилометра типа А приведена на рисунке Б.1 а) (приложение Б).

Примечание — Допускается проведение трехосных испытаний в камерах стабилометра типа Б, в которых диаметр штока равен начальному диаметру образца. Принципиальная схема камеры стабилометра типа Б приведена на рисунке Б.1 б) (приложение Б).

5.3 Испытания проводят путем увеличения вертикального полного напряжения вплоть до разрушения образца при фиксированном значении горизонтального полного напряжения.

Примечание — При соответствующем обосновании могут быть приняты другие траектории нагружения образца грунта при испытаниях.

5.4 Испытания проводят по неконсолидированно-недренированной (НН), консолидированно-недренированной (КН) и консолидированно-дренированной (КД) схемам.

5.5 Определение частных значений $\varphi$ и $c$ проводят по результатам не менее трех испытаний идентичных образцов исследуемого грунта, изготовленных из одного монолита или одной навески (для несвязного грунта), предварительно уплотненных различными значениями эффективного напряжения консолидации $\sigma'_c$.

При отсутствии возможности изготовления из одного монолита трех образцов частные значения $\varphi$ и $c$ определяют по результатам испытаний не менее шести образцов, изготовленных из различных монолитов идентичного грунта.

5.6 Испытаниям подлежат образцы связного грунта ненарушенного или образцы несвязного грунта нарушенного сложения, искусственно сформированные с заданными значениями плотности и влажности.

5.7 Образцы должны иметь форму цилиндра диаметром не менее 35 мм и отношением высоты к диаметру от 1,85 до 2,25.

Диаметр образца выбирается так, чтобы максимальный размер включений не превышал 1/6 его диаметра.

## 6 Оборудование и приборы

6.1 В состав установки для испытания грунтов методом трехосного сжатия (стабилометра) должны входить:

- камера стабилометра;
- система противодавления;

- устройства для создания, поддержания и измерения давления в камере и системе противодавления;
- устройство для вертикального нагружения образца;
- устройства для измерения вертикальных, объемных или радиальных деформаций образца;
- устройства для измерения давления в камере, вертикального напряжения и порового давления в образце.

Принципиальная схема камеры трехосного сжатия типа А и типа Б приведена в разделе Б.1 (приложение Б).

6.2 Конструкция камеры стабилометра должна обеспечивать:
- возможность бокового расширения образца;
- возможность дренирования воды из образца;
- измерение объема жидкости в камере либо радиальной деформации образца (для пневмостабилометров, в камерах которых используется сжатый воздух);
- измерение объема жидкости в системе дренажа.

6.3 Погрешности измерений (усилий, давлений, перемещений) для всех измерительных устройств принимаются в соответствии с требованиями ГОСТ 30416.

6.4 Воздействия на образец (усилия, давления, перемещения) должны передаваться с точностью не менее 5 % от требуемой величины воздействия.

6.5 Измерительные устройства (приборы) должны обеспечивать измерения с дискретностью (цена деления для механических и разрешающая способность для электронных) не менее:
- при измерении вертикальной нагрузки на образец — 2 % от максимальной нагрузки при испытании;
- при измерении давления в камере и системе противодавления — 2 % от заданного;
- при измерении линейной деформации образца (вертикальной, радиальной) — 0,02 % от начального размера образца;
- при измерении объема — 0,05 % от начального объема образца.

6.6 Камеру трехосного сжатия тарируют в соответствии с требованиями раздела Б.3 (приложение Б).

6.7 Диаметр резиновой оболочки в нерастянутом состоянии должен составлять 0,95—1,0 диаметра образца, толщина — не более 1 % диаметра образца и модуль упругости при растяжении — не более 1600 кПа (для оболочки из латексной резины модуль упругости равен 1400 кПа).

## 7 Подготовка к испытаниям

7.1 Образцы грунта подготавливают к испытаниям в соответствии с требованиями ГОСТ 30416.

7.2 Измеряют высоту и диаметр образца и взвешивают. Для ускорения процесса консолидации образца связного грунта при КН- и КД-испытаниях рекомендуется использовать боковые дрены, для чего на образец накладываются вертикальные полосы влажной фильтровальной бумаги, покрывающей не более 50 % его поверхности.

7.3 Перед испытаниями водонасыщенных грунтов систему противодавления камеры прибора трехосного сжатия, подводящей воду к штампам, и отверстия в штампах заполняют дистиллированной деаэрированной водой путем поднятия давления в системе противодавления с полным вытеснением пузырьков воздуха. Излишек воды убирают фильтровальной бумагой.

Водонасыщение пористых дисков выполняют вакуумированием.

Примечание — Для гарантированного заполнения водой системы дренажа рекомендуется перед испытаниями при перекрытом дренаже выполнить вакуумирование штампов и пористых дисков непосредственно в камере стабилометра. Для этого штампы и пористые диски размещаются на дне камеры, заполненной наполовину водой, сверху которой вакуумным насосом создается разряжение.

Вакуумирование завершается после прекращения выделения пузырьков воздуха.

7.4 Торцы образца покрывают влажными бумажными фильтрами и помещают его на нижний штамп камеры, с установленным на нем насыщенным водой пористым диском. С помощью расширителя на образец надевают резиновую оболочку. Расширитель снимают. Сверху устанавливают второй пористый диск и верхний штамп. Закрепляют оболочку на боковых поверхностях штампов резиновыми или металлическими уплотнителями.

Примечания

1 Могут быть использованы конструкции камер стабилометров, в которых пористые диски вмонтированы в штампы.

2 Перед проведением испытаний резиновая оболочка замачивается на 24 ч.

7.5 Образец связного грунта нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности изготавливают в разъемной форме по ГОСТ 30416.

Образец несвязного грунта нарушенного сложения формируют непосредственно в камере прибора трехосного сжатия, для этого на внутреннюю поверхность разъемной формы предварительно помещают резиновую оболочку, концы которой загибают на края формы. Разъемную форму устанавливают на нижний штамп камеры с пористым диском. Нижний край оболочки фиксируется на нижнем штампе камеры.

7.6 Формирование образца несвязного грунта ведут методом сухой послойной отсыпки, методом послойного влажного трамбования или методом послойного осаждения песка из его взвеси в воде. Способ формирования образца определяется техническим заданием. Сверху на сформированный образец укладываются бумажный фильтр, пористый диск и устанавливается верхний штамп, на котором закрепляют верхний край резиновой оболочки (см. 7.4). Перед снятием формы в образце создают небольшое отрицательное поровое давление (не более 0,01 МПа).

Перед водонасыщением образца сухого песка рекомендуется продуть его углекислым газом $CO_2$ под давлением не более 10 кПа в течение 30 мин, который впоследствии растворится в воде без защемления пузырьков газа.

7.7 После помещения образца в камеру проводят следующие операции:

- устанавливают (при необходимости) устройство для измерения радиальных деформаций образца;
- корпус камеры стабилометра с поднятым в верхнее положение и зафиксированным штоком устанавливают на основание и проверяют положение штока по отношению к центру образца;
- корпус камеры стабилометра закрепляют на основании;
- камеру гидравлического стабилометра, использующую для создания давления в камере жидкость, заполняют рабочей жидкостью с полным удалением пузырьков воздуха;
- устанавливают устройство для измерения вертикальной деформации образца;
- подключают устройство для измерения объемной деформации образца;
- подключают устройство для измерения порового давления (при необходимости измерения порового давления);
- регистрируют начальные показания всех измерительных устройств.

## 8 Проведение испытаний

### 8.1 Проведение неконсолидированно-недренированного (НН) испытания

8.1.1 Неконсолидированно-недренированные (НН) испытания выполняются для определения сопротивления недренированному сдвигу медленно уплотняющихся водонасыщенных глинистых, органоминеральных и органических грунтов.

8.1.2 Для восстановления природной плотности образцов перед испытанием производят их предварительное обжатие (реконсолидацию) по методу ВФС в соответствии с разделом В.1 (приложение В).

Примечание — Допускается проводить реконсолидацию в недренированных условиях путем обжатия образца полным всесторонним напряжением, равным полному вертикальному напряжению от собственного веса грунта, в течение 30 мин.

В конце этапа реконсолидации должно быть зафиксировано изменение высоты образца $\Delta h_c$.

8.1.3 Разрушение образца проводят приложением вертикальной нагрузки при ранее достигнутом полном всестороннем напряжении и перекрытом дренаже. Вертикальную нагрузку прикладывают с заданной постоянной скоростью деформирования образца — кинематический режим или ступенями — статический режим.

