ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 54477— 2011

ГРУНТЫ

Методы лабораторного определения характеристик деформируемости грунтов в дорожном строительстве

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Дорожный научно-исследовательский институт «СоюздорНИИ» (ОАО «СоюздорНИИ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 октября 2011 г. № 476-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Июнь 2019 г.

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

© Стандартинформ, оформление, 2012, 2019

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

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 1
4 Общие положения . . . 3
5 Методы определения показателей деформационных свойств связных грунтов . . . 4
5.1 Сущность метода компрессионного сжатия . . . 4
5.2 Приборы и оборудование . . . 5
5.3 Подготовка к испытанию прибора и образца . . . 5
5.4 Проведение испытания на компрессию и консолидацию по открытой и закрытой схемам . . . 6
5.5 Обработка результатов испытаний . . . 9
Приложение А (рекомендуемое) Журнал записи компрессионных и консолидационных испытаний . . . 11
Приложение Б (рекомендуемое) Методика изготовления образцов грунта с ненарушенной структурой . . . 13
Приложение В (рекомендуемое) Методика изготовления образцов грунта с заданными значениями влажности и плотности сухого грунта . . . 14
Приложение Г (рекомендуемое) Методика определения структурной прочности грунта на сжатие . . . 15
Приложение Д (рекомендуемое) Способы назначения схемы испытания . . . 16
Приложение Е (справочное) Характеристики деформируемости грунтов, методы их определения в условиях компрессионного сжатия и регламентирующие документы . . . 17
Приложение Ж (рекомендуемое) Пример графического оформления результатов испытаний грунтов на компрессию . . . 19
Приложение И (справочное) Варианты видов консолидационной кривой . . . 20
Приложение К (рекомендуемое) Способы выделения характерных участков на кривой консолидации по геометрическим признакам . . . 21
Библиография . . . 23

Введение

В настоящее время методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости грунтов регламентируются ГОСТ 12248, предназначенным для исследований для инженерного строительства грунтов класса II (природных немерзлых) и класса III (природных мерзлых); групп «связные» и «несвязные» типов «минеральные», «органоминеральные», «органические», а также всех их видов (см. ГОСТ 25100). Дополнительные положения методики оценки сжимаемости (если это необходимо) приведены:

- для разновидностей глинистых грунтов (класса II) — по деформации набухаемости, деформации просадочности;
- для разновидностей песков (класса II) — по коэффициенту пористости;
- для перечисленных выше грунтов — по степени засоления.

Анализ теоретических основ компрессионного и консолидационного процесса, на которых базируется методика компрессионно-консолидационных испытаний, приведенная в ГОСТ 12248, а также анализ практического опыта использования методики показали, что для такого вида инженерного строительства, как дорожное, требуется его пересмотр. Необходимые изменения, особенно в части определения показателей сжимаемости грунтов, предопределяются многими причинами, основными из которых являются:

- линейность строительных работ, большая протяженность сооружения;
- необходимость в большом объеме использовать местные грунты, которые, как правило, относятся к «слабым» (согласно дорожной классификации грунтов);
- многообразие природных условий в районах проложения трассы автомобильных дорог, обуславливающих специфику поведения грунтов;
- напряженно-деформированное состояние грунтов в основании линейного сооружения, нагрузки от которого меньше, чем от других сооружений (промышленных и гражданских);
- допуски при проектировании бóльших по величине и интенсивности деформаций осадки по сравнению с другими сооружениями;
- необходимость более детального анализа условий работы грунта в системе «сооружение — грунт», в частности условий его (грунта) нагружения и оттока поровой воды;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований закономерностей осадки связных грунтов в основании и в насыпи с учетом их исходного состояния, структуры и условий работы в зоне действия сооружения или вышележащих слоев.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГРУНТЫ

Методы лабораторного определения характеристик деформируемости грунтов в дорожном строительстве

Soils.
Methods for laboratory determination of soil deformation characteristics in road construction

Дата введения — 2012—05—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы лабораторного определения характеристик сжимаемости немерзлых связных грунтов в условиях компрессионного сжатия для проектирования автомобильных дорог и их реконструкции в сложных инженерно-геологических условиях.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 5180 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик

ГОСТ 10650 Торф. Метод определения степени разложения

ГОСТ 12248 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости

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

ГОСТ 25100 Грунты. Классификация

ГОСТ 30416 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения

ГОСТ Р 8.563 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений

ГОСТ Р 8.568 Государственная система обеспечения единства измерений. Термометры сопротивления платиновые «эталонные» 1-го и 2-го разрядов. Методика проверки

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

3 Термины и определения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 30416 и ГОСТ 12248, а также следующие термины и их определения:

3.1.1 **слабые грунты:** По [1], [2].

Издание официальное

3.1.2 **глинистые грунты повышенной влажности:** По [2].

3.1.3 **естественная структура грунта:** Строение грунта в условиях его природного залегания.

3.1.4 **ненарушенная структура грунта:** Структура грунта в образце, отобранном из массива и сохранившем природную структуру.

3.1.5 **нарушенная структура грунта:** Структура грунта в образце, подвергшемся различным воздействиям или сформованном при заданной плотности-влажности.

3.1.6 **искусственная (техногенная) структура:** Структура грунта, полученная в процессе технологических операций при возведении грунтового сооружения.

3.1.7 **паста:** Грунт, полученный после его высушивания, размельчения и добавления воды до влажности на границе текучести.

3.1.8 **двухфазное состояние грунта (водонасыщенное):** Состояние грунта при коэффициенте водонасыщения ≥ 0,95 и практическом отсутствии газообразной фазы.

3.1.9 **трехфазное состояние грунта:** Состояние грунта при коэффициенте водонасыщения менее 0,95 и содержащем газообразную фазу в количественном отношении более 5 % объема пор.

3.1.10 **сжимаемость:** Изменение объема грунта под влиянием сжатия от действующей внешней нагрузки в условиях невозможности бокового расширения, которое характеризует его компрессионные свойства.

3.1.11 **консолидация:** Затухающее во времени деформирование нескальных грунтов под воздействием внешней нагрузки.

3.1.12 **компрессионные параметры:** Показатели, зависящие от физико-механических свойств грунтов и уплотняющей нагрузки и характеризующие зависимость стабилизированной осадки от нагрузки. Определяются по компрессионной кривой, построенной по результатам испытаний на компрессию.

3.1.13 **структурная прочность грунта на сжатие:** Комплексная характеристика поведения грунта, эквивалентная пороговой нагрузке, только после превышения которой начинается интенсивное сжатие грунта (при $\lambda > 0{,}005$, где λ — относительная деформация).

3.1.14 **модуль деформации грунта:** Обобщенная характеристика деформируемости грунта, представляющая собой коэффициент пропорциональности линейной связи между приращениями давления на образец и его деформацией.

3.1.15 **модуль осадки:** Относительная деформация грунта, выраженная в промилях, определяемая по компрессионной кривой для заданной нагрузки.

3.1.16 **консолидационные параметры:** Показатели, зависящие от физико-механических свойств грунтов и времени воздействия постоянной нагрузки, характеризующие зависимость нестабилизированной осадки от времени. Определяют по консолидационной кривой, построенной по результатам испытаний на консолидацию.

3.1.17 **консолидационный параметр первого этапа консолидации (дофильтрационной консолидации):** Угловой коэффициент первого прямолинейного участка консолидационной зависимости вида $\lambda = f(\lg t)$.

3.1.18 **консолидационный параметр второго этапа (первичной фильтрационной консолидации):** Коэффициент консолидации (или обобщенные консолидационные параметры, показатель степени консолидации).

3.1.19 **консолидационный параметр третьего этапа (вторичной фильтрационной консолидации):** Показатель степени консолидации.

3.1.20 **консолидационный параметр четвертого этапа (консолидации объемной ползучести):** Угловой коэффициент четвертого прямолинейного участка кривой вида $\lambda = f(\lg t)$.

3.1.21 **схема испытаний:** Схема, назначенная при проектировании из условий работы грунта в системе «сооружение — грунт» и указанная в задании на испытание.

Основные схемы испытаний:

- по режиму нагружения образца;
- по условию отжатия поровой воды из образца.

3.1.22 **режим нагружения образца:** Время передачи ступени нагрузки на образец и время ее выдерживания.

