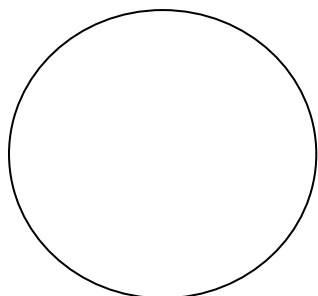

**Федеральное агентство
по техническому регулированию и метрологии**



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

ГОСТ Р

.....

Стандартизация в Российской Федерации

**ГРУНТЫ.
МЕТОД КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ С ЗАДАННОЙ
СКОРОСТЬЮ ДЕФОРМАЦИИ**

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

**Москва
ИПК Издательство стандартов**

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ "О техническом регулировании", а правила применения национальных стандартов Российской Федерации – ГОСТ Р 1.0—2004 "Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения"

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН ООО «НПП «Геотек», (и другие организации).

2 ВНЕСЕН ВПЕРВЫЕ

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от.....200 г. №

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет.

ГОСТ Р _____

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГРУНТЫ.
МЕТОД КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ С ЗАДАННОЙ
СКОРОСТЬЮ ДЕФОРМАЦИИ
SOILS.
STANDART TEST METHOD FOR OEDOMETER CONSOLIDATION
USING
CONTROLLED STRAIN DEFORMATION**

Дата введения -**Проект**

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Область применения и нормативные ссылки.....	5
2 Определения	5
3 Сущность метода.....	6
4 Оборудование и приборы	7
5 Отбор монолитов.....	9
6 Подготовка образцов	10
7 Подготовка аппаратуры.....	10
8 Процедура испытаний.....	10
9 Обработка результатов	13
Приложения	
Приложение А Журнал испытания грунта методом компрессионного сжатия	19
Приложение Б Категории методов отбора образцов и классы качества образцов для лабораторных испытаний	20
Приложение В Процедура водонасыщения образцов грунта.....	22
Приложение Г Методика водонасыщения образцов грунта обратным давлением	25
 Приложение Результаты испытаний в компрессионных приборах.....	 28

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Стандартизация в Российской Федерации

ГРУНТЫ. МЕТОД КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ С ЗАДАННОЙ СКОРОСТЬЮ ДЕФОРМАЦИИ SOILS. STANDART TEST METHOD FOR OEDOMETER CONSOLIDATION USING CONTROLLED STRAIN DEFORMATION

Дата введения -

1 Область применения и нормативные ссылки

1.1 Настоящий метод применяется для определения характеристик деформируемости грунтов в условиях компрессионного сжатия с контролем скорости осевой деформации.

1.2 Этот метод не применим для грунтов с высокой проницаемостью, такие как пески и другие крупнозернистые грунты или частично водонасыщенные связные грунты.

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

1.4 Для испытываемых грунтов должны быть определены физические характеристики по ГОСТ 5180: влажность, плотность, плотность частиц, влажности границ текучести и раскатывания, гранулометрический состав песков, а в необходимых случаях и глинистых грунтов по ГОСТ 12536, а также вычислены плотность сухого грунта, коэффициент пористости, степень влажности, число пластичности и показатель текучести.

1.5 В процессе испытаний грунтов ведется журнал по форме, приведенная в приложении А.

2 Определения

В настоящем методе испытаний приняты следующие термины.

2.1 *эффективное напряжение*, σ' - напряжение, действующее в скелете грунта, определяемое как разность между полным напряжением σ в образце грунта и давлением в поровой жидкости u .

2.2 *обратное давление* – поровое давление воды на границе дренирования.

2.3 *избыточное поровое давление, u_b* – давление в поровой воде, развиваемое на непроницаемой нижней границе образца сверх обратного давления.

2.4 *приложенное вертикальное напряжение, σ_v* – осевое напряжение действующее на границе дренирования сверх обратного давления, кПа.

2.5 *боковое давление, σ_h* – напряжение возникающее в горизонтальном направлении при расширении грунта.

2.6 *коэффициент порового давления, u_b/σ_v* – избыточное поровое давление воды деленное на приложенное вертикальное напряжение, кПа.

2.7 *коэффициент сжимаемости, m_o* – приращение коэффициента пористости деленное на приращение вертикального напряжения, в выбранном интервале вертикального напряжения, кПа⁻¹.

2.8 *компрессионный модуль деформации, E_k* – показатель, характеризующий «жесткость» грунта, кПа.

2.9 *давление предварительного уплотнения, σ_p* – показатель, характеризующий величину исторического давления от собственного веса грунта, кПа.

2.10 *коэффициент фильтрационной консолидации, c_v* – показатель, характеризующий скорость деформации грунта при постоянном давлении и фильтрации воды, см²/год.

2.11 *коэффициент фильтрации, k* – показатель, характеризующий водопроницаемость грунтов, см/с.

2.12 *степень водонасыщения, S_r* – показатель, характеризующий водонасыщенность грунтов.

2.13 *реконсолидация* – восстановление природной плотности и *начального напряженного состояния образцов грунта*, разуплотненных в процессе отбора монолитов и подготовки образцов грунта.

2.14 *компрессионный прибор* – устройство, включающее одометр, механизм осевого нагружения, измерительную систему для измерения и управления усилием, перемещением, обратным и поровым давлением.

Остальные термины, используемые в настоящем стандарте, приведены в ГОСТ 30416.

3 Сущность метода

3.1 Этот метод основан на следующих предположениях:

- дренирование поровой воды в грунте одностороннее, только в вертикальном направлении;
- грунт полностью водонасыщен, S_r не менее 93-95%;
- сжимаемость зерен грунта и воды пренебрежимо мала;
- зависимость логарифма осевой деформации от осевого напряжения является линейной в течение короткого интервала времени нагружения;

- распределение избыточного порового давления в образце параболическое.