При кинематическом режиме нагружения приложение вертикальной нагрузки обеспечивается непрерывным приращением вертикальной деформации образца грунта $\varepsilon_1$ со скоростью 0,5 % — 2 % в 1 мин. Более низкие скорости выбирают для глинистых грунтов полутвердой и твердой консистенции.

При статическом режиме нагружения нагрузку прикладывают ступенями с интервалами от 15 с до 1 мин. Большие интервалы выбирают для грунтов с низкими показателями текучести и наоборот.

Значение ступени составляет не менее 10 % начального эффективного напряжения — разности между полным давлением в камере и поровым давлением в образце после реконсолидации.

8.1.4 Показания всех измерительных устройств регистрируют не реже чем через 1 % вертикальной деформации при кинематическом режиме или в конце каждой ступени нагрузки при статическом режиме нагружения.

8.1.5 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).

8.1.6 После окончания испытания образец разгружают, сбрасывают давление в камере и сливают рабочую жидкость.

8.1.7 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 производят без снятия оболочки, непосредственно по месту его установки.

### 8.2 Проведение консолидированно-недренированного (КН) испытания

8.2.1 Консолидированно-недренированные (КН) испытания выполняются для определения прочностных характеристик $\varphi$ и $c$ водонасыщенных в природных условиях дисперсных грунтов.

Перед началом КН-испытания проводят реконсолидацию и водонасыщение образца по методу ВФС (см. раздел В.1 приложения В) и, если это необходимо, продолжают водонасыщение методом противодавления (см. раздел В.2 приложения В).

После реконсолидации методом ВФС в системе противодавления создают давление, равное поровому, достигнутому на этапе реконсолидации (см. 8.2.1), и открывают дренаж.

Примечание — Программой испытаний вместо изотропной реконсолидации методом ВФС может быть предусмотрено использование анизотропной реконсолидации в соответствии с И.1 приложения И.

В случае водонасыщения методом противодавления дренаж оставляют открытым, сохранив при этом величину достигнутого противодавления.

8.2.2 Консолидация образца выполняется путем поднятия полного всестороннего напряжения до величины, равной сумме полного всестороннего напряжения, достигнутого на этапе реконсолидации, и выбранному значению эффективного напряжения консолидации $\sigma'_{ci}$.

Примечание — Программой испытаний может быть предусмотрена анизотропная консолидация образца грунта в соответствии с И.2 приложения И.

8.2.3 Значение максимального эффективного напряжения консолидации $\sigma'_{c,\max}$ определяется как сумма расчетной нагрузки от сооружения и вертикального эффективного напряжения от собственного веса грунта $\sigma'_{zg}$, если иное не указано в задании.

Примечание — Вертикальное эффективное напряжение от собственного веса грунта $\sigma'_{zg}$ следует определять в соответствии с действующими нормативными документами государств, проголосовавших за принятие настоящего стандарта[1)].

Промежуточные значения эффективного напряжения консолидации $\sigma'_{ci}$ назначают как часть от $\sigma'_{c,\max}$ (например, $0{,}25 \cdot \sigma'_{c,\max}$; $0{,}5 \cdot \sigma'_{c,\max}$ и т. д.).

При отсутствии указанных данных значения $\sigma'_c$ принимают в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 — Эффективное напряжение консолидации

| Грунты | Эффективное напряжение консолидации $\sigma'_{ci}$, МПа |
|---|---|
| Пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные; глины с показателем текучести $I_L \le 0{,}25$ | 0,1; 0,3; 0,5 |

[1)] В Российской Федерации — в соответствии с СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» (с изменениями № 1, 2 и 3).

*Окончание таблицы 1*

| Грунты | Эффективное напряжение консолидации $\sigma'_{ci}$, МПа |
|---|---|
| Пески средней крупности, средней плотности; пески мелкие плотные и средней плотности; супеси и суглинки с $I_L \le 0,5$, глины с $0,25 < I_L \le 0,5$ | 0,1; 0,2; 0,3 |
| Пески средней крупности и мелкие рыхлые, пески пылеватые независимо от плотности; супеси, суглинки и глины с $I_L > 0,5$ | 0,1; 0,15; 0,20 |
| Органоминеральные и органические грунты | 0,05; 0,075; 0,1 |
| Примечание — Значения эффективного напряжения консолидации для крупнообломочных грунтов при содержании песчаного заполнителя менее 40 % или глинистого заполнителя менее 30 % принимаются такими же, как для песков гравелистых, крупных и средней крупности плотных. Ступени давления для крупнообломочных грунтов с содержанием заполнителя выше указанных значений назначаются по характеристикам заполнителя. | |

8.2.4 Консолидацию производят в одну ступень до полного завершения фильтрационной консолидации. Время завершения 100%-ной фильтрационной консолидации $t_{100}$ определяется в соответствии с приложением Г.

8.2.5 В процессе консолидации фиксируют изменение объемной деформации образца. Показания снимают с постепенным увеличением интервалов времени, например через 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 15; 30 мин, 1; 2; 4; 8 ч и далее в начале и в конце каждой смены.

Примечания

1 Изменение объема образца в процессе консолидации определяют по объему отжатой поровой жидкости или по изменению объема жидкости в камере.

2 Указанное время снятия показаний может быть изменено для удобства построения кривой консолидации.

8.2.6 После завершения этапа консолидации дренаж перекрывают, фиксируют изменение объема $\Delta V_c$ и вертикальное сжатие образца $\Delta h_c$.

Примечание — При отсутствии крепления верхнего штампа образца со штоком в процессе консолидации между ними образуется зазор. Вертикальное сжатие образца $\Delta h_c$ фиксируется по перемещению штока до момента его контакта со штампом.

8.2.7 Разрушение грунта проводят по аналогии с 8.1.3—8.1.5 по двум режимам нагружения.

При кинематическом режиме нагружения максимальную скорость деформации определяют в соответствии с приложением Д для КН-испытаний.

При статическом режиме нагрузку прикладывают ступенями. Значение ступени принимают равным (10 ± 2) % величины среднего эффективного напряжения в образце, достигнутого на этапе консолидации или реконсолидации (если разрушение производится без дополнительной консолидации образца).

Критерием завершения ступени нагружения является достижение скорости деформации, определяемой в соответствии с приложением Д для КН-испытаний.

8.2.8 Показания всех измерительных устройств при кинематическом режиме нагружения регистрируют не реже чем через 1 % деформации.

При статическом режиме нагружения показания регистрируют через каждые 2 мин.

8.2.9 Испытание проводят до разрушения образца (см. 8.1.4), после чего проводят операции в соответствии с 8.1.5, 8.1.6.

8.2.10 Результаты испытаний заносят в журнал (см. приложение А).

### 8.3 Проведение консолидированно-дренированного (КД) испытания по определению прочностных характеристик грунтов

8.3.1 Консолидированно-дренированные (КД) испытания выполняются для определения прочностных характеристик $\varphi$ и $c$ водонасыщенных и неводонасыщенных в природных условиях дисперсных грунтов.

8.3.2 Испытания проводят при открытом дренаже под атмосферное давление без этапа реконсолидации.

Примечания

1 При необходимости измерения объемных деформаций для водонасыщенных в природных условиях грунтов рекомендуются предварительная реконсолидация и водонасыщение образца в соответствии с 8.2.1.

2 Программой испытаний может быть также предусмотрена анизотропная реконсолидация образцов грунта, выполняемая в соответствии с 8.4.2—8.4.4.

8.3.3 Консолидация образца проводится в одну ступень с открытым дренажом в соответствии с 8.2.2—8.2.6.

Примечание — Программой испытаний может быть предусмотрена анизотропная консолидация образцов, выполняемая в соответствии с И.2 приложения И, при этом для неводонасыщенных грунтов дренаж осуществляется без противодавления под атмосферное давление.

8.3.4 После завершения консолидации приступают к разрушению образца вертикальным нагружением при постоянном давлении в камере, достигнутом на этапе консолидации, или при иных условиях нагружения, предусмотренных программой испытаний.

8.3.5 Разрушение образцов водонасыщенного грунта производят по двум режимам нагружения.

При кинематическом режиме максимальную скорость деформации определяют в соответствии с таблицей Д.1 (приложение Д) для КД-испытаний.

При статическом режиме вертикальное напряжение на образец передают ступенями. Ступени принимаются в соответствии с таблицей 2 или задаются программой испытаний.