3.1.23 **условие отжатия поровой воды из образца:** Создание условий для возможности отжатия поровой воды (открытая схема) и условий, при которых отжатие поровой воды исключается (закрытая схема).

4 Общие положения

4.1 Методики компрессионных и консолидационных испытаний, представленные в настоящем стандарте, распространяются на грунты класса II, на группы — связные грунты, на типы — минеральные и биогенные (органические и органоминеральные), а также на все их виды по ГОСТ 25100.

4.2 Настоящий стандарт устанавливает следующие методы лабораторного определения характеристик деформируемости грунтов:

- компрессионное сжатие (с заданным режимом нагружения);
- компрессионно-консолидационные испытания (по различным схемам);
- консолидационные испытания.

4.3 Представленные в настоящем стандарте методики компрессионных и консолидационных испытаний предусматривают определение показателей сжимаемости без бокового расширения при отводе поровой жидкости в вертикальном направлении вверх и вниз или только вверх либо без отвода воды. Полученные параметры следует учитывать при проектировании конструкции насыпи (в случаях использования слабых грунтов в основании насыпи и глинистых грунтов повышенной влажности в насыпи) в расчетах значений конечной осадки грунта и времени достижения требуемой степени консолидации (или интенсивности осадки) под расчетной нагрузкой при моделировании в опыте условий реального сжатия грунта.

4.4 Общие требования к лабораторным испытаниям грунтов, оборудованию, приборам, лабораторным помещениям — по ГОСТ 30416.

4.5 Для испытуемых грунтов должны быть определены физические характеристики и рассчитаны следующие показатели: плотность сухого грунта, коэффициент пористости, коэффициент водонасыщения (а также другие характеристики в соответствии с техническим заданием на испытания).

Такие характеристики грунтов, как относительная просадочность и относительное набухание, и другие следует определять по ГОСТ 12248.

4.6 Кроме требований к лабораторным испытаниям грунтов по ГОСТ 30416, к методике определения деформационных свойств грунтов по 4.1 предъявляются следующие требования к качеству образцов и методу испытаний:

- состояние образца должно соответствовать состоянию грунта в естественном залегании (основании) или заданному по плотности-влажности (в сооружении);
- граничные и временные условия загружения и деформирования грунта в сооружении или в основании должны моделироваться при испытаниях;
- для учета совместных условий работы грунта и конструкции должны также моделироваться внешние и внутренние факторы. К внешним факторам относят: статические нагрузки на грунт, изменения гидрогеологических условий, режим нагружения, к внутренним факторам — изменения структуры и состояния грунта за счет физико-механических процессов, происходящих при его уплотнении.

4.7 Объем испытаний на компрессию и консолидацию зависит от числа выделенных литологически однородных слоев в толще грунта (или в расчетных слоях грунта в сооружении), условий работы грунта и от стадии проектирования [3], [4]. Кроме того, при назначении объема испытаний для каждого выделенного слоя число испытаний должно назначаться в соответствии с требованиями статистической обработки. Следовательно, число образцов и схема испытаний на компрессию и консолидацию в каждом конкретном случае должны указываться в техническом задании на испытания. Схема испытания должна включать в себя: значения расчетных нагрузок, режим их приложения, условия дренирования (одностороннее, двухстороннее) и отжатия (оттока) поровой воды (открытая или закрытая схема).

4.8 При проведении комплекса испытаний образцов грунта с ненарушенной структурой необходимо, чтобы все испытания проводили на образцах одинаковой сохранности.

При испытаниях образцов с заданной плотностью и влажностью до начала первого испытания следует подготовить столько грунта, чтобы его хватило на все предусмотренные испытания.

Период времени испытаний всего комплекса должен быть как можно короче, но с учетом времени выдерживания ступеней нагрузки.

4.9 Определяют три группы показателей свойств грунтов: классификационные, косвенные и прямые.

Под классификационными показателями понимают показатели, применяемые для классифицирования или сравнения одного показателя с другим.

Косвенные показатели — это показатели, установленные по существующим корреляционным зависимостям с другими прямыми показателями и используемые для предварительной оценки свойств грунтов и ориентировочных расчетов их деформаций.

Прямые показатели — это показатели, определяемые непосредственно из опыта, дающие количественное выражение свойств и используемые для окончательных расчетов деформаций.

4.10 Настоящий стандарт устанавливает прямые показатели деформационных свойств грунтов (минеральных, органоминеральных, органических), которые могут быть использованы также и как классификационные.

Прямой метод испытаний применяют для установления компрессионного и консолидационного параметра, если все показатели, используемые для его вычисления, могут быть определены из опыта.

4.11 Кроме того, показатели механических свойств грунтов могут быть стандартными (используемыми для расчетов, выполняемых в соответствии с нормативными документами) и специальными (отличающимися от принятых в нормативных документах и определяемыми в соответствии с новыми расчетными схемами для прогноза поведения конструкции).

4.12 Методы испытаний могут быть гостированными, т. е. регламентированными официальными стандартами, и традиционными, т. е. общепринятыми.

4.13 В настоящем стандарте приведены:

- стандартные методики компрессионно-консолидационных испытаний грунтов по ГОСТ 12248, а также традиционные (общепринятые);
- стандартные показатели деформационных свойств грунтов в условиях компрессионного сжатия по ГОСТ 12248, а также традиционные (общепринятые).

4.14 Основой для вычисления компрессионных характеристик грунтов являются:

- компрессионная кривая, построенная в координатах λ_i, P_i, где λ_i — относительная деформация, P_i — ступень нагрузки;
- значения относительной деформации образца грунта, фиксированные на момент достижения условий стабилизации деформации под заданными ступенями нагрузки $\lambda_{кон}$.

4.15 Основой для вычисления консолидационных характеристик грунтов являются:

- консолидационные кривые, построенные в координатах λ_i, $\lg t_i$ или λ_i, $\sqrt{t_i}$, или λ_i, $\ln t_i$ (где t_i — время достижения λ_i);
- время достижения заданной относительной деформации λ_i или степени консолидации (выражение λ в процентном соотношении) u_i, % образца грунта с заданными условиями фильтрации.

5 Методы определения показателей деформационных свойств связных грунтов

5.1 Сущность метода компрессионного сжатия

5.1.1 Испытание грунта методом компрессионного сжатия проводят для определения следующих характеристик деформируемости:

- относительная деформация λ_{Pi},
- модуль осадки e_{Pi},
- модуль деформации E_{Pi},
- структурная прочность грунта на сжатие $P_{стр}$,
- консолидационный параметр $m_{дф}$,
- параметр объемной ползучести m_n,
- коэффициент консолидации первичной фильтрационной консолидации c_u,
- показатель степени консолидации n,
- обобщенный консолидационный параметр b_λ.

5.1.2 Характеристики по 5.1.1 определяют по результатам испытаний образцов грунта в компрессионных приборах (одометрах), исключающих возможность бокового расширения образца при их нагружении вертикальной нагрузкой (нормальным давлением).

5.1.3 Диапазон нагрузок, при которых проводят компрессионные испытания, и ступени нагружения устанавливают или принимают в пределах полуторного значения проектной нагрузки на грунтовое основание (или на расчетные слои в насыпи). Нагрузка, под которой должен уплотняться образец в испытании на консолидацию, устанавливают расчетом.

5.1.4 Для испытаний используют образцы грунта:

- ненарушенного сложения с природной влажностью, отобранные из основания насыпи;
- ненарушенного сложения — отобранные из основания насыпи и водонасыщенные;
- нарушенного сложения — с заданными значениями плотности и влажности;
- с ненарушенной структурой — отобранные из насыпи.

5.1.5 Испытания проводят по следующим схемам, которые указываются в задании:

- открытая, при которой обеспечивается свободный отток воды из образца через штампы при различных условиях фильтрации (односторонняя, двухсторонняя);
- закрытая, при которой отжатие воды из образца исключается;
- гостированный режим приложения нагрузки;
- заданный режим приложения нагрузки.

5.1.6 Испытуемый образец должен иметь форму цилиндра при отношении высоты к диаметру 1:3,5.

5.1.7 В процессе компрессионно-консолидационных испытаний ведут журнал по ГОСТ 12248 и дополнительно предлагаемой форме (см. приложение А).