3.2 Испытание грунта методом компрессионного сжатия с контролем скорости осевой деформации проводят для определения следующих характеристик деформируемости: коэффициента сжимаемости m_o , модуля деформации E , давления предварительного уплотнения σ_p , коэффициента фильтрационной консолидации c_v и коэффициента фильтрации k для глинистых грунтов с показателем текучести, $I_L > 0,25$. Эти характеристики определяют по результатам испытаний образцов грунта в компрессионных приборах (одомерах), исключая возможность бокового расширения образца грунта при его нагружении вертикальной нагрузкой.

3.3 Диапазон давлений, до которых проводят испытания, определяется в программе испытаний или принимается в пределах полуторного значения проектного давления на грунт.

3.4 Для испытаний используют образцы грунта нарушенного или ненарушенного сложения в водонасыщенном состоянии. В последнем случае должны использоваться образцы первого класса качества, определяемого в соответствии с приложением Б.

Примечание – Водонасыщение образцов грунта выполняется в соответствии с приложениями В, Г.

3.5 Образец должен иметь форму цилиндра диаметром не менее 71 мм и отношением высоты к диаметру 1:3,5. Средний диаметр самой крупной частицы в образце обычно не должен превышать одной пятой высоты кольца.

3.6 Результаты испытаний зависят от скорости осевой деформации. Скорость осевой деформации рекомендуется назначать из результатов стандартных компрессионных испытаний. Скорость осевой деформации должна быть также близкой к наблюдаемой в основании фундаментов. Типичное значение скорости деформации 10^{-7} в минуту.

4 Оборудование и приборы

4.1 В состав установки для испытания грунта в условиях компрессионного сжатия должны входить:

- одомер;
- механизм для вертикального нагружения образца грунта;
- устройства для измерения вертикальных деформаций образца грунта;
- устройство для измерения порового давления;
- устройство для создания и поддержания обратного давления;
- устройство для измерения бокового давления.

4.2 *Устройство осевого нагружения* – Устройство осевого нагружения может быть различной конструкции с достаточной мощностью и контролем осевого усилия сжатия образца и обеспечивающее постоянство скорости деформации.

4.3 *Устройство измерения осевой нагрузки* – Устройство должно быть в виде жесткого тензометрического датчика деформации. Точность измерения осевой нагрузки не более 0,25% от максимальной нагрузки на образец грунта.

4.4 *Устройство измерения порового давления* – Устройство измерения порового давления воды должен быть дифференциальный датчик давления. Могут быть применены два датчика давления для измерения давления поровой воды на основании образца и обратного давления, если они оба имеют требуемую точность и их показания регистрируются в течение испытания.

Устройство должно быть сконструировано и расположено таким образом, чтобы поровое давление на основании образца могло быть измерено с пренебрежимо малым дренированием поровой воды от основания образца по направлению к датчику. С другой, верхней стороны образца, датчик измеряет обратное давление, приложенное к образцу.

Устройство измерения порового давления должно быть способно измерять поровое давление на основании образца с точностью $\pm 0,25\%$ от максимального ожидаемого порового давления.

4.5 *Устройство поддержания обратного давления*, должно быть способно прикладывать и контролировать обратное давление с точностью $\pm 0,5\%$ от максимального задаваемого обратного давления, как с верхней так и нижней сторон образца. Это устройство должно включать резервуар, или два резервуара соединенные с верхом и низом образца и частично заполнены дегазированной водой, верхняя часть резервуара должна быть соединена с источником сжатого воздуха, давление сжатого воздуха управляется регулятором давления и измеряется датчиком давления.

4.6 *Устройство измерения бокового давления* – Устройство должно быть в виде датчика давления для измерения давления воды в камере одометра. Устройство должно быть способно измерять боковое давление с точностью $\pm 0,25\%$ от максимального ожидаемого бокового давления.

4.7 *Индикатор деформации* – может быть цифровым индикатором часового типа или датчиком перемещения имеющий чувствительность 0,01 мм и диапазон измерения 50% высоты образца или другое средство измерения, отвечающее требованиям по чувствительности и диапазону.

4.8 *Одометр*, включает образец в резиновой оболочке и пористые фильтры на обеих сторонах образца (рис. 1). Все части одометра находящиеся под водой должны быть сделаны из коррозионно стойкого материала по отношению к грунту или другим частям одометра. Основание и камера должны быть герметичным от утечек и выдерживать внутреннее давление 1400 кПа.

Одометр должен отвечать следующим требованиям:

4.8.1 *Минимальный диаметр образца* должен быть 50 мм и должен быть на 6 мм менее диаметра пробоотборника, если используются образцы ненарушенной структуры.

4.8.2 *Минимальная высота образца* должна быть 20 мм, но не менее 10 диаметров максимальных зерен грунта.

4.8.3 *Минимум отношения диаметра к высоте образца должен быть 2,5.*

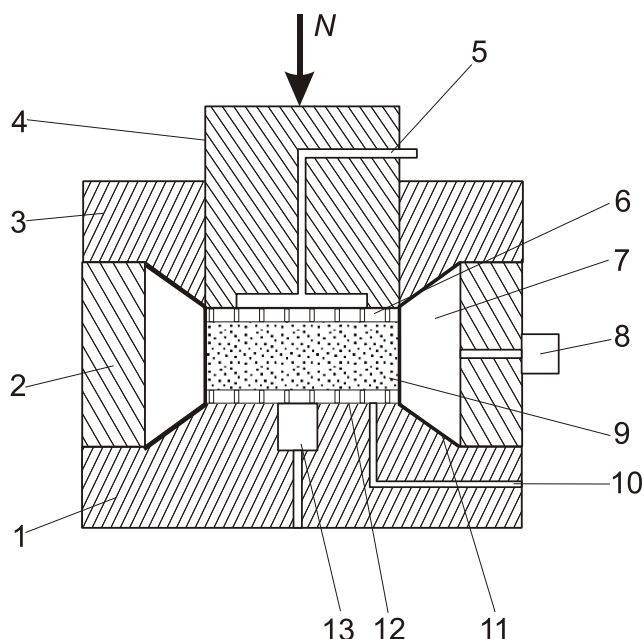


Рис. 1. Одометр с измерением боковых напряжений

1 – основание; 2 – камера; 3 – крышка; 4 – штамп; 5 – трубопровод обратного давления; 6,12 – фильтры; 7 – вода; 8 – датчик бокового давления; 9 – образец грунта; 10 – канал для водонасыщения; 11 – резиновая оболочка; 13 – датчик порового давления

4.8.4 *Резиновая оболочка* должна быть толщиной не более 1% диаметра образца грунта и обеспечивать герметичность камеры одометра.