Таблица 2 — Ступени вертикального давления на образец грунта

| Грунты | Ступень вертикального напряжения на образец грунта в % от среднего эффективного напряжения консолидации при номерах ступеней | | |
|---|---|---|---|
| | 1-я | 2—6-я | 7-я и далее |
| Пески | 30 | 30 | 15 |
| Супеси | 10 | 20 | 10 |
| Суглинки с $I_L \le 0,5$ | 10 | 20 | 10 |
| Суглинки с $I_L > 0,5$ | 8 | 15 | 8 |
| Глины с $I_L \le 0,5$ | 6 | 15 | 6 |
| Глины с $I_L > 0,5$ | 5 | 10 | 5 |
| Органоминеральные и органические грунты | 5 | 10 | 5 |

Примечание — Значения ступеней для крупнообломочных грунтов при содержании песчаного заполнителя или глинистого заполнителя менее 30 % принимают как для песка. Ступени давления для крупнообломочных грунтов с содержанием глинистого заполнителя выше указанных значений принимают по заполнителю.

Критерием завершения ступени нагружения является достижение скорости вертикальной деформации, определяемой в соответствии с приложением Д.

8.3.6 Для неводонасыщенных грунтов при статическом режиме нагружения каждую ступень полного напряжения выдерживают до условной стабилизации вертикальной деформации образца, за критерий которой принимают приращение относительной вертикальной деформации, не превышающее 0,05 % за время, указанное в таблице 3. При кинематическом нагружении скорость вертикальной деформации принимают в соответствии с программой испытаний на основе специального обоснования.

Таблица 3 — Время условной стабилизации деформаций образца

| Грунты | Время условной стабилизации деформаций сжатия на конечной ступени, не менее, ч |
|---|---|
| Пески | 0,5 |

*Окончание таблицы 3*

| Грунты | Время условной стабилизации деформаций сжатия на конечной ступени, не менее, ч |
|---|---|
| Глинистые (непросадочные и ненабухающие): | |
| супеси | 3 |
| суглинки с $I_p$ < 12 % | 6 |
| суглинки с $I_p$ ≥ 12 % | 12 |
| глины с $I_p$ < 22 % | 12 |
| глины с $I_p$ ≥ 22 % | 18 |
| Органоминеральные органические грунты | 24 |

8.3.7 Для водонасыщенных и неводонасыщенных образцов грунтов показания всех измерительных устройств при кинематическом режиме регистрируют не реже чем через 1 % деформации.

При статическом режиме показания записывают на каждой ступени вертикального напряжения:

- через 1, 5, 15, 30 мин и далее через 0,5 ч — для песков;
- через 1, 5, 15, 30 мин, 1, 2, 4, 6 и 8 ч, а затем в начале и в конце рабочего дня — для связных грунтов.

Примечание — Для крупнообломочных грунтов интервалы снятия показаний при содержании песчаного заполнителя или глинистого заполнителя менее 30 % принимаются как для песка. Для крупнообломочных грунтов с содержанием глинистого заполнителя выше указанных значений интервалы измерений принимают по заполнителю.

8.3.8 Испытание проводят до разрушения образца (см. 8.1.4), после чего продолжают операции в соответствии с 8.1.6 и 8.1.7.

Результаты испытания заносят в журнал (см. приложение А).

### 8.4 Проведение консолидированно-дренированного (КД) испытания по определению деформационных характеристик грунтов

8.4.1 Консолидированно-дренированное (КД) испытание по определению деформационных характеристик $E$, $E_{50}$, $E_{ur}$, $\vartheta$ выполняют для водонасыщенных и неводонасыщенных в природных условиях дисперсных грунтов.

8.4.2 Для неводонасыщенных в природных условиях грунтов вначале проводят изотропную реконсолидацию образцов при открытом дренаже под атмосферное давление в одну ступень всесторонним напряжением, равным горизонтальному эффективному напряжению от собственного веса грунтов $\sigma'_{xg}$, определенному по результатам полевых исследований.

Примечание — Значение горизонтального эффективного напряжения допускается определять расчетным способом по формуле

$$\sigma'_{xg} = K_0 \cdot \sigma'_{zg}, \quad (8.1)$$

где $K_0$ — коэффициент бокового давления грунта в покое.

Для нормально уплотненных несвязных грунтов значение $K_0$ может быть рассчитано по формуле

$$K_0 = 1 - \sin\varphi, \quad (8.2)$$

где $\varphi$ — угол внутреннего трения грунта.

Для связных, в том числе переуплотненных грунтов $K_0$ допускается определять расчетным способом с учетом степени переуплотнения грунта при соответствующем обосновании.

Для переуплотненных грунтов значение $K_0$ следует определять экспериментально или расчетным способом с учетом степени переуплотнения грунта.

8.4.3 Для водонасыщенных в природных условиях грунтов изотропную реконсолидацию проводят в соответствии с приложением В.

8.4.4 Далее образец переводят в анизотропное напряженное состояние путем приложения вертикальной нагрузки, равной вертикальному эффективному напряжению от собственного веса грунта $\sigma'_{zg}$. Приложение дополнительной вертикальной нагрузки проводят:

- для неводонасыщенных в природных условиях грунтов при открытом дренаже в соответствии с 8.3.5, 8.3.6;
- для водонасыщенных в природных условиях грунтов при закрытом дренаже в соответствии с И.1 приложения И.

Примечания

1 Для переуплотненных грунтов может потребоваться разгрузка (снижение) вертикального напряжения, которая проводится путем приложения растягивающего усилия к верхнему штампу. Для этого конструкция камеры стабилометра типа А должна предусматривать жесткое или шарнирное соединение верхнего штампа со штоком.

2 Программой испытаний может быть предусмотрена дополнительная анизотропная консолидация образцов, выполняемая в соответствии с И.2 приложения И, при этом для неводонасыщенных грунтов дренаж осуществляется без противодавления под атмосферное давление.

8.4.5 Далее приступают к испытаниям образца путем вертикального нагружения.

Для неводонасыщенных в природных условиях грунтов вертикальное нагружение проводят в соответствии с 8.3.5, 8.3.6 при открытом дренаже под атмосферное давление.

Для водонасыщенных в природных условиях грунтов вертикальное нагружение проводят в соответствии с 8.3.4 при открытом дренаже под противодавление, равное поровому давлению, достигнутому при реконсолидации в соответствии с 8.4.4.

Вертикальное нагружение продолжают вплоть до момента разрушения образца, наступление которого определяется в соответствии с 8.1.5.

8.4.6 В случае необходимости определения модуля повторного нагружения $E_{ur}$ после достижения вертикального эффективного напряжения $\sigma'_{za}$ проводится разгрузка образца до значения вертикального эффективного напряжения $\sigma'_{zu}$ (см. рисунок Ж.2.3, приложение Ж).

Величину $\sigma'_{za}$ вычисляют по сумме двух первых ступеней вертикального напряжения, определяемых по таблице 2, если иное не предусмотрено заданием.

Величина вертикального эффективного напряжения $\sigma'_{zu}$ принимается большей на 10 кПа значения вертикального эффективного напряжения от собственного веса грунта $\sigma'_{zg}$, если иное не предусмотрено заданием.

Далее проводят повторное нагружение образца вплоть до его разрушения в соответствии с 8.1.5.

Скорость разгрузки и повторного нагружения при кинематическом режиме приложения нагрузки или величина и время выдержки ступеней при статическом режиме принимаются в соответствии с 8.4.5.

8.4.7 Показания всех измерительных устройств регистрируют в соответствии с требованиями 8.3.6.

8.4.8 После разрушения образца проводят операции в соответствии с 8.1.6 и 8.1.7.

8.4.9 Результаты испытаний заносят в журнал (см. приложение А).

## 9 Обработка результатов

9.1 По результатам испытания образца грунта в условиях трехосного сжатия вычисляют:

- относительную вертикальную деформацию образца грунта $\varepsilon_1$ по формуле

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h - \Delta h_c}, \tag{9.1}$$

где $h$ — начальная высота образца, мм;

$\Delta h_c$ — абсолютная вертикальная деформация в конце стадии реконсолидации для НН-испытаний и уплотнения (консолидации) для КН- и КД-испытаний, мм;

$\Delta h$ — абсолютная вертикальная деформация образца с начала девиаторного нагружения, мм;

- абсолютную объемную деформацию образца грунта $\Delta V$, см$^3$.