5.2 Приборы и оборудование

5.2.1 В состав установки для компрессионных и консолидационных испытаний грунтов в условиях компрессионного сжатия должны входить.

- одометр, состоящий из рабочего кольца с внутренними размерами в зависимости от размеров цилиндрической обоймы, перфорированных штампов (верхнего и нижнего в виде перфорированного вкладыша), поддона с емкостью для воды;
- механизм для вертикального нагружения образца грунта;
- устройства для измерения вертикальных деформаций образца.

5.2.2 Для испытаний торфов, сапропелей, илов, а также глинистых грунтов с различным содержанием органического вещества мягкопластичной, текучепластичной и текучей консистенции следует использовать модернизированные приборы со следующими показателями:

- приборы должны быть снабжены облегченными штампами и уравновешенными загрузочными устройствами;
- должна обеспечиваться передача на образец малых ступеней нормального давления и возможность развития значительных деформаций сжатия (до 50 % высоты образца) и их измерения;
- перфорация штампов должна обеспечивать свободный отток отжимаемой из образца поровой воды.

5.2.3 Предпочтительно, чтобы одометры были оборудованы программным обеспечением, датчиками напряжений и деформаций, а также устройствами автоматической регистрации и записи деформации образца при его уплотнении. Все перечисленное выше оборудование должно пройти аттестацию (см. раздел 2).

5.2.4 Компрессионные приборы следует тарировать на сжатие с помощью металлического вкладыша. Максимальное давление при тарировке должно быть равно 0,6 МПа, нагружение ступенями — 0,05 МПа с выдержкой 2 мин при каждой загрузке и разгрузке прибора.

Средства измерений должны подвергаться периодической поверке (калибровке), а испытательное оборудование — аттестации, включающей в себя обязательную тарировку для учета собственных деформаций прибора (сжимаемость деталей и фильтров) в соответствии с требованиями к их эксплуатации.

Для исключения деформаций прибора из показаний деформации образца грунта под той или иной нагрузкой, полученных при испытании, следует вычесть показания деформации прибора, полученные при его тарировании под теми же нагрузками.

Измерительные приборы должны периодически подвергаться метрологическим проверкам и иметь ведомость поправок в пределах рабочего диапазона каждого прибора (см. ГОСТ Р 8.563, ГОСТ Р 8.568).

5.2.5 Погрешность измерений при испытаниях не должна превышать:

0,02 г — при определении массы образца;

0,1 мм — при измерении геометрических размеров рабочего (режущего) кольца, определяющего размеры образца;

0,01 мм — при измерении деформаций образца;

1 % — при измерении прикладываемой нагрузки (ступени нагружения).

5.3 Подготовка к испытанию прибора и образца

5.3.1 Подготовку приборов и измерительных устройств к компрессионным и консолидационным испытаниям проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 12248 и ГОСТ 30416.

Перед испытанием измеряют диаметр и высоту рабочего кольца и взвешивают его с точностью, указанной в 5.2.6.

За высоту и диаметр рабочего кольца принимают их среднеарифметическое значение (из нескольких измерений).

5.3.2 Для создания открытой схемы испытаний необходимо предусмотреть использование кружков фильтровальной бумаги, вырезанных строго по внутреннему диаметру рабочего кольца, для создания закрытой системы — водонепроницаемых прокладок, подготовленных аналогично водопроницаемым, но из другого материала.

5.3.3 В период подготовки и проведения испытаний необходимо предусмотреть меры по предохранению образцов грунта от высыхания (создание защитных оболочек, использование чехлов и т. п.).

5.3.4 Для водонасыщения (доувлажнения) образцов грунта допускается использовать воду питьевого качества, если в задании на испытание не приведены указания по использованию дистиллированной либо грунтовой воды с места отбора образца.

5.3.5 Методика подготовки образцов к испытаниям зависит от структуры грунта.

Методика изготовления образца грунта с ненарушенной структурой приведена в приложении Б.

Методика изготовления образца грунта с заданными значениями влажности и плотности сухого грунта приведена в приложении В.

5.3.6 Для компрессионно-консолидационных испытаний грунтов с ненарушенной структурой из общего числа монолитов следует отобрать «представительные» монолиты для каждого выделенного слоя, природная влажность которых соответствует расчетной влажности для данного слоя (среднемедианное значение по графику рассеяния значений природной влажности для всего слоя), указанной в задании.

5.3.7 Требуемые значения влажности и плотности образцов грунта с нарушенной структурой устанавливают, исходя из расчетной схемы сооружения и проектируемой конструкции, и указывают в задании на испытание.

5.3.8 Одновременно с подготовкой образцов должны быть определены показатели физических свойств испытуемых грунтов: влажность, пределы пластичности, плотность, плотность частиц грунта, гранулометрический состав, содержание органических веществ, степень разложения и зольность (для торфов) в соответствии с указанными в разделе 2 настоящего стандарта, ГОСТ 5180, ГОСТ 10650, ГОСТ 12536, ГОСТ 25100.

5.4 Проведение испытания на компрессию и консолидацию по открытой и закрытой схемам

5.4.1 Перед испытаниями при намеченной в задании двухсторонней фильтрации воды из образца верхний и нижний его торцы следует покрыть влажными кружками фильтровальной бумаги. При односторонней фильтрации воды из образца нижний его торец покрывают водонепроницаемой прокладкой или используют специальный вкладыш без перфорации, предусмотренный в конструкции прибора. Эти же вкладыши используют для создания закрытой схемы испытаний.

5.4.2 Кольцо с образцом помещают в одометр и устанавливают его под загрузочное устройство компрессионного прибора. Устанавливают на нулевой отсчет индикаторы или другие измерительные устройства (при показаниях, отличных от нуля, их записывают в журнале как начальные).

5.4.3 Водонасыщение следует проводить для перевода образца из трехфазного состояния в двухфазное (полностью водонасыщенное). При предварительном насыщении грунта водой прибор с образцом помещают под пресс; опускают винт арретира так, чтобы грунт не набухал, или доводят арретирное кольцо прибора до соприкосновения с верхним штампом. Насыщают образец по 5.3.4 грунтовой водой, взятой с места отбора образца, грунтовой вытяжкой или дистиллированной водой. Допускается использовать водопроводную воду при небольшой ее минерализации. Для водонасыщения допускается использовать специальные устройства или трубки. В последнем случае уровень воды в трубке устанавливают выше верхней грани рабочего кольца и поддерживают его на протяжении всего опыта. Допускается водонасыщать образец методом обратного давления.

5.4.4 После покрытия водой всей поверхности верхнего штампа водонасыщение можно завершить.

5.4.5 При необходимости испытания образца в водном окружении спустя 3 мин после приложения 1-й ступени нагрузки повторить операции по 5.4.3.

5.4.6 Для проведения компрессионных испытаний к грунту прикладывают нагрузку нарастающими ступенями (без ударов). Для образцов глинистых грунтов текучей консистенции, сапропелей и торфов с влажностью более 500 % рекомендуются следующие ступени нагрузок: 0,0025; 0,005; 0,01; 0,025; 0,05; 0,10; 0,20 МПа и далее до заданной максимальной нагрузки с указанным шагом. Для образцов глинистых грунтов пластичной консистенции, сапропелей и торфов с влажностью менее 500 % рекомендуются следующие ступени нагрузок: 0,01; 0,025; 0,05; 0,10; 0,20 МПа и далее до заданной максимальной нагрузки с указанным шагом.

5.4.7 В зависимости от состояния грунта число ступеней может быть в соответствии с заданием на испытание сокращено. В зависимости от условий работы грунта в системе «сооружение — грунт» в задании на испытания указывают специальный режим нагружения образца.

5.4.8 Каждую ступень нормального давления выдерживают до условной стабилизации деформации образца. Во всех случаях принимаемая за условную стабилизацию деформации интенсивность осадки не должна превышать 0,01 мм:

- для супесей — за 16 ч;
- для суглинков и глин, органоминеральных и органических грунтов — за 24 ч.

5.4.9 При бóльших осадках образца необходимо следить за системой нагружения и регистрацией деформаций.

Одометр с образцом необходимо защищать от сотрясений и резких температурных колебаний.