4.8.5 Пористые камни (фильтры) должны быть выполнены из материалов, которые не активны по отношению к грунту и поровой жидкости и должны быть средней твердости. Для мягких мелкозернистых грунтов должны использоваться мелкозернистые пористые камни.

4.8.6 Пористые камни должны быть достаточно толстыми, чтобы не разрушиться. Верхний камень должен опираться на жесткую плиту с целью предохранения от разрушения.

4.9 Компрессионный прибор тарируют на сжатие с помощью металлического вкладыша. Максимальное давление при тарировке принимают равным 1,5 МПа, нагружение ступенями давления - 0,05 МПа с выдержкой по 2 мин.

5 Отбор монолитов

5.1 Монолиты с ненарушенной структурой должны быть отобраны методами, обеспечивающие качество первого класса категории А (приложение Б).

5.2 Транспортировка и упаковка кернов или монолитов должны быть проведены в соответствии с рекомендациями ГОСТ 12071-20000.

6 Подготовка образцов

6.1 Подготовить образец с потерей влажности менее 0,1%, если необходимо, подготовить образец в климатической комнате. Подрезать образец до внутреннего диаметра кольца одометра. Заполнить перемятым грунтом любые неровности в образце. Подрезать горизонтально поверхность образца в кольце. Поверхность должна быть гладкой. С целью лучшей подрезки образца можно использовать кольцевую надставку с режущей кромкой.

6.2 Органические грунты, такие как торф и те грунты, которые легко повреждаются, могут быть перемещены прямо из пробоотборника в кольцо, если размеры кольца и пробоотборника совпадают.

6.3 Определить массу и высоту образца. Записать массу образца, высоту и диаметр.

6.4 Используя грунт срезанный с образца определить естественную влажность, удельную плотность частиц, пределы пластичности по ГОСТ 5180-84. Значения, определенные из срезов грунта приблизительные, но позволяет определить коэффициент пористости перед началом испытания. Удельная плотность частиц может быть принята справочной, в том случае если не требуется точного значения коэффициента пористости.

7 Подготовка аппаратуры

7.1 Дегазировать воду в устройстве обратного давления и системе измерения порового давления.

7.2 Перед использованием новые пористые фильтры нужно прокипятить в дистиллированной или дегазированной воде в течение, по крайней мере, 20 мин. Они должны храниться погруженными в воду до размещения в одометре.

7.3 Вода, добавляемая для замачивания образца, не должна влиять на результаты испытания. Для морских глин и грунтов из прибрежной зоны следует использовать морскую воду. Обычно используют подземную воду с места отбора образца или похожую природную или приготовленную воду, если предполагается, что использование дистиллированной воды повлияет на результаты испытаний.

8 Процедура испытаний

8.1 Водонасытить образец грунта используя устройство для водонасыщения образцов грунта (приложение В).

8.2 Образец грунта в рабочем кольце взвешивают, покрывают с торцов влажными фильтрами и помещают в одометр.

8.3 Собрать одомер. Избегать вовлечения любого количества воздуха в пористые камни и образец грунта.

8.4 Поставить одомер в устройство осевого нагружения, установить индикатор деформации в начальное или нулевое положение и приложить установочное давление 5 кПа. Для грунтов с $I_L > 0,5$, желательно применять установочное давление 2,5 кПа или менее.

8.5 Проверить, что система трубопроводов и одомер полностью заполнены дегазированной водой из резервуара устройства обратного давления. Открыть кран, соединяющий основание одометра с источником дегазированной воды, заполнить полностью камеру водой и кран закрыть. Приложить соответствующее значение обратного давления одновременно к верху и низу образца на период времени достаточный для полного водонасыщения образца. Обратное давление должно быть приложено медленно к образцу, имеющего низкую начальную степень водонасыщения с целью минимизации деформаций образца и перенапряжения.

Примечание – В случае анизотропной реконсолидации образца грунта водонасыщение выполнять в соответствии с приложением Г.

8.6 Если необходимо следует отрегулировать устройство осевого нагружения для компенсации осевой нагрузки, наведенной обратным давлением или записать эту величину дополнительной осевой нагрузки и вычесть затем это значение из последующих измерений нагрузки.

8.7 Если устройство осевого нагружения установлено на поддержание постоянного заданного давления, то записать величину консолидации или набухания, которая наблюдается перед нагружением с контролем деформации. Если устройство осевого нагружения установлено на поддержание постоянной высоты образца, то записать уменьшение или увеличение в осевой нагрузке, которое имеет место перед нагружением с контролем деформации.

8.8 *Выбор скорости деформации* – Желательно, чтобы при выбранной скорости деформации, величина избыточного порового давления находилась в пределах между 3 и 30% от приложенного вертикального напряжения в любой период времени в течение испытания.

8.9 *Осевое нагружение* – Закрывать кран, соединяющий основание образца с устройством обратного давления и начать прикладывать осевую нагрузку, так чтобы осевая деформация оставалась постоянной, в соответствии с 8.8. Записать значения осевой нагрузки, избыточного порового давления, деформации и прошедшее время через, примерно, 1 минутные интервалы первые 10 минут, 5 минутные интервалы для следующего часа и 15 минутные интервалы после этого. Количество считываний показаний должно быть достаточным для построения кривой напряжение-деформация, следовательно, более частые считывания могут потребоваться, когда встречаются значительные изменения в параметрах испытания.