Примечание — Если объемные деформации образца определяются по изменению объема жидкости в камере, а не по объему отжатой из образца поровой жидкости, то необходимо вводить поправки на расширение камеры и дополнительного объема от вводимого в камеру штока для КН- и КД-испытаний;

- относительную объемную деформацию образца грунта $\varepsilon_v$ по формуле

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V - \Delta V_c}, \tag{9.2}$$

где $V$ — начальный объем образца, см$^3$;

$\Delta V_c$ — изменение объема в конце этапа консолидации, см$^3$;

- девиатор напряжений $q$, МПа, по формуле

$$q = (\sigma_1 - \Delta\sigma_{1m}) - (\sigma_3 + \Delta\sigma_{3m}) - \frac{F - A_s\sigma_3}{A_i} \cdot 10 - \Delta\sigma_{1m} - \Delta\sigma_{3m}, \tag{9.3}$$

где $F$ — вертикальная нагрузка, кН;

$A_i$ — текущая площадь поперечного сечения образца, определяемая либо по результатам прямых измерений, либо в соответствии с 9.3, см$^2$;

$A_s$ — площадь поперечного сечения штока, см$^2$;

$\Delta\sigma_{1m}$ — поправка на упругие свойства оболочки к вертикальному напряжению;

$\Delta\sigma_{3m}$ — поправка на упругие свойства оболочки к горизонтальному напряжению.

Примечание — При расчете вертикальной нагрузки вводят поправку на шток в соответствии с Б.2.3 (приложение Б).

9.2 Поправки на упругие свойства оболочки $\Delta\sigma_{1m}$ и $\Delta\sigma_{3m}$ определяют по формулам:

$$\Delta\sigma_{1m} = \frac{4 \cdot t \cdot E_m}{D_i}\left(\varepsilon_1 + \varepsilon_v\right); \tag{9.4}$$

$$\Delta\sigma_{3m} = \frac{4 \cdot t \cdot E_m \varepsilon_v}{3D_i}, \tag{9.5}$$

где $t$ — начальная толщина оболочки, мм;

$E_m$ — модуль упругости оболочки на растяжение, МПа;

$D_i$ — начальный диаметр оболочки без образца, мм.

9.3 При относительной вертикальной деформации образца грунта, превышающей 2 %, необходимо учитывать изменение площади образца в процессе испытания.

Для любого момента испытания текущую площадь образца $A_i$ определяют по формулам:

- для НН-испытания

$$A_i = \frac{A}{1 - b\varepsilon_1}; \tag{9.6}$$

- для КН- и КД-испытаний

$$A_i = A\frac{1 - \varepsilon_v}{1 - b\varepsilon_1}, \tag{9.7}$$

где $b$ — коэффициент неравномерности расширения образца, определяемый в соответствии с приложением Е.

9.4 При определении характеристик прочности по вычисленным значениям строят графики зависимости относительной вертикальной деформации от девиатора напряжений $\varepsilon_1 = f(q)$ для испытаний, проведенных при различных значениях $\sigma_3$ (см. рисунок Ж.1.1 приложения Ж).

На графиках определяют значения разрушающего девиатора напряжения $q_f = (\sigma_1 - \sigma_3)_f$, соответствующего моменту разрушения образца грунта (см. 8.1.5), и строят круги Мора — Кулона с радиусами $\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2}$ и координатами центров $(\frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}; 0)$ (см. рисунок Ж.1.2 приложения Ж).

9.5 Частное значение сопротивления недренированному сдвигу $c_u$, МПа (кПа), определяют по результатам НН-испытаний по формуле

$$c_u = \frac{\sigma_{1f} - \sigma_{3f}}{2}, \tag{9.8}$$

где $\sigma_{1f}$ и $\sigma_{3f}$ — значения полных напряжений $\sigma_1$ и $\sigma_3$ при разрушении образца, МПа.

9.6 Значения угла внутреннего трения $\varphi$ (град) и удельного сцепления $c$ [МПа (кПа)] при КН- и КД-испытаниях вычисляют по формулам:

$$\varphi = \text{arctg}\ \frac{N-1}{2\sqrt{N}}, \tag{9.9}$$

$$c = \frac{M}{2\sqrt{N}}, \tag{9.10}$$

где $N$ вычисляют по формуле

$$N = \frac{n\Sigma\sigma'_{1f}\sigma'_{3f} - \Sigma\sigma'_{1f}\,\Sigma\sigma'_{3f}}{n\Sigma\left(\sigma'_{3f}\right)^2 - \left(\Sigma\sigma'_{3f}\right)^2}, \tag{9.11}$$

$M$ по формуле

$$M = \frac{\Sigma\sigma'_{1f}\,\Sigma\sigma'^{\,2}_{3f} - \Sigma\sigma'_{3f}\,\Sigma\sigma'_{1f}\sigma'_{3f}}{n\Sigma\left(\sigma'_{3f}\right)^2 - \left(\Sigma\sigma'_{3f}\right)^2}, \tag{9.12}$$

Примечание — Эффективные напряжения $\sigma'_1$ и $\sigma'_3$ вычисляют по формулам:

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u; \tag{9.13}$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u; \tag{9.14}$$

где $u$ — поровое давление, МПа.

9.7 По результатам КД-испытаний определяют следующие деформационные характеристики грунтов: модуль деформации $E$, коэффициент поперечной деформации $\vartheta$, модуль сдвига $G$, модуль объемной деформации $K$ и секущий модуль деформации $E_{50}$.

9.8 Модуль деформации $E$ определяется по результатам КД-испытаний. Для этого строят графики зависимости $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$ (см. рисунок Ж.2.1 приложения Ж).

Для определения модуля деформации $E$ используют прямую, построенную методом линейной аппроксимации, для участка кривой в диапазоне от $\sigma'_{zg}$ до 1,6 $\sigma'_{zg}$ в соответствии с рисунком Ж.2.1 (приложение Ж).

9.9 Значения модуля деформации $E$ и коэффициент поперечной деформации $\vartheta$ вычисляют по формулам:

$$E = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\varepsilon_1}; \tag{9.15}$$

$$\vartheta = \frac{\Delta\varepsilon_3}{\Delta\varepsilon_1}; \tag{9.16}$$

$$\Delta\varepsilon_3 = \frac{\Delta\varepsilon_v - \Delta\varepsilon_1}{2}, \tag{9.17}$$

где $\Delta\sigma_1$ — приращение вертикального напряжения в заданном диапазоне, МПа (см. рисунок Ж.2.1 приложения Ж);

$\Delta\varepsilon_1$ и $\Delta\varepsilon_3$ — приращение относительных вертикальной и поперечной деформации образца, д. е.;

$\Delta\varepsilon_v$ — приращение относительной объемной деформации образца, д. е.

9.10 Модуль сдвига $G$, модуль объемной деформации $K$ и секущий модуль деформации $E_{50}$ определяют по формулам:

$$G = \frac{E}{2(1+\vartheta)}; \tag{9.18}$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\vartheta)}; \tag{9.19}$$

$$E_{50} = \frac{q_{max}}{2(\varepsilon_1)_{50}}, \quad (9.20)$$

где $q_{max}$ — максимальный девиатор напряжений при разрушении образца, МПа;

$(\varepsilon_1)_{50}$ — значение $\varepsilon_1$ при $0{,}5\,q_{max}$, д. е. (см. рисунок Ж.2.2 приложения Ж).

9.11 Модуль деформации повторного нагружения $E_{ur}$ определяют из графика зависимости $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$ (см. рисунок Ж.2.1 приложения Ж) по формуле

$$E_{ur} = \frac{\sigma'_{zb} - \sigma'_{zu}}{(\varepsilon_{1B} - \varepsilon_{1A})}, \quad (9.21)$$

где $\sigma'_{zu}$ — вертикальное напряжение, соответствующее окончанию разгрузки и началу повторного нагружения (см. рисунок Ж.2.3 приложения Ж);

$\sigma'_{zb}$ — вертикальное напряжение в точке $B$, соответствующей пересечению ветвей разгрузки и повторного нагружения (см. рисунок Ж.2.3 приложения Ж);

$\varepsilon_{1A}$ — относительная вертикальная деформация, соответствующая вертикальному напряжению $\sigma'_{zu}$;

$\varepsilon_{1B}$ — относительная вертикальная деформация, соответствующая вертикальному напряжению $\sigma'_{zb}$.

Примечание — Коэффициент поперечной деформации для ветви повторного нагружения определяют по формуле (9.15), при этом приращения относительной вертикальной и поперечной деформации образца выбирают для соответствующего диапазона вертикальных напряжений $\sigma'_{zb} - \sigma'_{zu}$ (см. рисунок Ж.2.3 приложения Ж).