5.4.10 Для определения структурной прочности грунта на сжатие $P_{стр}$ первую и последующие ступени нагрузки необходимо принимать равными 0,0025 МПа до момента начала интенсивного сжатия образца грунта. За начало интенсивного сжатия принимают значение относительной деформации образца $\lambda = 0{,}005$. Графический способ определения структурной прочности грунта на сжатие приведен в приложении Г.

5.4.11 Для дальнейшего нагружения образца после определения $P_{стр}$ за очередную ступень нагрузки принимают ближайшее к P_0 значение в соответствии 5.4.6.

5.4.12 Допускаются следующие варианты компрессионных и консолидационных испытаний, которые должны оговариваться в задании на испытания (см. 5.4.13—5.4.15).

5.4.13 Если схема консолидационных опытов не оговорена в задании на испытания, то на каждой ступени нормального давления на образец грунта записывают значения деформации в следующей последовательности:

- первое — сразу после приложения первой ступени, затем через 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10; 20; 30 мин и далее с интервалом 1 ч в течение первого рабочего дня;
- затем в начале и в конце рабочего дня до условной стабилизации деформации грунта (см. 5.4.8).

5.4.14 Испытание на консолидацию также совмещают с компрессионными испытаниями. Однако запись деформации во времени параллельно испытуемых идентичных образцов проводят при уплотнении под одной (расчетной) из прикладываемых ступеней нормального давления в соответствии с 5.4.13. При уплотнении под другими ступенями деформации фиксируют в момент их приложения и в конце рабочего дня, затем в начале и в конце рабочего дня до достижения условной стабилизации деформации (см. 5.4.8). Испытание по открытой или закрытой схеме проводят в зависимости от задания на испытания. Способ установления схем приведен в приложении Д.

5.4.15 Испытание на консолидацию проводят на идентичных образцах с одинаковыми или с разными условиями дренирования только под «расчетной» нагрузкой (под вертикальным давлением).

5.4.16 В необходимых случаях в соответствии с заданием на испытание может быть проведена разгрузка образца грунта в последовательности, обратной порядку нагружения, а также проведено повторное испытание грунта на компрессию.

5.4.17 По окончании деформации образца грунта (достижение условной стабилизации деформации) под последней ступенью вертикального давления воду удаляют, если образец находился под водой, и снимают нагрузку. Разбирают одометр, извлекают рабочее кольцо с образцом, снимают фильтровальную бумагу, удаляют сухой фильтровальной бумагой остатки влаги с торцов образца и взвешивают его с указанной в 5.2.6 точностью.

5.4.18 Определяют объем образца, для чего площадь его поперечного сечения умножают на его конечную высоту, равную разности между начальной высотой образца и его осадкой.

Затем образец взвешивают и высушивают для определения его влажности по ГОСТ 5180.

5.4.19 Результаты определения конечных деформаций и деформаций во времени, а также расчетов показателей состояния до испытания и после испытания записывают по форме в журнал (см. приложение А).

В соответствии с заданием на испытания рассчитывают необходимые показатели физических свойств испытуемого грунта (плотность, коэффициент пористости, коэффициент водонасыщения и др.).

5.4.20 В соответствии с заданием на испытания может потребоваться определение тех или иных характеристик деформируемости (конечной и во времени) по результатам испытаний при разных условиях.

Если для определения консолидационных параметров грунтов достаточно создания одинаковых условий в параллельных испытаниях, то эти испытания проводят по схеме «одной кривой». При разных условиях испытания (путь фильтрации или высота образца) параллельные испытания проводят по схеме «двух кривых». В первом случае в результате каждого испытания получают одну консолидационную

кривую (см. 5.4.22), во втором — две (см. 5.4.23). Эти схемы применяют и к компрессионным испытаниям (см. 5.4.21). Основные деформационные характеристики грунтов, схемы испытаний, а также регламентирующие их документы приведены в приложении Е.

5.4.21 Методика проведения компрессионных испытаний по схемам «одной кривой», «двух кривых» приведены в ГОСТ 12248.

5.4.22 Методика проведения консолидационных испытаний по схеме «одной кривой» приведена в 5.4.1—5.4.12.

5.4.23 Методика проведения консолидационных испытаний по схеме «двух кривых» приведена ниже.

При испытаниях на серийно выпускаемых приборах их проводят на двух идентичных образцах с ненарушенной структурой (или на одинаковых образцах по плотности и влажности), с разными условиями дренирования (фильтрации) отжимаемой при уплотнении поровой воды: одностороннее и двухстороннее. Целесообразнее проводить такие испытания в специальных одометрах с различной высотой рабочего кольца (например, h_1 = 3,75 см, h_2 = 2,5 см) при соблюдении требуемого соотношения высоты кольца к его диаметру (см. 5.1.6). В последнем случае идентичные образцы испытывают при одинаковых условиях фильтрации.

При этом следует считать путь фильтрации воды при односторонней фильтрации равным высоте образца $h_ф = h_{обр}$, а при двухсторонней фильтрации — половине высоты образца $h_ф = \frac{h_{обр}}{2}$.

5.4.24 В задании на испытание может быть предусмотрено проведение консолидационных испытаний в полном или сокращенном объеме.

При выполнении полного объема испытаний должны быть испытаны три пары идентичных образцов, каждую из которых с разными путями фильтрации воды уплотняют под одной из трех намеченных нагрузок.

При назначении нагрузок следует исходить из расчетной нагрузки $P_2 = P_{расч}$ на расчетный слой (эта нагрузка должна быть средней). Значение минимальной нагрузки не должно быть менее структурной прочности грунта на сжатие $P_1 \geq P_{стр}$. Максимальная нагрузка не должна вызывать выдавливание грунта в зазоры прибора. Ее значение может быть принято по результатам предварительного расчета устойчивости данного слоя $P_3 \geq P_{без}$.

При выполнении сокращенного объема испытаний должна быть испытана пара идентичных образцов с разными путями фильтрации воды и уплотненных под расчетной нагрузкой.

5.4.25 В каждой серии компрессионных и консолидационных испытаний при сокращенном объеме необходимо предусмотреть параллельные испытания. При полном объеме параллельные испытания при хорошей сходимости результатов можно не проводить (см. 5.4.26).

5.4.26 За нормативное значение характеристики деформируемости грунта во времени принимают среднеарифметическое значение из параллельных испытаний или из проведенных по одной схеме, но при условии, что расхождение между ними не выходит за допустимые пределы.

За допустимые пределы расхождений в результатах указанных испытаний идентичных образцов грунта (и при прочих равных условиях) принимают:

- расхождение в значениях относительной деформации двух идентичных образцов, соответствующих той или иной ступени нагрузки (нормального давления), не превышающее 10 % конечного значения;
- расхождение во времени достижения той или иной относительной деформации идентичных образцов при одинаковых условиях испытания, не превышающее 5 % в течение 100 мин прохождения испытания, и 10 % — более 100 мин.

5.4.27 В случае превышения указанных допусков в результатах сравниваемых испытаний идентичных образцов испытания следует повторить в соответствии с 5.4 и заданиями на испытание.

В случае, если консолидационные кривые идентичных образцов с разными условиями фильтрации или уплотненных под разными ступенями нагрузки (нормального давления) пересекаются, испытания также следует повторить в соответствии 5.4 и с заданием на испытание.

5.4.28 В задании на испытание может быть предусмотрено проведение консолидационно-компрессионных испытаний с контролем изменения массы образца после уплотнения под каждой ступенью нагрузки (нормального давления).

5.4.29 С этой целью после достижения условий стабилизации деформации образца под очередной ступенью нагрузки (нормального давления) прибор следует разгрузить (см. 5.4.16, 5.4.17), образец грунта с кольцом взвесить, снова установить в одометр. Затем собирают прибор в указанной выше последовательности (см. 5.4.1—5.4.5).

5.4.30 Для продолжения испытания к образцу прикладывают ту же ступень нагрузки (нормального давления), под которой он уплотнялся, и выдерживают до достижения условной стабилизации

деформации. Записывают показания измерительных устройств, которые принимаются за начальные значения. Затем к образцу прикладывают следующую ступень нагрузки (нормального давления) и выдерживают до достижения условной стабилизации деформации.

Операции, описанные в 5.4.29, 5.4.30, повторяют до достижения максимально заданной ступени нагрузки (нормального давления), т. е. до завершения испытания.