Продолжить испытание до требуемого напряжения или деформации. Когда, осевое нагружение выполнено по всей программе испытаний, позволить рассеяться избыточному поровому давлению в воде при постоянной

осевой нагрузке или постоянной деформации управляя при этом осевой нагрузкой, деформацией и избыточным поровым давлением.

8.10 Для определения коэффициента фильтрационной консолидации c_v прерывают осевое нагружение с постоянной скоростью на любой заданной осевой нагрузке и поддерживают осевую нагрузку постоянной. Продолжают записывать осевую нагрузку, избыточное поровое давление воды, деформацию и прошедшее время как предписано в 8.9. Дополнительно, записывают деформацию и, прошедшее время через интервалы времени 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 15 и 30 минут и 1, 2,4, 8 и т.д. час, измеренное от времени прерывания контролируемого нагружения с заданной скоростью деформации. Чтение показаний должно продолжаться, по меньшей мере, до начала появления линейного наклона графика второго участка осевой деформации относительно логарифма времени. Если требуется дальнейшее нагружение осевой нагрузкой, возобновить нагружение с постоянной скоростью деформации с предыдущей скоростью деформации и записать осевую нагрузку, избыточное поровое давление, деформацию и прошедшее время через 1, 5 и 15 мин интервалы, предписанные в 8.9. Данная процедура может быть повторена на последующих более высоких уровнях напряжения, если необходимо.

8.11 В необходимых случаях, по специальному заданию, может быть произведена разгрузка образца грунта в последовательности, обратной порядку нагружения, а также повторное испытание грунта на сжимаемость, последовательность которого аналогична последовательности первого нагружения.

При разгрузке последняя ступень должна соответствовать давлению, создаваемому весом штампа и смонтированного на нем измерительного оборудования.

Регистрацию деформации образца при разгрузке следует вести через интервалы времени, указанные в 8.9.

Разгрузку образца, так и его повторное нагружение следует производить при той же постоянной скорости деформации, что и при первичном нагружении, так чтобы сохранялось положительное вертикальное напряжение. Избыточное поровое давление воды при разгрузке будет отрицательным. При этом обратное давление должно быть достаточно высоким или скорость деформации принята достаточно низкой для того, чтобы давление на основании образца было более атмосферного давления.

8.12 После окончания испытания образца грунта необходимо отключить устройства измерения порового давления и создания обратного давления, снять нагрузку, разобрать одометр, удалить воду сверху образца, взвесить рабочее кольцо с грунтом, определить влажность и массу сухого грунта.

9 Обработка результатов

9.1 Вычисляют влажность грунта ω , удельный вес грунта γ , удельный вес частиц грунта γ_s , начальное значение коэффициента пористости e_o , степень водонасыщения S_r .

9.2 Вычисляют приложенное осевое напряжение

$$\sigma_v = \frac{P}{A}, \quad (1)$$

где P - приложенная осевая нагрузка; A - площадь поперечного сечения образца.

9.3 Вычисляют среднее эффективное напряжение исходя из параболического закона распределения порового давления по формуле

$$\sigma_v' = (\sigma_v^3 - 2\sigma_v^2 u_b + \sigma_v u_b^2)^{1/3}, \quad (2)$$

где u_b - избыточное поровое давление на основании образца.

9.4 Для определения характеристик m_o, E_k по результатам испытания для каждой ступени нагружения вычисляют:

- абсолютную вертикальную деформацию образца грунта Δh мм, как значение показаний датчика перемещений за вычетом поправки на деформацию компрессионного прибора Δ ;

- относительную вертикальную деформацию образца грунта по формуле

$$\varepsilon_1 = \Delta h / h, \quad (3)$$

где h - начальная высота образца, мм.

9.4.1 По вычисленным значениям строят график зависимости $\varepsilon = f(\sigma_v)$.

9.4.2 Вычисляют коэффициенты пористости e_i грунта при осевом напряжении $\sigma_{v,i}$ по формуле

$$e_i = e_o - \varepsilon_i(1 + e_o), \quad (4)$$

где e_o - начальное значение коэффициента пористости.

9.4.3 Коэффициент сжимаемости m_o МПа⁻¹, в заданном интервале осевого напряжения $\sigma_{v,i}$ и $\sigma_{v,i+1}$ вычисляют с точностью 0,001 МПа⁻¹ по формуле

$$m_o = \frac{e_i - e_{i+1}}{\sigma_{v,i+1} - \sigma_{v,i}}, \quad (5)$$

где e_i и e_{i+1} - коэффициенты пористости, соответствующие напряжениям $\sigma_{v,i}$ и $\sigma_{v,i+1}$.

9.4.4 Компрессионный модуль деформации E_k МПа, в интервале напряжений $\sigma_{v,i}$ и $\sigma_{v,i+1}$ вычисляют с точностью 0,1 МПа по формуле

$$E_k = \frac{1 + e_o}{m_o} \beta, \quad (6)$$

где e_o - начальное значение коэффициента пористости; m_o - коэффициент сжимаемости, соответствующий интервалу давления от $\sigma_{v,i}$ до $\sigma_{v,i+1}$; β - коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе и вычисляемый по формуле

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}, \quad (7)$$

где ν - коэффициент поперечной деформации, определяемый в соответствии с п. 9.7.

9.5 Коэффициент фильтрационной консолидации c_v вычисляют при измеренном избыточном поровом давлении более 3 кПа, в выбранном интервале осевого напряжения, по формуле

$$c_v = - \frac{h^2 \lg \left(\frac{\sigma_{v2}}{\sigma_{v1}} \right)}{2\Delta t \lg \left(1 - \frac{u_b}{\sigma_v} \right)}, \quad (8)$$

где σ_{v1} - приложенное осевое напряжение при времени t_1 ; σ_{v2} - приложенное осевое напряжение при времени t_2 ; h - средняя высота образца в интервале времени между t_1 и t_2 ; Δt - интервал времени между t_1 и t_2 ; u_b - среднее избыточное поровое давление в интервале времени t_1 и t_2 ; σ_v - среднее полное осевое напряжение в интервале времени t_1 и t_2 .