9.12 Угол дилатансии $\psi$ определяют в соответствии с приложением К.

**Приложение А**
**(рекомендуемое)**

## Форма журнала испытания

### Форма первой страницы журнала

Организация (лаборатория) _____

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТА МЕТОДОМ ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ

Объект (пункт) _____

Сооружение _____

Шурф (скважина) № _____

Глубина отбора образца, м _____

Лабораторный номер образца _____

Наименование грунта _____

Сложение грунта _____

Визуальное описание грунта в лаборатории _____

Вид испытания _____

Приборы (тип, номер) _____

Вид испытаний _____

Схема фильтрации _____

Сведения о замачивании _____

Жидкость для замачивания (фильтрации) _____

Дата испытаний: начало _____

окончание _____

Данные о рабочем кольце (образце):

высота, мм _____

диаметр, мм _____

площадь, $см^2$ _____

объем, $см^3$ _____

масса, г _____

масса с грунтом, г _____

масса образца, г _____

### Физические характеристики грунта

| Характеристика | Значение | | Примечание |
|---|---|---|---|
| | до опыта | после опыта | |
| | | | |

**Журнал испытания грунта методом трехосного сжатия**

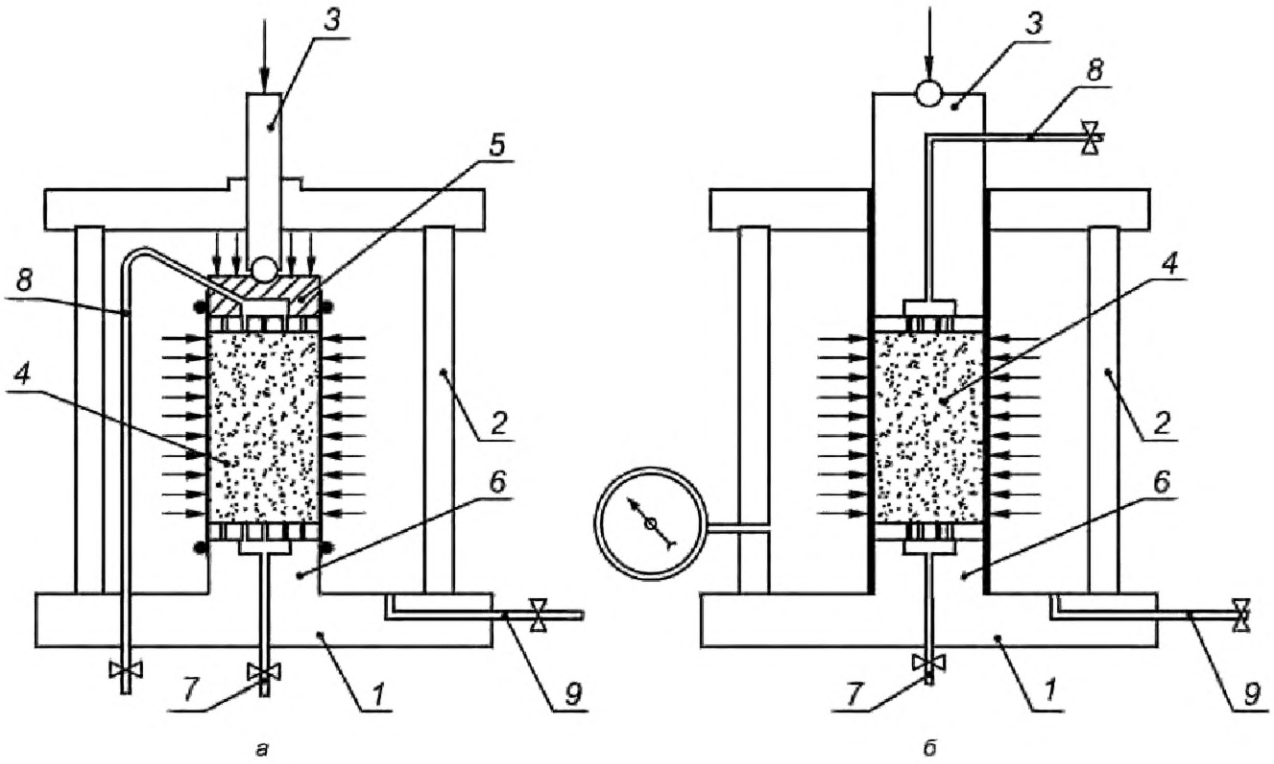
Номер образца _____

| Дата испытания | Время снятия отсчета $t_i$, ч | Время $t$, мин | Давление в камере $\sigma_3$, МПа | Вертикальная нагрузка | | | Поровое давление $u$, МПа | Вертикальные деформации | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Осевая нагрузка $F$, кН | Площадь образца $A_i$, см$^2$ | Напряжение $\sigma_{1i}$, МПа | | Показания по прибору | Деформация с поправкой $\Delta h$, мм | Относительная деформация $\varepsilon_1$ |
| | | | | | | | | | | |

| Объемные деформации | | | Вертикальное эффективное напряжение, $\sigma'_{1i}$, МПа | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| Показания по прибору | Объемная деформация с поправкой $\Delta V$, см$^3$ | Относительная объемная деформация $\varepsilon_v$ | | |
| | | | | |

**Приложение Б**
**(рекомендуемое)**

## Принципиальная схема камеры стабилометра и ее тарировка




а) — камера стабилометра типа А; б) — камера стабилометра типа Б

*1* — основание камеры; *2* — корпус камеры; *3* — шток; *4* — образец грунта в оболочке; *5* — верхний штамп; *6* — нижний штамп; *7*, *8* — магистрали системы дренажа, измерения порового давления и противодавления; *9* — магистраль давления в камере

Рисунок Б.1 — Принципиальная схема камеры стабилометра для испытания грунта методом трехосного сжатия

**Б.1 Тарировка камеры стабилометра**

**Б.1.1 Тарировка камеры на сжатие**

Для тарировки между штампами, покрытыми влажными бумажными фильтрами (в зависимости от того, что используется в конструкции стабилометра), помещают металлический вкладыш размерами, равными размерам образца грунта. Штамп нагружают ступенями вертикального давления 0,01; 0,025; 0,05; 0,10 МПа и далее по 0,10 МПа, выдерживая их по 5 мин до максимального напряжения, определяемого предельными нагрузками при испытаниях грунта. На каждой ступени давления записывают показания прибора для измерения вертикальной деформации грунта.

Тарировку проводят при трехкратном нагружении и разгрузке, каждый раз с заменой фильтров на новые.

По среднеарифметическим значениям из трех опытов составляют таблицу деформаций камеры при различных давлениях.

**Б.1.2 Тарировка камеры на расширение**

Для тарировки на металлический вкладыш и штампы (см. Б.1.1) надевают резиновую оболочку и закрепляют ее на боковых поверхностях штампов резиновыми или металлическими кольцами.

Камеру заполняют рабочей жидкостью и создают в ней всестороннее давление такими же ступенями, как и при тарировке на сжатие (см. Б.1.1), выдерживая их по 30 мин. На каждой ступени давления записывают показания волюмометра. Затем сбрасывают давление в том же порядке.

По среднеарифметическим значениям из трех опытов составляют таблицу объемных деформаций камеры при различных всесторонних давлениях.

**Б.1.3 Определение поправки на шток**

При наличии зазора между штоком и штампом в камере создают необходимое давление, а шток перемещают вниз до момента касания штока с верхним штампом, что фиксируется по началу измерения вертикальных деформаций образца. В процессе опускания штока фиксируют передаваемое на него вертикальное усилие, которое затем обнуляют при определении давления на образец. Данная процедура позволяет одновременно учесть вес штока, силы трения на боковой поверхности штока и давление в камере.

**Приложение В**
**(обязательное)**

## Реконсолидация и водонасыщение образцов грунта

### В.1 Реконсолидация образцов грунта путем восстановления двухфазного состояния — метод ВФС

В.1.1 Метод восстановления фазового состава (ВФС) используется при проведении трехосных испытаний водонасыщенных в условиях природного залегания связных грунтов.

В.1.2 Метод предназначен для восстановления природной плотности и двухфазного водонасыщенного состояния образцов при сохранении природной влажности.

В.1.3 Процедура восстановления фазового состава заключается в следующем:

В.1.3.1 В камеру прибора трехосного сжатия устанавливают образец грунта.

В.1.3.2 Дренаж системы противодавления перекрывают, что исключает возможность оттока поровой жидкости в процессе реконсолидации.