По изменению массы влажного образца после каждой ступени нагрузки (нормального давления) и с учетом массы сухого образца после окончания испытания рассчитывают изменения влажности грунта W_{pi} в процессе всего испытания. В результате компрессионных испытаний строят графики $\lambda_{pi} = f(P_i)$ и $W_{pi} = f(P_i)$. Пример графического оформления компрессионных испытаний приведен в приложении Ж.

5.5 Обработка результатов испытаний

5.5.1 Для определения компрессионных характеристик испытуемого грунта по результатам определения деформации под каждой ступенью нагрузки вычисляют:

- абсолютную вертикальную стабилизированную деформацию образца грунта Δh_{pi}, мм, как среднеарифметическое показаний двух измерительных приборов минус поправка на деформацию компрессионного прибора (по тарировочной кривой);
- относительную вертикальную деформацию образца грунта по формуле

$$\lambda_{pi} = \frac{\Delta h_{pi}}{h_0}, \tag{5.1}$$

где h_0 — высота образца до испытания.

5.5.2 По вычисленным значениям λ_{pi} строят график зависимости $\lambda_i = f(P_i)$. Через экспериментальные точки проводят осредненную плавную кривую (см. приложение Ж).

5.5.3 В соответствии с заданием на испытание может быть задано определение модуля осадки e_{pi} и коэффициента пористости ε_{pi}. Значение e_{pi} (сжатие в миллиметрах столба грунта высотой 1 м) рассчитывают по формуле

$$e_{pi} = \lambda_{pi} \cdot 1000 \text{ мм/м}. \tag{5.2}$$

При определении коэффициента пористости ε_{pi} следует оценивать «активную» пористость грунта по формуле

$$\varepsilon_{pi} = \frac{\Delta h_{pi}}{h_0}(1 + \varepsilon_0), \tag{5.3}$$

где ε_0 — начальный коэффициент пористости, рассчитываемый по формуле

$$\varepsilon_0 = \frac{\rho_s}{\rho}(1 + 0.01 W_0) - 1, \tag{5.4}$$

где ρ_s — плотность частиц грунта;

ρ — плотность грунта;

W_0 — начальная влажность грунта.

Значение «активной» пористости может быть рассчитано через значения начальной и конечной влажности также по формуле [1].

5.5.4 Для определения значения структурной прочности грунта на сжатие необходимо кривую $\lambda_i = f(P_i)$ перестроить в виде $\varepsilon = f(\lg P)$ (см. приложение Г).

5.5.5 По полученным при консолидационных испытаниях значениям λ_i и t_i строят кривую консолидации вида $\lambda = (\lg t)$ для каждого образца грунта. Если испытание проводили на двух идентичных образцах с разными условиями дренирования, то строят две консолидационные кривые на одном графике (для $h_{1ф}$ и $h_{2ф}$ — разный путь фильтрации).

5.5.6 По характеру консолидационной кривой устанавливают расчетную модель консолидации для конкретных условий работы грунтов в системе «сооружение — грунт» на конкретном объекте.

5.5.7 С этой целью кривую консолидации рассматривают по участкам, отличающимся друг от друга по геометрическим признакам. Каждый участок кривой отражает соответствующий этап консолидации:

- участок I — дофильтрационная консолидация;
- участок II — первичная фильтрационная;
- участок III — вторичная фильтрационная;
- участок IV — объемная ползучесть.

Варианты сочетания указанных этапов консолидации в зависимости от структуры, состояния и свойств грунтов приведены в приложении И.

5.5.8 Этапы I—IV консолидации в различных сочетаниях могут быть получены по результатам испытаний грунтов по открытой схеме. Этапы I, IV консолидации могут быть получены по результатам испытаний грунтов как по открытой, так и по закрытой схеме.

5.5.9 С учетом вида консолидационной кривой и варианта сочетания указанных выше этапов консолидации (см. 5.5.7) должна быть принята методика обработки результатов испытаний для получения значений показателей консолидации. Способы выделения характерных участков на кривой консолидации по геометрическим признакам приведены в приложении К.

5.5.10 Формулы расчетов консолидационных параметров грунтов (см. 5.1.1) на всех этапах консолидации, перечисленных в 5.5.7, имеют следующий вид:

$$m_{дф} = \frac{\lambda'_i - \lambda'_{t_0}}{\lg t'_i - \lg t'_0}; \tag{5.5}$$

$$c_i = \frac{N_{50} h_ф^2}{t_{50}}; \tag{5.6}$$

$$n_{\lambda i} = \frac{\lg\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{\lg\left(\frac{h_2}{h_1}\right)}; \tag{5.7}$$

$$a_\lambda = \frac{4t_1 - t_2}{3}; \tag{5.8}$$

$$b_\lambda = \frac{4\left(t_2 - t_1\right)}{3h_2^2}; \tag{5.9}$$

$$m_a = \frac{\lambda_i - \lambda_{кон}}{\lg t_i - \lg t_{кон}}, \tag{5.10}$$

где λ'_i — заданная относительная деформация образца на этапе дофильтрационной консолидации;

λ'_{t_0} — относительная деформация образца, соответствующая условному началу сжатия t'_0;

t'_i — время достижения λ'_i;

c_i — коэффициент консолидации на этапе первичной фильтрационной консолидации;

N_{50} — фактор времени, соответствующий степени консолидации u = 50 % от 100 % первичной фильтрационной консолидации, определяемый по [1];

$h_ф$ — путь фильтрации отжимаемой воды из образца;

t_{50} — время достижения u = 50 % по кривой консолидации данного образца;

$n_{\lambda i}$ — показатель степени консолидации на момент достижения заданной относительной деформации λ_i на этапе вторичной фильтрационной консолидации;

t_1 и t_2 — время достижения значения заданной относительной деформации, устанавливаемое по кривой консолидации образца грунта с величиной пути фильтрации h_1, h_2 соответственно $h_{1ф}$, $h_{2ф}$;

λ_i и t_i — заданная относительная деформация образца на этапе объемной ползучести и время ее достижения;

$\lambda_{кон}$ — относительная деформация образца, соответствующая достижению условной стабилизации деформации на момент времени $t_{кон}$;

a_λ, b_λ — обобщенные консолидационные параметры, отражающие переменность ползучести скелета грунта и его фильтрационных свойств соответственно на этапе фильтрационной консолидации.

Формулы (5.8) и (5.9) справедливы при условии $h_{1ф} = 2h_{2ф}$ или $h_{1ф} = \frac{h_{2ф}}{2}$.

5.5.11 Требования к представлению результатов испытаний (конкретные показатели, форма представления результатов и др.) должны быть приведены в задании на испытание.

Запись данных при испытании, обработку результатов, графические построения следует автоматизировать.

Приложение А
(рекомендуемое)

Журнал записи компрессионных и консолидационных испытаний

Форма первой страницы журнала (по ГОСТ 12248) (вариант 1)

Организация (лаборатория)

Журнал испытаний грунта методом компрессионного сжатия

Объект (пункт) _____

Сооружение _____

Шурф (скважина) № _____

Глубина отбора образца, м _____

Лабораторный номер образца _____

Наименование грунта _____

Сложение грунта _____

Визуальное описание грунта в лаборатории _____

_____

Вид испытания _____

Прибор (тип, номер) _____

Схема 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	

Форма записи компрессионных и консолидационных испытаний (вариант 2)

Журнал компрессионных и консолидационных испытаний

Объект _____

Место отбора образца _____

Проба № _____

Наименование выработки _____

Глубина отбора _____

Исходные данные для расчетов

Высота кольца h_0 _____

Площадь кольца F _____

Объем кольца V _____

Масса кольца $m_к$ _____

Масса грунта до опыта $m_{г1}$ _____

Масса грунта после опыта $m_{г2}$ _____

Плотность грунта ρ _____

Влажность грунта до опыта $W_{нач}$ _____

Влажность грунта после опыта $W_{кон}$ _____

Коэффициент пористости до опыта, рассчитанный по влажности $\varepsilon_{нач.вл}$ _____

То же после опыта $\varepsilon_{кон.вл}$ _____

Таблица А.1 — Показатели состава и состояния грунта

Потеря при прокаливании	Плотность частиц грунта	Волокнистость. Степень разложения	Зольность	Плотность	Содержание $CaCO_3$	Природная влажность	Степень водонасыщения	Граница текучести	Граница раскатывания	Число пластичности	Наименование грунта по классификации
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблица А.2 — Данные компрессионных и консолидационных испытаний

Дата	Время	Нагрузка на образец МПа (кгс/см^2)	Показания мессур			Деформация образца	Относительная деформация	Модуль осадки	Приращение коэффициента пористости	Коэффициент пористости
			№ 1	№ 2	Среднее значение					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Приложение Б
(рекомендуемое)

Методика изготовления образцов грунта с ненарушенной структурой

Для изготовления образцов грунта с ненарушенной структурой применяют следующее оборудование и материалы:

- режущее кольцо (цилиндрическая форма с режущим краем), рабочее кольцо прибора для испытаний;
- стаканчики для взвешивания ВС-1 с крышками;
- винтовой пресс;
- линейка длиной не менее 300 мм;
- штангенциркуль;
- нож лабораторный с прямым лезвием длиной не менее 150 мм;
- лабораторные весы;
- электронные весы.