9.6 Давление предварительного уплотнения σ_p определяют с использованием метода Казагранде или прямым методом, используя непосредственно результаты компрессионных испытаний.

Давление предварительного уплотнения можно определить из компрессионных испытаний образцов грунта ненарушенной структуры (рис. 2). Как видно из рис. 2 наклон кривой $e = f(\lg \sigma_v)$ незначителен до вертикальных давлений, равных давлению предварительного уплотнения σ_p . За этим давлением наклон кривой резко возрастает, что свидетельствует о сжимаемости грунта.

9.6.1 Определение давления предварительного σ_p методом Казагранде.

Определение σ_p выполняется с использованием следующей процедуры (рис. 2):

1. Провести касательную линию к участку компрессионной кривой, начало которого определяется видимым уплотнением образца грунта.

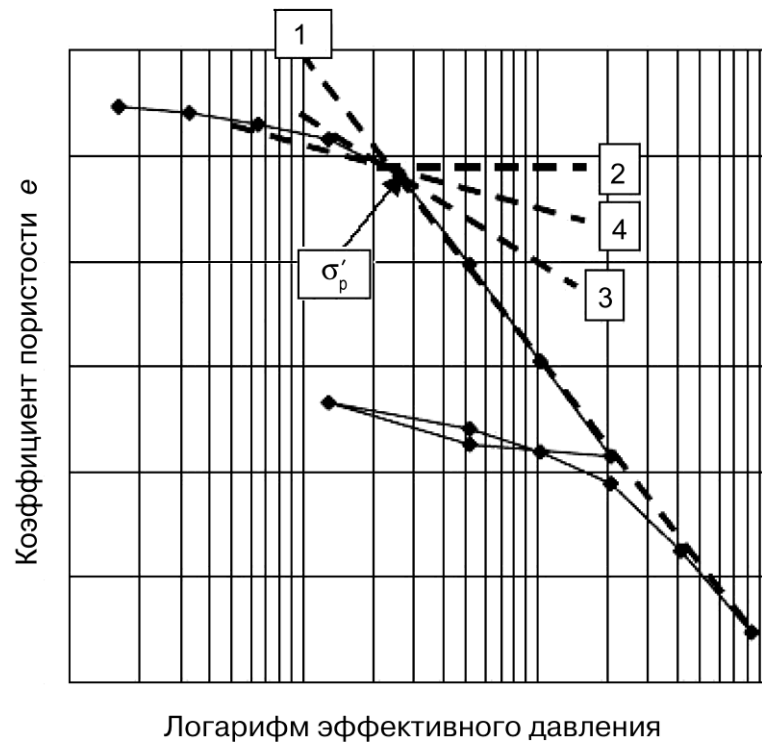


Рис. 2. Определение давления предварительного уплотнения методом Казагранде

2. Найти точку с максимальной кривизной на начальном участке компрессионной кривой, где изменяется угол наклона, и провести через нее горизонтальную прямую.

3. Провести касательную линию к компрессионной кривой из найденной в п. 2 точке.

4. Провести линию через биссектрису угла определяемого линиями построенными в п. 2 и п. 3.

5. Точка пересечения между линией, проходящей через биссектрису угла (п. 4) и первой касательной (п.1) определяет положение давления предварительного уплотнения.

Метод Казагранде рекомендуется для глин, у которых имеет место незначительное нарушение структуры при отборе монолитов и подготовке образцов грунта.

9.6.2. Определение давления предварительного σ'_p прямым методом используя коэффициент порового давления.

Результаты компрессионных испытаний представляются в виде зависимости изменения коэффициента порового давления u_b/σ'_v от эффективного напряжения σ'_v (рис. 3).

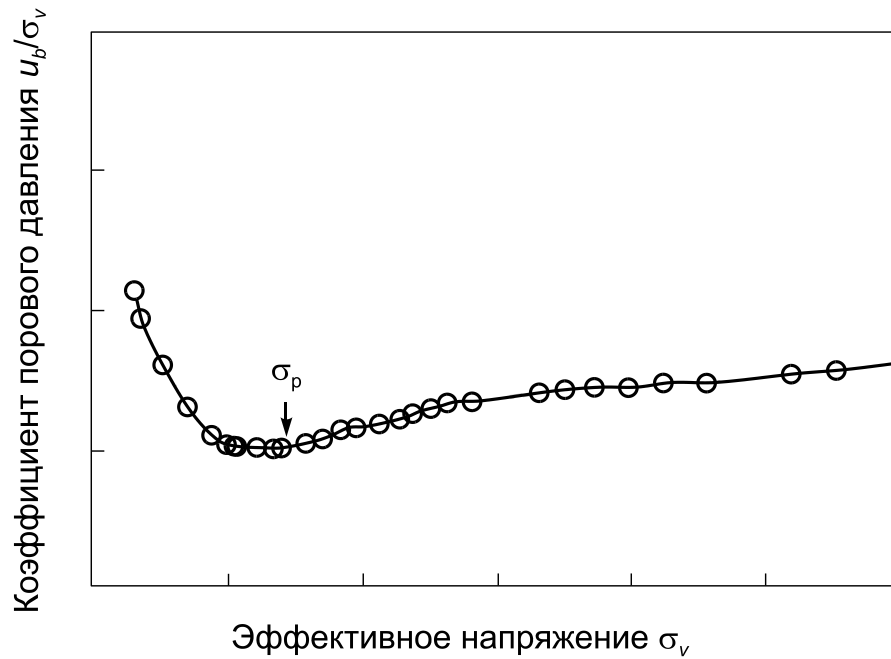


Рис. 3. Определение давления предварительного уплотнения

Давление предварительного уплотнения соответствует минимальному значению коэффициента u_b / σ_v' .