В.1.3.3 Производится ступенчатое поднятие полного всестороннего напряжения:

- для грунтов мягкопластичной и текучей консистенции не более 25 кПа;
- для грунтов тугопластичной и пластичной консистенции не более 50 кПа;
- для грунтов полутвердой и твердой консистенции не более 200 кПа.

В.1.3.4 В процессе обжатия на каждой ступени с интервалом 15 мин измеряют поровое давление. Если разница показаний между двумя измерениями не превышает 3 кПа, достигнутое значение порового давления фиксируют и прикладывают следующую ступень.

В.1.3.5 В процессе испытания строят кривую зависимости порового давления от всестороннего полного напряжения. Критерием завершения восстановления фазового состава является выход не менее трех точек на прямую линию, проходящую под углом 45°. Если график вышел на прямую линию, но угол наклона меньше 45°, то нагружение прекращают и переходят к водонасыщению противодавлением в соответствии с В.2.

Примечание — Допускается фиксировать завершение ВФС по коэффициенту порового давления $B$ (коэффициенту Скемптона). Так, при достижении значениях $B > 0,95$ [определяется по формуле (В.1)] восстановление фазового состава может считаться завершенным.

В.1.3.6 Если полное всестороннее напряжение уже достигло значения среднего полного природного напряжения, а критерии завершения фазового состава по В.1.3.5 не достигнуты, то реконсолидацию и водонасыщение для НН-испытания на этом прекращают, а для КН- и КД-испытаний водонасыщение продолжают по методу противодавления (см. В.2).

### В.2 Водонасыщение образца противодавлением

В.2.1 Метод водонасыщения образца противодавлением предназначен для КН и КД трехосных испытаний дисперсных грунтов, водонасыщенных в условиях природного залегания.

В.2.2 Метод является вспомогательным и используется как дополнительный в случае, когда водонасыщение методом ВФС (см. В.1) не было достигнуто.

В.2.3 Водонасыщение образца противодавлением проводят попеременным приложением к образцу полного всестороннего напряжения и противодавления.

В.2.4 Перед началом водонасыщения образца противодавлением необходимо перекрыть дренаж системы противодавления, подведенный к одному или двум торцам образца.

В.2.5 Производят обжатие образца дополнительной ступенью всестороннего полного напряжения 50 кПа.

В.2.6 В процессе обжатия на ступени проводят измерение порового давления $u$ с интервалом 15 мин. Если разница показаний между двумя измерениями не превышает 3 кПа, достигнутое значение порового давления фиксируют.

В.2.7 Рассчитывают коэффициент порового давления $B$ (параметр Скемптона) по формуле

$$B = \frac{\Delta u_i}{\Delta \sigma_i}, \qquad (В.1)$$

где $\Delta u_i$ — приращение порового давления на данной ступени нагружения, МПа;

$\Delta \sigma_i$ — приращение полного среднего напряжения на данной ступени нагружения, МПа;

Если значение $B < 0,95$, то переходят к В.2.8.

В.2.8 В системе противодавления при перекрытом дренаже поднимают давление, равное текущему значению полного всестороннего напряжения за вычетом «дифференциального напряжения», затем дренаж открывается.

Примечание — Значение дифференциального напряжения рекомендуется назначать равным значению эффективного напряжения, достигнутого на этапе реконсолидации по методу ВФС.

В.2.9 Производят измерение порового давления $u$ с интервалом 15 мин. Если разница показаний порового давления и противодавления уменьшилась до 3 кПа, все процедуры повторяются, начиная с В.2.4.

В.2.10 Водонасыщение считается завершенным при достижении значения коэффициента порового давления $B > 0,95$, при этом значение порового давления должно быть не ниже 300 кПа, в противном случае процедуры поднятия противодавления в соответствии с В.2.4—В.2.8 повторяются до достижения указанного значения порового давления.

**Приложение Г**
**(рекомендуемое)**

## Определение времени 50%-ной и 100%-ной консолидации методом квадратного корня из времени

Г.1 Определение времени 100%-ной фильтрационной консолидации, применяемого в качестве критерия завершения консолидации (см. 8.2.4) и времени 50%-ной фильтрационной консолидации, необходимого для вычисления скорости деформации (см. приложение Д) проводят методом квадратного корня из времени.

Г.2 По результатам консолидации образца грунта (см. 8.2.5) строят кривую консолидации в координатах: относительная объемная деформация $\varepsilon$ (ордината) — корень квадратный из времени в минутах (абсцисса) (см. рисунок Г.1).

Проводят прямую наилучшего приближения *ab* к начальной линейной части кривой (обычно в пределах первых 50 % сжатия). Затем из точки пересечения прямой *ab* с осью ординат проводят вторую прямую *ac*, абсциссы которой равны 1,15 соответствующих значений абсцисс прямой *ab*.

Пересечение прямой *ac* с экспериментальной кривой определяет время $\sqrt{t_{90}}$, соответствующее степени фильтрационной консолидации 0,90.

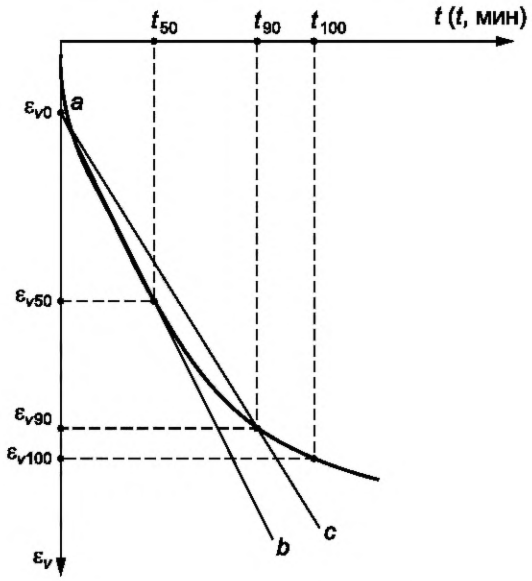



Рисунок Г.1 — График обработки кривой консолидации методом квадратного корня из времени

Для определения времени 100%-ной фильтрационной консолидации предварительно вычисляют соответствующее значение деформации сжатия $\varepsilon_{100}$ по формуле

$$\varepsilon_{100} = \frac{\varepsilon_{90}}{0,9}. \quad (Г.1)$$

Из точки $\varepsilon_{100}$ проводят горизонтальную прямую до пересечения с кривой консолидации и находят соответствующее значение $\sqrt{t_{100}}$.

Для определения времени 50 % фильтрационной консолидации $t_{50}$ предварительно вычисляют соответствующую деформацию сжатия $\varepsilon_{50}$ по формуле

$$\varepsilon_{50} = \frac{\varepsilon_{100}}{2}. \quad (Г.2)$$

Используя полученные значения $\varepsilon_{100}$ и $\varepsilon_{50}$, на графике консолидационной кривой, как показано на рисунке Г.1, находят соответствующие значения $\sqrt{t_{100}}$ и $\sqrt{t_{50}}$.

Возведение полученных значений $\sqrt{t_{100}}$ и $\sqrt{t_{50}}$ в квадрат дают искомые значения времени фильтрационной консолидации $t_{100}$ и $t_{50}$ соответственно.

**Приложение Д**
**(рекомендуемое)**

## Методика определения скорости деформации грунта при разрушении

Д.1 Скорость деформации образца грунта на стадии разрушения при трехосных испытаниях определяют на основе данных, полученных на стадии консолидации образца (см. 8.2.8, 8.3.4).

Д.2 Скорость $v$, мм/мин, деформации для КН- и КД-испытаний определяют по формуле

$$v = \frac{\left(h - \Delta h_c\right)\varepsilon_{1f}}{Ft_{50}}, \qquad (Д.1)$$

где $h$ — начальная высота образца грунта, мм;

$\Delta h_c$ — изменение в высоте образца в конце консолидации, мм;

$\varepsilon_{1f}$ — ожидаемая относительная вертикальная деформация при разрушении, д. е. (принимается по результатам первого разрушения, для которого скорость рассчитывают при $\varepsilon_{1f} = 0{,}1$);

$F$ — коэффициент, зависящий от типа испытаний и условий дренирования;

$t_{50}$ — время, требуемое для 50 % фильтрационной консолидации образца грунта, мин (см. приложение Г).

Значения $F$, соответствующие 95 % диссипации порового давления, приведены в таблице Д.1.