Размеры режущего кольца выбирают в зависимости от применяемого оборудования. Режущее кольцо перед употреблением должно быть проверено: при помещении кольца торцами на гладкую пластинку не должно быть видимых зазоров между краем кольца и пластинкой.

Монолит грунта очищают от парафина и подсохшего верхнего слоя. Кольцо устанавливают режущим краем на выровненную поверхность монолита (или стенку выработки), медленно вдавливают в грунт (для торфов с небольшим поворотом кольца) и срезают грунт по наружному диаметру кольца. При этом необходимо следить, чтобы кольцо погружалось вертикально, без перекосов, которые могут вызвать нарушение структуры грунта и исказить значение его плотности. В процессе вырезания и подготовки образца к испытанию необходимо следить, чтобы грунт не выкрашивался и образец вплотную прилегал к стенкам кольца. При нарушении естественной структуры образец бракуют. После заполнения кольца грунтом на него устанавливают насадку и вдавливают в монолит (или в грунт выработки) с превышением размера образца на 3—4 мм. Затем насадку снимают и осторожно срезают грунт в уровень с краями кольца. Под кольцом грунт подрезают на конус и отделяют кольцо с грунтом от монолита (или грунтового массива). Для мягкопластичных грунтов кольцо с грунтом отделяют от монолита упругой туго натянутой проволокой. Образец кладут на гладкую пластинку и зачищают грунт вровень с кольцом. Кольцо с грунтом взвешивают с точностью до 0,02 г.

Затем образец покрывают с торцов влажными фильтрами, повторно взвешивают и помещают в компрессионный прибор.

Приложение В
(рекомендуемое)

Методика изготовления образцов грунта с заданными значениями влажности и плотности сухого грунта

Для изготовления образцов грунта с заданными значениями влажности и плотности сухого грунта в дополнение к оборудованию, перечисленному в приложении Б, используют:

- растирочное устройство или фарфоровую ступку с пестиком;
- набор сит с диаметром отверстий 20; 10 и 5 мм;
- посуду мерную лабораторную стеклянную;
- эксикатор Э-250;
- весы для статического взвешивания.

В соответствии с методикой по ГОСТ 30416 для подготовки образцов грунта нарушенного сложения с заданными значениями влажности и плотности сухого грунта необходимо:

а) грунт просушить, растереть пестиком с резиновым наконечником до исчезновения комков, просеять через сито с отверстиями 2 мм и определить влажность по ГОСТ 5180;

б) для получения заданного значения влажности в грунт добавить расчетное количество воды Q, см^3, определяемое по формуле

$$Q_\rho = \frac{m_r (W_з - W)}{\rho_w (1 + W)}, \qquad \textbf{(В.1)}$$

где m_r — масса исследуемого грунта при влажности W, г;

$W_з$ и W — соответственно заданная и исходная влажности грунта, в долях единицы;

ρ_w — плотность воды, равная 1 г/см^3;

в) после увлажнения грунт тщательно перемешать и поместить в эксикатор (для равномерного распределения влаги) не менее чем на 2 ч с последующим контрольным определением влажности.

Уплотнение подготовленного грунта до заданной плотности сухого грунта $\rho_{dз}$ проводят в рабочих кольцах прибора, применяя один из следующих методов: послойное трамбование, обжатие под прессом, уплотнение в приборе стандартного уплотнения падающим грузом.

Для подготовки образца, не сохраняющего форму, рабочее кольцо должно быть с жестким дном.

При уплотнении послойным трамбованием или обжатием под прессом предварительно рассчитывают массу грунта, которая в объеме рабочего кольца обеспечит заданную плотность сухого грунта $\rho_{dз}$, по формуле

$$m_r = V_к \cdot \rho_{dз} / (1 + W_з), \qquad \text{(В.2)}$$

где $V_к$ — внутренний объем рабочего кольца, см^3.

При использовании прибора стандартного уплотнения для получения $\rho_{dз}$ необходимо предварительно определить последовательным приближением число ударов.

Подготовку образцов насыпного грунта (т. е. с техногенной структурой) с заданными значениями влажности и плотности сухого грунта осуществляют по методике ГОСТ 30416.

Грунт подсушивают, растирают пестиком с резиновым наконечником до исчезновения комков, просеивают через сито с отверстиями диаметром 10 мм. Определяют влажность по ГОСТ 5180. По формуле (В.1) рассчитывают количество воды, необходимое для получения заданного значения влажности $W_з$. Далее выполняют требования перечисления в).

Соотношение заданной влажности с плотностью сухого грунта устанавливают по правой ветви кривой стандартного уплотнения или в соответствии с заданием на испытание. Кривая стандартного уплотнения грунта должна быть получена в результате его уплотнения по ГОСТ 22733.

Массу грунта (при заданной влажности), которая в объеме рабочего кольца обеспечит создание заданной плотности сухого грунта, рассчитывают по формуле (В.2) или по формуле

$$m_r = \frac{V_к (1 + W_з)}{1 + \varepsilon_з} \rho_s, \qquad \textbf{(В.3)}$$

где ρ_s — плотность частиц грунта;

$\varepsilon_з$ — коэффициент пористости при заданных значениях плотности-влажности.

Рассчитанную по формуле (В.2) или (В.3) навеску грунта помещают в рабочее кольцо компрессионного прибора и формируют путем ее обжатия под прессом до полного заполнения грунтом объема кольца.

Приложение Г
(рекомендуемое)

Методика определения структурной прочности грунта на сжатие

По результатам испытаний грунтов на компрессию могут быть получены три вида начального участка компрессионной кривой $\varepsilon_i = f(\lg P_i)$: 1 — горизонтальный; 2 — слабо наклоненный; 3 — резко наклоненный к оси $\lg P_i$. В первом случае (горизонтальный начальный участок) структурную прочность на сжатие $P_{стр}$ определяют графически следующим способом (см. рисунок Г.1).

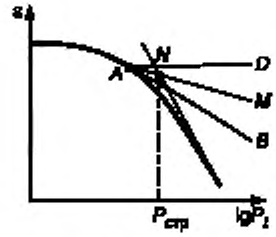


Рисунок Г.1 — График определения структурной прочности грунта на сжатие

Находят точку *A* — точку резкого изменения кривизны (перегиба) кривой $\varepsilon_i = f(\lg P_i)$. Через эту точку проводят касательную *AB* и горизонтальную линию *AD*, затем биссектрису *AM* угла *BAD*. Прямолинейный участок компрессионной кривой экстраполируют до пересечения с биссектрисой *AM* и получают точку *N*. Значение *P*, соответствующее этой точке, принимают за структурную прочность грунта на сжатие $P_{стр}$.

Во втором случае (слабо наклоненный начальный участок) структурную прочность грунта на сжатие $P_{стр}$ определяют аналогично первому случаю по изменению кривизны кривой $\varepsilon_i = f(\lg P_i)$, пусть и не так явно выраженному. Ориентировочно значение *P*, соответствующее точке перегиба, может быть принято за $P_{стр}$.

В третьем случае (резко наклоненный участок) структурная прочность на сжатие для данного грунта отсутствует и ее не определяют.