9.6.3. Определение давления предварительного σ_p прямым методом используя боковые напряжения σ_h' .

Результаты компрессионных испытаний представляют в виде зависимости между вертикальными и боковыми напряжениями (рис. 4).

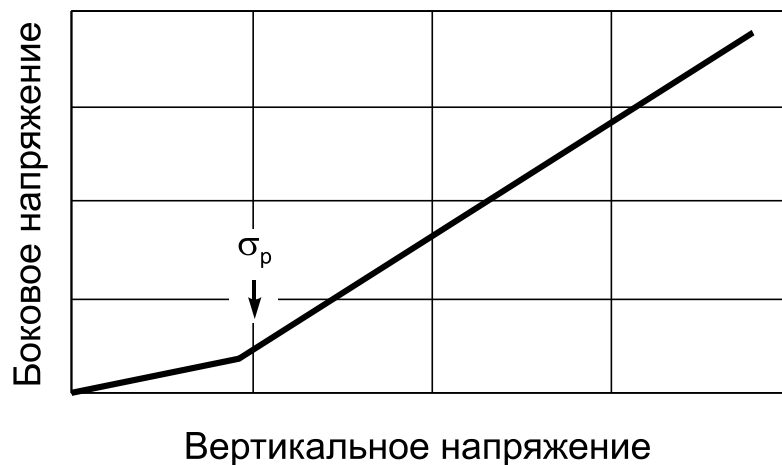


Рис. 4. Определение давления предварительного уплотнения

Точка перегиба билинейной зависимости $\sigma_h' = f(\sigma_v')$ соответствует значению давления предварительного уплотнения, σ_p .

9.7. Используя второй участок (AB) зависимости $\sigma'_h = f(\sigma'_v)$ находят:

- коэффициент бокового давления

$$\xi = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v}, \quad (9)$$

- коэффициента Пуассона:

$$\nu = \frac{\xi}{1 + \xi}, \quad (10)$$

- среднее напряжение

$$\sigma' = \frac{\sigma'_v + 2\sigma'_h}{3}, \quad (11)$$

- интенсивность касательных напряжений

$$\sigma_i = \frac{\sigma'_v - \sigma'_h}{\sqrt{3}}. \quad (12)$$

Литература

1. Black, D. K., and Lee, K. L. "Saturated Laboratory Samples by Back Pressure," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol 99, No. SM1, Proc Paper 9484, 1973, pp. 75–93.
2. Wissa, A. E. Z., Christian, J. T., Davis, E. H., Heiberg, S. "Consolidation at Constant Rate of Strain," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol 97, No. SM10, 1971, pp. 1393-1413.
3. Swedish Standard SS 027126 CRS Oedometer Test on Cohesive Soil.
4. ASTM D 4186. Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Controlled-Strain Loading.

Дополнительная литература

1. Gorman C. T. Constant-Rate-of-Strain and Controlled-Gradient Consolidation Testing, *Research Report 448*, Division of Research, Kentucky Department of Transportation, May 1976.
2. Gorman C. T. Strain-Rate Selection in the Constant-Rate-of-Strain Consolidation Test, *Research Report 556*, Division of Research, Kentucky Department of Transportation, October 1980.
3. Deen R. C., Drnevich V. P., Gorman C. T., Hopkins T. C. Constant-Rate-of-Strain and Controlled-Gradient Consolidation Testing, *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, Vol 1, No. 1, March 1978, pp. 3–15.

4. Lowe J. New Concepts in Consolidation and Settlement Analysis, *Journal of Geotechnical Division*, ASCE, Vol 100, No.GT6, Proc Paper 10623, June 1974, pp. 571–612.
5. Lowe J., Jonas E., Obrician, V. Controlled Gradient Consolidation Test, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol 95, No. SM1, January 1969.
6. Lowe J., Zacheo, P. F., Feldman, H. S. Consolidation Testing with Back Pressure, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol 90, No. SM5, September 1964.
7. Smith R. E., Wahls H. E. Consolidation under Constant Rates of Strain, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol 95, No. SM2, March 1969.
8. Armour D.W., Drnevich V.P. Improved Techniques for the Constant-Rate-of-Strain Consolidation of Soils: Testing and Evaluation, ASTM STP 892, Yong R.N. and Townsend F.C., Eds., American Society for Testing Materials, Philadelphia, 1986, pp. 170-183.
9. Mesri G., Castro A. C/C Concept and K During Secondary Compression, *Journal of the Geotechnical Engineering Div.*, ASCE, Vol. 113, No. GT3, March 1987, pp. 230-247.

Категории методов отбора образцов и классы качества образцов для лабораторных испытаний

Согласно ISO 22475-1 и EN 1997-2:2007 (Еврокод 7, часть 2, раздел 3) на практике рекомендуется использовать следующие три категории методов отбора, зависящие от желаемого качества образцов:

- категория А: могут быть получены образцы с классом качества от 1 до 5;
- категория В: могут быть получены образцы с классом качества от 3 до 5;
- категория С: могут быть получены образцы только 5 класса качества.

Образцы с классом качества 1 или 2 могут быть получены используя категорию А метода отбора образцов. Это предполагает, что при отборе монолитов и подготовке образцов практически полностью сохранена их структура. Влажность и коэффициент пористости соответствуют природным. Нет изменений в химическом составе и составляющих грунта. Категории А соответствуют технологии отбора монолитов путем их обуривания с промывкой, применение тонкостенных поршневых пробоотборников и вырезание монолитов вручную.