Таблица Д.1 — Значения коэффициента $F$

| Условия дренирования в течение уплотнения (консолидации) | Значения $F$ для $\frac{h_i}{d_i} = 2$ | |
|---|---|---|
| | КН-испытание | КД-испытание |
| Одностороннее | 2,1 | 34 |
| Двухстороннее | 8,4 | 34 |
| Радиальное и одностороннее | 7,2 | 56 |
| Радиальное и двухстороннее | 9,2 | 64 |

Примечания

1 Одностороннее дренирование осуществляется с одного торца образца, двустороннее — с двух торцов.

2 Условия дренирования в течение консолидации и дренированного сдвига должны быть одинаковыми для всех значений $F$.

3 Радиальное дренирование — при наличии на боковой поверхности образца полос фильтровальной бумаги (см. 8.2.2).

## Приложение Е
## (рекомендуемое)

## Определение коэффициента неравномерности расширения образца грунта при трехосном сжатии

Е.1 Коэффициент неравномерности расширения образца $b$ при трехосных испытаниях определяют по формуле

$$b = \frac{1 - \frac{A_c}{A_k}}{\frac{\Delta h_k}{h_c}}, \qquad \textbf{(Е.1)}$$

где $A_c$ — площадь поперечного сечения образца в конце этапа реконсолидации для НН-испытаний и этапа консолидации для КН- и КД-испытаний, см$^2$;

$A_k$ — площадь поперечного сечения в средней части образца после испытания, см$^2$;

$h_c$ — высота образца в конце этапа реконсолидации для НН-испытаний и этапа консолидации для КН- и КД-испытаний, см;

$\Delta h_k$ — полная деформация после испытания, см.

Примечание — Площадь поперечного сечения образца $A_c$ в конце этапа реконсолидации для НН-испытаний принимается равной площади начального поперечного сечения образца $A_0$.

Е.2 Площадь поперечного сечения образца $A_c$ для КН- и КД-испытаний рассчитывают по формуле

$$A_c = \frac{V - \Delta V_c}{h_c}, \qquad (Е.2)$$

где $\Delta V_c$ — изменение объема образца в конце этапа консолидации, см$^3$;

$V$ — начальный объем образца, см$^3$.

Е.3 Площадь поперечного сечения в средней части образца $A_k$ допускается определять по результатам прямых измерений диаметра образца после испытания штангенциркулем, при этом диаметр вычисляют как среднеарифметическое значение трех измерений в центральной части образца под углом в 120°.

Примечание — Метод не может быть использован при неограниченных деформациях образца и его разрушении на части, поэтому при разрушении необходимо контролировать максимальные деформации образца, в особенности для статического нагружения. Превышение деформаций образца свыше 15 % не допускается.

**Приложение Ж**
**(рекомендуемое)**

## Образцы графического оформления результатов испытания грунта методом трехосного сжатия

### Ж.1 Графические построения при определении прочностных характеристик

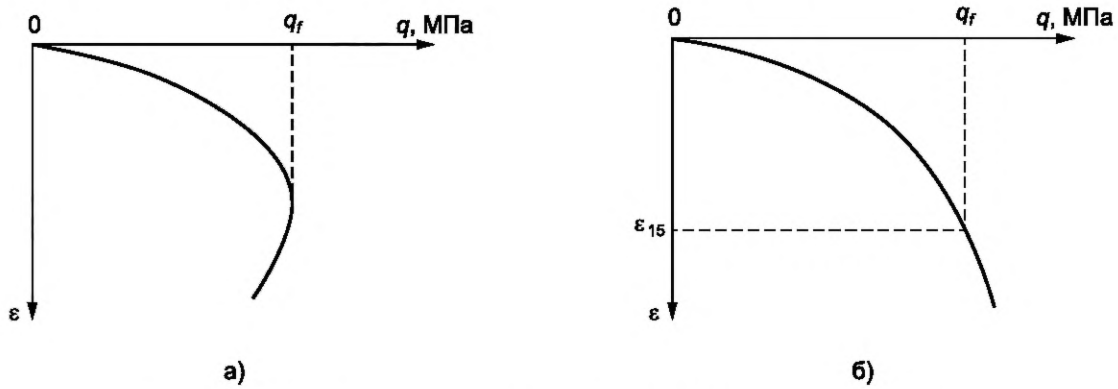



Рисунок Ж.1.1 — Графики разрушения образца а) при выраженном сдвиге, б) при отсутствии выраженного сдвига

График 1 — $\varepsilon_1 = f(\sigma_1 - \sigma_3)$

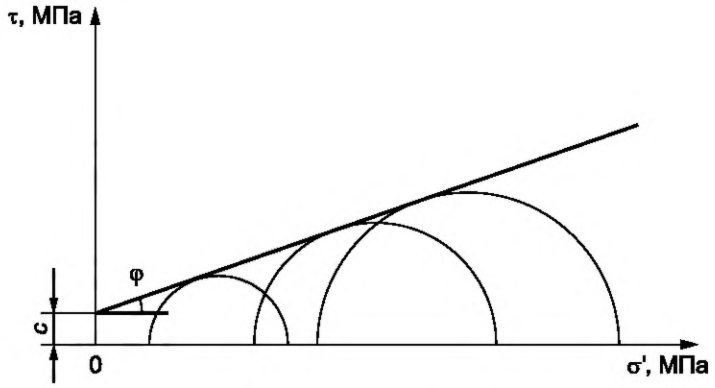



Рисунок Ж.1.2 — Диаграмма прочности Кулона — Мора

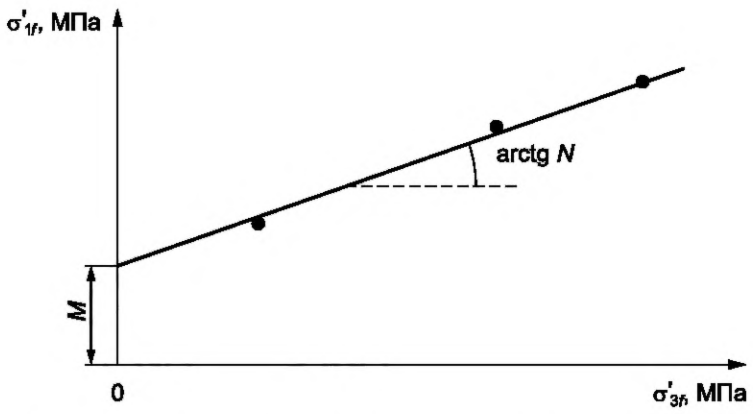



Рисунок Ж.1.3 — График зависимости вертикального эффективного напряжения при разрушении от горизонтального эффективного напряжения при разрушении — $\sigma'_{1f} = f\left(\sigma'_{3f}\right)$

### Ж.2 Графические построения при определении деформационных характеристик

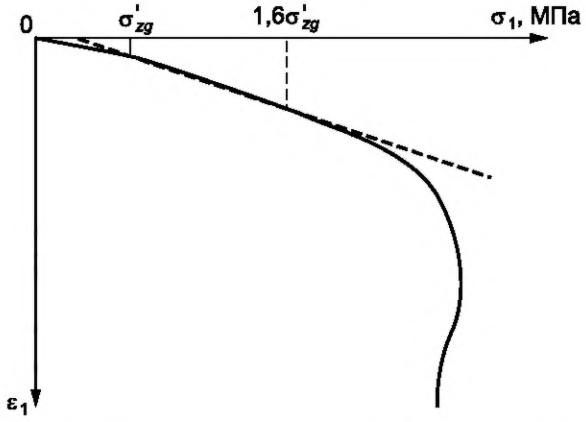



Рисунок Ж.2.1 — Иллюстрация графического определения модуля деформации $E$

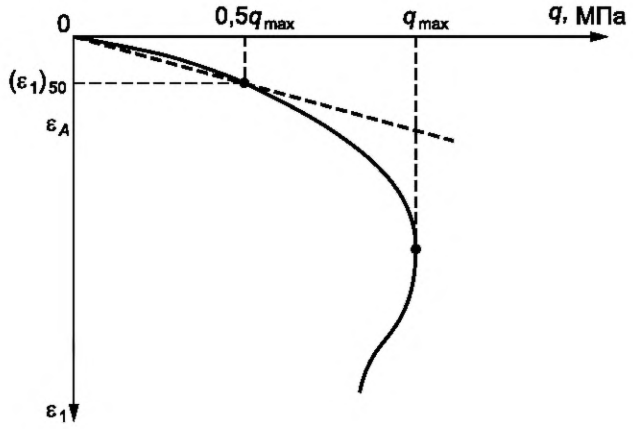



Рисунок Ж.2.2 — Иллюстрация графического определения модуля деформации $E_{50}$

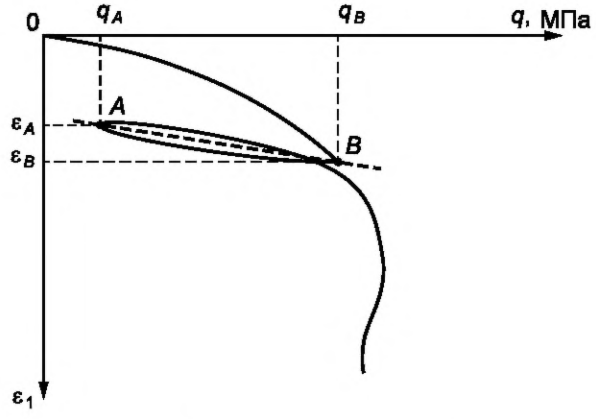



Рисунок Ж.2.3 — Иллюстрация графического определения модуля повторного нагружения $E_{ur}$