Приложение Д
(рекомендуемое)

Способы назначения схемы испытания

В задании на испытание указывают схему испытания:

1) с регламентируемым в ГОСТ 12248 режимом нагружения (ступени нагрузки);

2) со специально рассчитанным режимом нагружения (ступени нагрузки, время их выдерживания);

3) открытую с обеспечением оттока поровой воды в вертикальном направлении вверх и вниз или только вверх;

4) закрытую, исключающую отток поровой воды.

Схему по перечислению 1) назначают в случае, если режим нагружения образца не оказывает существенного влияния на показатели сжимаемости грунта (глинистые грунты тугопластичной и мягкопластичной консистенции; органоминеральные с влажностью менее 150 %, органические с влажностью менее 200 %).

Схему по перечислению 2) назначают в случае, если режим нагружения образца следует приблизить к темпу отсыпки насыпи. Состояние грунта — не перечисленное в схеме по перечислению 1).

Для уточнения необходимости применения в испытании расчетного режима нагружения образца должно быть проведено предварительное испытание на консолидацию двух идентичных образцов с регламентируемыми ступенями нагрузки и временем их выдерживания и этими значениями, назначенными расчетом, близким к реальным. При расхождении двух значений λ_i на заданный момент t_i сравниваемых кривых $\lambda = f(\lg t)$, превышающем допустимые значения, целесообразно принять схему по перечислению 2) и указать ее в задании на испытание.

Для назначения схемы по перечислению 3) и схемы по перечислению 4) следует оценить расхождение двух кривых консолидаций $\lambda = f(\lg t)$ идентичных образцов, уплотненных под расчетной нагрузкой $P_i > P_{стр}$ с разными условиями фильтрации отжимаемой воды (путь фильтрации).

Возможны три варианта взаимного расположения двух кривых консолидации:

- вариант 1 — расхождение кривых консолидации до 100 % степени консолидации находится в пределах допустимой точности;

- вариант 2 — расхождение кривых консолидации по времени достижения степени консолидации от 25 % до 70 % находится в пределах $t_2 \le 2t_1$, где t_2 — время достижения заданной степени консолидации образца путем фильтрации h_2; t_1 — то же путем фильтрации h_1. При этом $h_1 = \frac{1}{2}h_2$;

- вариант 3 — расхождение кривых консолидации по времени, указанному в варианте 2, составляет $t_2 > 2t_1$ и может достигнуть $t_2 = 4t_1$.

В вариантах взаимного расположения кривых консолидации по вариантам 1 и 2 схема испытания должна быть назначена закрытая; по варианту 3 — открытая.

Примечание — Перечисленные выше предварительные компрессионные и консолидационные испытания грунтов с целью назначения схемы испытания должны быть предусмотрены в «проекте» при составлении сметы затрат на этапе инженерно-геологических изысканий.

Приложение Е
(справочное)

Характеристики деформируемости грунтов, методы их определения в условиях компрессионного сжатия и регламентирующие документы

Таблица Е.1

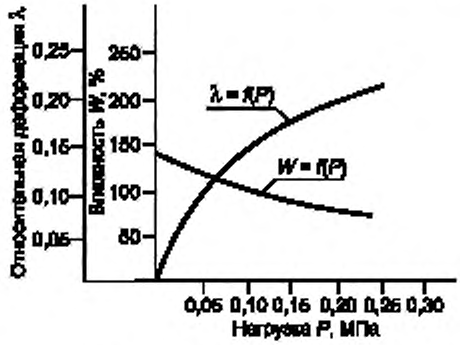
Характеристика деформируемости грунта	Метод определения	Грунты	Нормативный документ
1 Коэффициент сжимаемости. Модуль деформации	Испытание на компрессию	Глинистые с числом пластичности более 0,25; органоминеральные и органические	По ГОСТ 12248
2 Относительная деформация. Модуль осадки	Испытание на компрессию	Глинистые с числом пластичности более 0,25; органоминеральные и органические	По настоящему стандарту
3 Структурная прочность на сжатие	Испытание на компрессию	Глинистые с числом пластичности от 0,25 до 0,50; органоминеральные и органические с влажностью менее 150 % и 500 % соответственно	По ГОСТ 12248
	Испытание на компрессию	Глинистые с числом пластичности более 0,50; органоминеральные и органические с влажностью более 150 % и 500 % соответственно	По настоящему стандарту
4 Относительная просадочность при заданном давлении	Испытание на компрессию по схеме «одной кривой»	Глинистые	По ГОСТ 12248
Относительная просадочность при различных давлениях и начальное просадочное давление	Испытание на компрессию по схеме «двух кривых»	Глинистые	По ГОСТ 12248
5 Относительное набухание при различных давлениях и давление набухания	Испытание на компрессию	Глинистые	По ГОСТ 12248
6 Относительное суффозионное сжатие при заданном давлении	Испытание на компрессию по схеме «одной кривой»	Засоленные (содержащие легко- и среднерастворимые соли) супеси и суглинки	По ГОСТ 12248
Относительное суффозионное сжатие при различных давлениях и начальное давление суффозионного сжатия	Испытание на компрессию по схеме «трех кривых»	Засоленные (содержащие легко- и среднерастворимые соли) супеси и суглинки	По ГОСТ 12248
7 Коэффициент консолидации	Испытание на консолидацию по схеме «одной кривой»	Глинистые с числом пластичности 0,25 ÷ 0,75; органоминеральные и органические с влажностью более 150 % и 500 % соответственно	По ГОСТ 12248
8 Коэффициент консолидации на этапе первичной фильтрационной консолидации	Испытание на консолидацию по схеме «одной кривой»	Глинистые с числом пластичности 0,25 ÷ 0,75; органоминеральные и органические	По настоящему стандарту

Окончание таблицы Е.1

Характеристика деформируемости грунта	Метод определения	Грунты	Нормативный документ
9 Обобщенные консолидационные параметры на этапе первичной и вторичной фильтрационной консолидации	Испытание на консолидацию по схеме «двух кривых»	Глинистые с числом пластичности более 0,75; органоминеральные и органические с влажностью более 200 % и 500 % соответственно	По настоящему стандарту
10 Показатель степени консолидации на этапе первичной и вторичной фильтрационной консолидации	Испытание на консолидацию по схеме «двух кривых»	Глинистые с числом пластичности более 0,50; органоминеральные и органические с влажностью более 200 % и 500 % соответственно	По настоящему стандарту
11 Угловой коэффициент на этапе дофильтрационной консолидации и консолидации объемной ползучести	Можно по любой схеме в зависимости от способа определения других консолидационных параметров данного грунта	Глинистые грунты, органоминеральные и органические	По настоящему стандарту

Приложение Ж
(рекомендуемое)

Пример графического оформления результатов испытаний грунтов на компрессию

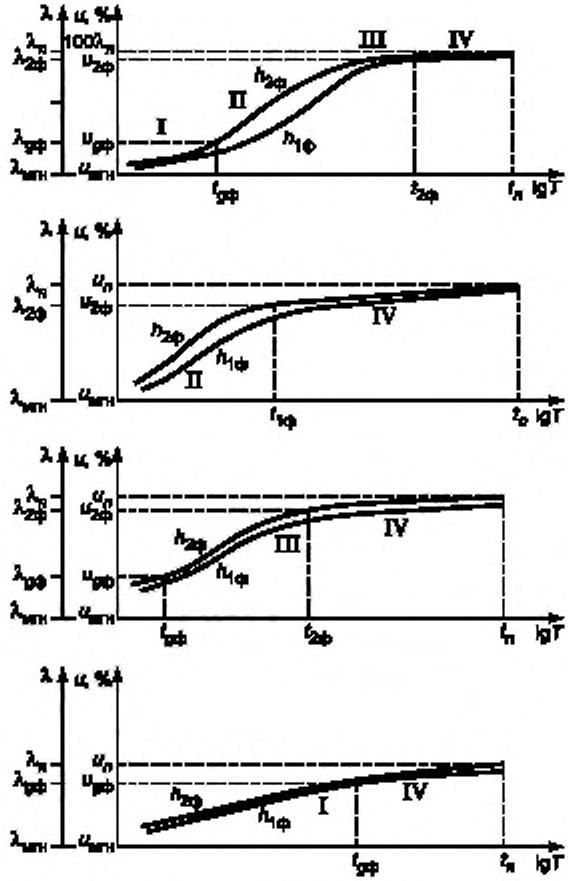


λ — относительная деформация; W — влажность; P — нагрузка; f — функция

Рисунок Ж.1 — Зависимость относительной деформации и влажности грунта от нагрузки