Табл. 1. Рекомендуемые классы качества образцов для лабораторных испытаний

Свойства грунтов/класс качества	1	2	3	4	5
Неизменяемые свойства грунтов:					
- размер частиц;	*	*	*	*	
- влажность;	*	*	*		
- плотность, индекс плотности, проницаемость	*	*			
- сжимаемость, прочность сдвига	*				
Свойства, которые могут быть определены:					
- последовательностью слоев;	*	*	*	*	*
- грубая граница слоев;	*	*	*	*	
- точная граница слоев;	*	*			
- пределы пластичности, плотность частиц, содержание органики	*	*	*	*	
- влажность;	*	*	*		
- плотность, индекс плотности, пористость, проницаемость;	*	*			
- сжимаемость, прочность сдвига	*				
	А				
				В	
					С

Используя категорию В нельзя получить качество образцов лучше чем 3. В этом случае удастся сохранить как составляющие грунта в полевых условиях в их начальной пропорции, так и их природную влажность. Может быть установлена общая классификация различных слоев грунта или их компонент. Структура грунта будет нарушена. Некоторые непредвиденные обстоятельства, такие как изменчивость в геологическом строении могут привести к снижению класса качества образцов.

Используя категории С нельзя получить качество образцов лучше пятого класса. Структура грунта в образце будет полностью изменена. Общая классификация различных слоев грунта или компонент в этом случае будет неточной и отличной от природной. Влажность в грунтах также не будет соответствовать природной в выделяемых слоях грунтов.

Качество подготовленных образцов грунта можно оценить, используя следующую процедуру которую предложил в 1996 году К.Терцаги. Он предложил оценивать качество подготовленных образцов грунта используя категорию качества (Specimen Quality Designation – SQD) изменяющаяся от А (лучшее) до Е (худшее). Образцы хорошего качества должны соответствовать параметру качества SQD в интервале от А до В глин с $OCR < 3 - 5$. Образцы с удовлетворительным качеством соответствуют интервалу SQD от В до С. Таким образом, если объемная деформация при реконсолидации находится в интервале от 0 до 4%, то результаты испытаний с целью определения параметров прочности и деформируемости не вызывают сомнений.

Процедура водонасыщения образцов грунта

Камера вакуумная (рис. 1) применяется для деаэрации воды и водонасыщения образцов грунта с устройствами типа ГТ 4.1.1, ГТ 4.1.2, ГТ 4.2.1, ГТ 4.3.2, ГТ 4.3.1 (www.geotek.ru).

Цель водонасыщения заключается в растворении оставшегося воздуха в поровой воде. Наличие воздуха в порах образца грунта свидетельствует о том, что данный материал (грунт) является трехкомпонентной средой (твердые частицы, вода и воздух).

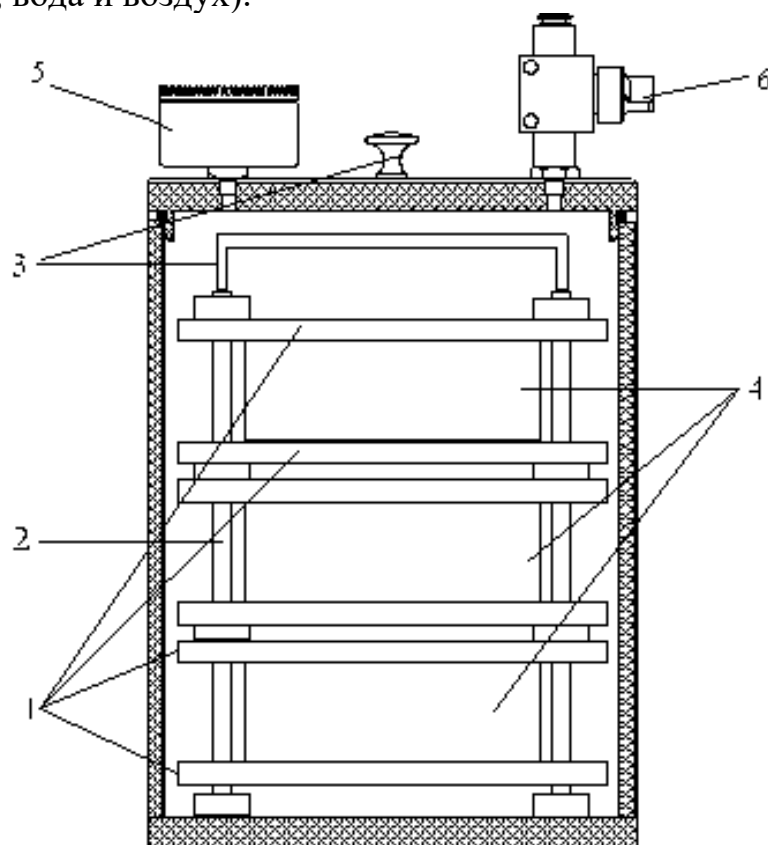


Рис. 1. Камера вакуумная:
1 – перфорированный диск; 2 – стойка; 3 – ручка; 4 – кольцо с грунтом; 5 – вакуумный манометр; 6 – кран вакуумирования

1 Подготовка образца

Испытания проводят на лабораторных образцах грунта ненарушенного сложения с природной влажностью или на искусственно приготовленных образцах с заданной плотностью и влажностью, значения которых устанавливают программой испытаний.

Образцы грунта природной влажности испытывают непосредственно после их изготовления.

Для изготовления образца грунта применяют следующее оборудование и материалы:

- режущие цилиндры с различным внутренним диаметром;
- гладкие пластинки (стекло, металл и т.п.);
- насадку для вдавливания колец;
- штангельциркуль по ГОСТ 166;
- плоскую лопатку;
- нож с прямым лезвием;
- ножовка со струной;
- лабораторные весы по ГОСТ 24104;
- эксикатор.

Режущий цилиндр перед употреблением должен быть проверен – при помещении цилиндра торцами на гладкую пластинку не должно быть видимых зазоров между краем цилиндра и пластинкой.