**Приложение И**
**(рекомендуемое)**

## Анизотропная реконсолидация и консолидация образца при КН- и КД-испытаниях водонасыщенных в природных условиях грунтов

### И.1 Анизотропная реконсолидация

И.1.1 Анизотропная реконсолидация выполняется для восстановления природного напряженного состояния водонасыщенных грунтов природной влажности, залегающих ниже уровня подземных вод, перед проведением КД- и КН-испытаний.

И 1.2 Анизотропная реконсолидация выполняется после водонасыщения и восстановления природной плотности образцов по методу ВФС в соответствии приложением В.

И.1.3 Анизотропная реконсолидация выполняется при закрытом дренаже путем регулирования (снижения или увеличения) вертикальной нагрузки до достижения в образце величины вертикального эффективного напряжения от собственного веса грунта.

И.1.4 Вертикальное нагружение до значения $\sigma'_{zg}$ проводят в соответствии с 8.2.7, 8.2.8.

Примечание — Для переуплотненных грунтов может потребоваться снижение (разгрузка) вертикального напряжения, которое проводится путем приложения растягивающего усилия к верхнему штампу. Для этого конструкция камеры стабилометра типа А должна предусматривать жесткое или шарнирное соединение верхнего штампа со штоком.

### И.2 Анизотропная консолидация

И.2.1 Анизотропная консолидация моделирует процесс консолидации грунта в массиве при отсутствии возможности его бокового расширения.

И.2.2 Для выполнения анизотропной консолидации в системе противодавления устанавливается давление, равное поровому, достигнутому на этапе анизотропной реконсолидации в соответствии с И.1.

И.2.3 Анизотропная консолидация осуществляется посредством вертикального нагружения образца при поддержании размеров его поперечного сечения за счет компенсационного приращения горизонтальных напряжений.

И.2.4 Значение вертикального эффективного напряжения при анизотропной консолидации принимают равным значению эффективного напряжения консолидации $\sigma'_{ci}$ в соответствии с 8.2.3.

И.2.5 Вертикальное нагружение до $\sigma'_{ci}$ при анизотропной консолидации выполняется в соответствии с 8.2.4.

И.2.6 После завершения анизотропной консолидации проводят разрушение образца для КН-испытаний в соответствии с 8.2.7—8.2.10, а для КД-испытаний — в соответствии с 8.3.4—8.3.7.

## Приложение К
## (рекомендуемое)

## Определение угла дилатансии

К.1 Угол дилатансии при проведении трехосных испытаний определяют, используя данные, полученные при кинематическом разрушении образца.

К.2 Угол дилатансии $\psi$ по результатам трехосных испытаний определяется для участка, соответствующего разрушению образца (см. рисунок К.1) по формуле

$$\psi = \arcsin\left(\frac{\Delta\varepsilon_v}{\Delta\varepsilon_v - 2\Delta\varepsilon_1}\right), \quad (К.1)$$

где $\Delta\varepsilon_v$ — приращение относительной объемной деформации образца;

$\Delta\varepsilon_1$ — приращение относительной осевой деформации образца.

Примечания

1 При использовании формулы (К.1) следует соблюдать правило знаков. Положительный знак $\varepsilon_v$ соответствует уплотнению (контракции) образца, отрицательный знак $\varepsilon_v$ — разуплотнению (дилатансии) образца.

2 В случае невозможности однозначного определения участка разрушения образца или фиксации разрушения при достижении $\varepsilon_1 = 0{,}15$ угол дилатансии определяют для участка максимального наклона кривой в координатах: относительная осевая деформация $\varepsilon_1$ (абсцисса) — относительная объемная деформация $\varepsilon_v$.

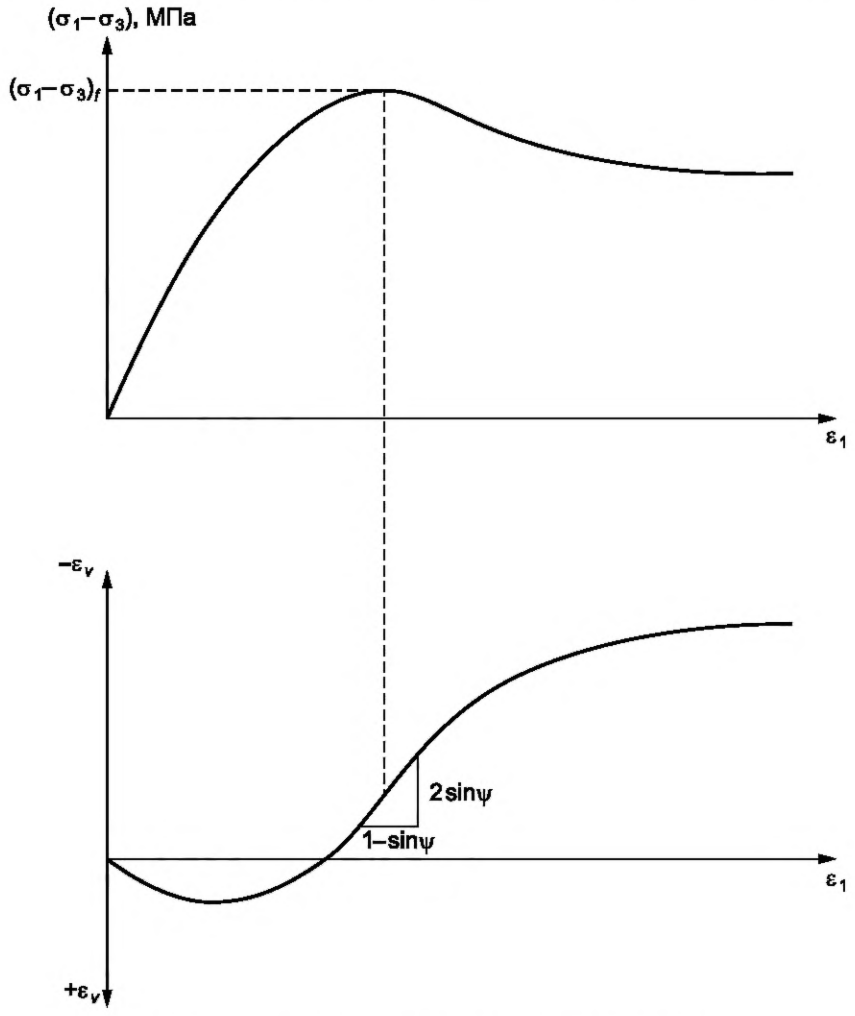



Рисунок К.1 — График к определению угла дилатансии

УДК 624.131.4.001.4:006.354 МКС 93.020

Ключевые слова: трехосные испытания, трехосное сжатие, характеристики прочности, консолидация, реконсолидация, коэффициент фильтрационной консолидации, модуль деформации

**БЗ 11—2020/176**

Редактор *В.Н. Шмельков*
Технические редакторы *В.Н. Прусакова, И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 15.10.2020. Подписано в печать 13.11.2020. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,35.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

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

**Поправка к ГОСТ 12248.3—2020 Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия**

| В каком месте | Напечатано | Должно быть |
|---|---|---|
| Предисловие. Таблица согласования | — | Узбекистан \| UZ \| Узстандарт |

(ИУС № 4 2021 г.)

**Поправка к ГОСТ 12248.3—2020 Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия**

| В каком месте | Напечатано | Должно быть |
|---|---|---|
| Предисловие. Таблица согласования | — | Азербайджан \| AZ \| Азстандарт |

(ИУС № 7 2023 г.)

gost.e-ecolog.ru