Приложение И
(справочное)

Варианты видов консолидационной кривой



I — дофильтрационная консолидация; II — первичная фильтрационная консолидация; III — вторичная фильтрационная консолидация; IV — консолидация объемной ползучести; $h_{1ф}$ — двухсторонняя фильтрация; $h_{2ф}$ — односторонняя фильтрация; λ — относительная деформация, (см. ось *u*); $u_{0ф}$, $u_{1ф}$, $u_{2ф}$, $u_п$ — степень консолидации на момент завершения $t_{0ф}$, $t_{1ф}$, $t_{2ф}$, $t_п$ — дофильтрационной консолидации, первичной фильтрационной консолидации, вторичной фильтрационной консолидации и консолидации объемной ползучести соответственно

Рисунок И.1 — Варианты сочетания этапов консолидации для различных грунтов и условий их работы в конструкции

Приложение К
(рекомендуемое)

Способы выделения характерных участков на кривой консолидации по геометрическим признакам

При прохождении консолидации в четыре этапа кривая консолидаций имеет следующие характерные участки: прямолинейный участок (дофильтрационная консолидация), два криволинейных участка с разным наклоном к оси времени (первичная и вторичная фильтрационная консолидация), прямолинейный участок (объемная ползучесть). Выделяют эти характерные участки по испытаниям на консолидацию двух идентичных образцов (по состоянию) одинаковой высоты, с разными путями фильтрации или разной высотой с одинаковыми условиями фильтрации. Получают следующее взаимное расположение консолидационных кривых: первые прямолинейные участки для двух идентичных образцов практически совпадают или параллельны друг другу; первые криволинейные участки расходятся, вторые криволинейные участки сближаются друг к другу; последние прямолинейные участки практически совпадают или параллельны друг другу (см. рисунок К.1). При других вариантах этапов консолидации взаимное расположение кривых консолидации будет аналогичным описанному выше.

Этапы консолидации по геометрическим признакам выделяют следующим образом. Если консолидация грунта проходит в четыре этапа, то дофильтрационную консолидацию и консолидацию объемной ползучести определяют путем проведения касательной к большинству экспериментальных точек на первом и последнем участках. Затем по изменению кривизны консолидационной кривой (по точке перегиба) выделяют первичную фильтрационную консолидацию и вторичную фильтрационные консолидации (см. кривую «а» на рисунке К.1).

Если консолидация грунта проходит в два этапа (дофильтрационная консолидация и консолидация объемной ползучести), то проводят касательную к первому прямолинейному участку и ко второму, который имеет другой угол наклона к оси времени (см. кривую «б» на рисунке К.1). Может иметь место и такой случай: первичная фильтрационная консолидация и консолидация объемной ползучести. Касательная, проведенная к прямолинейному участку, выделяет этап объемной ползучести. Затем проводят касательную к средней части кривой, что позволяет выделить первичную фильтрационную консолидацию (см. кривую «в» на рисунке К.1).

Если консолидация грунта проходит в три этапа, то порядок выделения характерных участков состоит из описанных выше действий.

Точки перехода от одного этапа консолидации к другому определяют следующим образом. Проводят биссектрисы углов, образующихся при проведении касательных к прямолинейным и криволинейным участкам консолидационной кривой $\lambda = f(\lg t)$. Пересечения биссектрис с кривой консолидации и будут точками перехода одного этапа консолидации в другой. В качестве примера на графике (см. рисунок К.2) показаны точки А, Б, В, Г, полученные на консолидационной кривой, отражающей четыре этапа консолидации. Окончание вторичной фильтрационной консолидации (или первичной, если нет вторичной) соответствует точке устойчивого выхода консолидационной кривой на прямолинейный участок. На рисунке К.2 этой точке соответствует точка В.

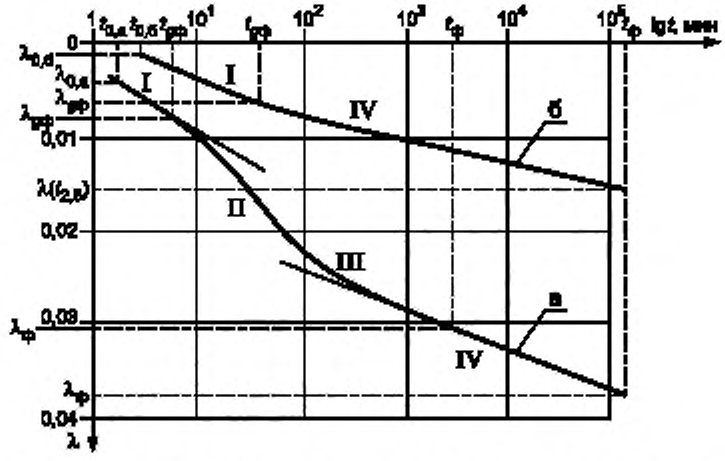
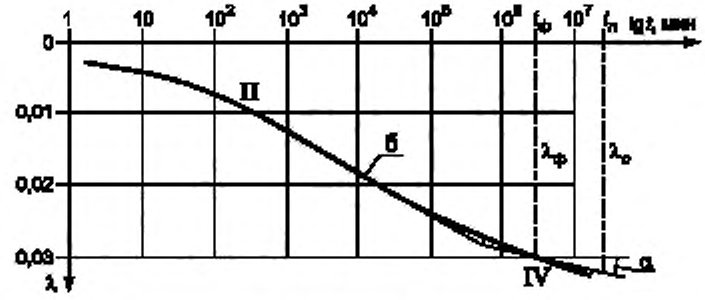


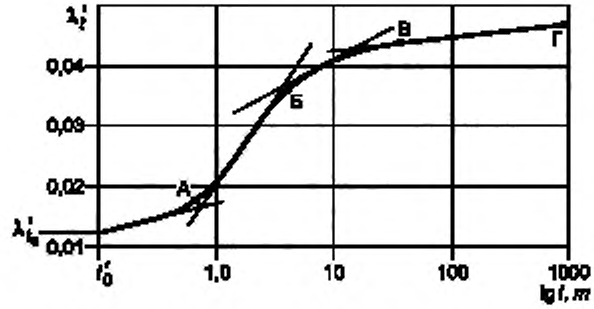
Рисунок К.1, лист 1 — Графики зависимости относительной деформации от логарифма времени (для определения параметров консолидации) на этапах консолидации и способы их выделения



Примечание — Масштаб графика: по горизонтали откладывают время по логарифмической шкале lg*t*; по вертикали — относительную деформацию 0,01—20 мм.

Рисунок К.1, лист 2

Окончание консолидации объемной ползучести соответствует моменту достижения условной стабилизации деформации образца (0,02 мм за 24 ч). На рисунке К.2 этому моменту соответствует точка Г.



А, Б, В — точки перехода из одного этапа консолидации в другой

Рисунок К.2 — Определение границ этапов консолидации

Условное время начала деформации (t'_0) и условно мгновенную относительную деформацию (λ'_{t_0}) получают интерполяцией опытной кривой консолидации до пересечения с осью λ (ось относительной деформации) (см. рисунок К.2).

Степень консолидации на этапах рассчитывают от начала этапа до его окончания. За 100%-ную степень консолидации каждого этапа принимают окончание этапа (точки А, Б, В, Г). За 100%-ную степень консолидации всего процесса консолидации (до момента достижения условной стабилизации деформации) принимают точку Г.

Библиография

[1] Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. Информавтодор. М., 2004

[2] СНиП 2.05.02—85 Автомобильные дороги. Проектирование (издание 2001 г. с изменениями в конце документа)

[3] СНиП 11-02—96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения

[4] СП 11-105—97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III

УДК 624.131:006.354 ОКС 13.080

Ключевые слова: система «сооружение — грунт», компрессионно-консолидационные параметры и испытания, слабые грунты, насыпь, основание, деформационные свойства, осадка конечная и во времени, одометр, стабилометр, открытая схема испытаний, закрытая схема испытаний, этапы консолидации

Редактор *Н.Е. Рагузина*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 03.06.2019. Подписано в печать 29.07.2019. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,75.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
www.jurisizdat.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

gost.e-ecolog.ru