Образец грунта изготавливают из монолита в следующей последовательности:

- цилиндр ставят режущим краем на выровненную и зачищенную горизонтальную поверхность монолита грунта и прессом через насадку слегка вдавливают в грунт, обозначая границу образца для испытаний;
- грунт снаружи кольца обрезают на глубину 5-10 мм ниже режущего края кольца, формируя столбик диаметром на 1-2 мм больше наружного диаметра кольца. Периодически, по мере срезания грунта легким нажимом надвигают кольцо на столбик грунта, не допуская перекоса, до полного заполнения кольца. Образование зазоров между грунтом и кольцом не допускается. В пластичный грунт, из которого не удастся вырезать столбик, кольцо вдавливают и удаляют грунт вокруг кольца;
- верхний торец образца зачищают ножом вровень с краем кольца и накрывают пластинкой;
- подрезают столбик грунта на 10 мм ниже режущего края кольца и отделяют его. При вдавливании кольца подхватывают его снизу плоской лопаткой;
- переворачивают кольцо, зачищают другой торец образца вровень с краем кольца и также накрывают пластинкой и помещают в эксикатор.

2. Проведение водонасыщения образцов грунта.

2.1. Подготавливается образец грунта в соответствии с п.п.1.а.1, торцы кольца с грунтом покрываются смоченной фильтровальной бумагой.

2.2. На скрепляющие стойки 2 (рис. 1) надевается перфорированный диск-подставка 1 для кольца 4.

2.3. Кольцо 4 с грунтом устанавливают на перфорированный диск-подставку 1.

2.4. На скрепляющие стойки 2 надевают еще один перфорированный диск-подставку 1.

- 2.5. Таким же образом устанавливают еще три кольца с грунтом.
- 2.6. Скрепляющие стойки стягивают гайками.
- 2.7. Собранную оснастку берут за ручку и помещают в вакуумную камеру.
- 2.8. Вакуумную камеру заполняют дистиллированной водой, таким образом, чтобы оснастка находилась полностью в воде.
- 2.9. Сверху ставят крышку вакуумной камеры. К крану 6 вакуумной камеры присоединяют пневмотрубку с вакуумным эжектором.
- 2.10. С другой стороны вакуумного эжектора в штуцер, подсоединяют пневмотрубку, идущую от крана подачи сжатого воздуха.
- 2.11. Открыть кран подачи сжатого воздуха к эжектору и создать вакуум в камере 70-90 кПа, контролируя его по индикатору вакуума на камере.
- 2.12. После создания вакуума в камере для водонасыщения перекрыть кран, расположенный на крышке вакуумной камеры. Затем перекрыть кран подачи сжатого воздуха к эжектору.
- 2.13. По истечении 15 минут для супесей, 1 час для глинистых грунтов открыть кран, расположенный на крышке вакуумной камеры. Далее выдерживать образцы грунта в вакуумной камере при атмосферном давлении в течение 15 минут для супесей, 1 час для глинистых грунтов.
Примечание – Указанное время зависит от вида глинистого грунта и его природной степени водонасыщения и должно быть уточнено в ходе испытаний.
- 2.14. Повторить процедуру водонасыщения в соответствии с пп. 2.11-2.13 не менее четырех раз. Процедуру водонасыщения можно считать законченной, если степень водонасыщения грунта $S_r=0,92 - 0,95$.
- 2.15. По завершению процедуры водонасыщения снять крышку вакуумной камеры; вынуть оснастку из камеры, открутить гайки на скрепляющих шпильках и разобрать оснастку.
- 2.16. Провести испытания с водонасыщенными образцами грунта в зависимости от выбранной методики испытаний грунта на прочность.

Методика водонасыщения образцов грунта обратным давлением

Цель водонасыщения заключается в растворении оставшегося воздуха в поровой воде. Наличие воздуха в порах образца грунта свидетельствует от том, что данный материал (грунт) является трехкомпонентной средой (твердые частицы, вода и воздух). Теоретические решения механики грунтов, применяемые сегодня, для описания процесса консолидации, получены для полностью водонасыщенных грунтов (грунтовая масса по Н.М.Герсеванову), рассматривая грунт двухкомпонентной средой (твердые частицы, вода). В связи с этим, для адекватного соответствия результатов испытаний теоретическим решениям и принято маловлажные образцы грунта полностью водонасыщать, исключая влияние газообразной составляющей на прочность и деформируемость грунтов. К тому же, испытания полностью водонасыщенных грунтов позволяют исключить возможное снижение прочности и возрастание деформируемости маловлажных грунтов при их последующем увлажнении при изменении уровня грунтовых вод.

Для водонасыщения образцов грунта используется метод обратного давления. Обратное давление это искусственно созданное поровое давление внутри образца грунта с целью растворения свободного воздуха в поровой воде. Обратное давление и давление в камере увеличивают одновременно, так чтобы возникающее эффективное давление не вызывало деформацию образца грунта. Обычно, давление в камере принимается на 5 кПа более порового давления, при данной разнице давлений образец грунта практически не деформируется. Обратное давление создается достаточно медленно, так чтобы возникающее избыточное поровое давление рассеивалось в образце грунта.

Для того чтобы оценить необходимое значение обратного давления, вначале определяется степень водонасыщения грунта в природном состоянии

$$S_r = \frac{w\rho_s}{e\rho_w} \quad (1)$$

где: w - естественная влажность грунта; ρ_s - плотность частиц грунта; e - коэффициент пористости; ρ_w - плотность воды.

Обычно, если начальная степень водонасыщения находится в интервале от 0,65 до 0,9, то требуемое обратное давление, для достижения степени водонасыщения 0,95-0,98, может изменяться от 200 до 900 кПа.

При водонасыщении образцов грунта используется следующая процедура, которая выполняется после подготовки образца и установки его в одометр компрессионного прибора.

1 Заполнить камеру дегазированной водой исключая попадание воздуха внутрь камеры.

2 *Водонасыщение* – цель фазы водонасыщения заключается в заполнении всех пор образца водой без возникновения дополнительных напряжений в образце или набухания образца. Водонасыщение, выполняется создавая обратное давление в поровой воде образца для того, чтобы переместить воздух в раствор в процессе его водонасыщения. Следует заметить, что процесс растворения воздуха в воде зависит от времени и давления. Поэтому, необходимо максимально возможно удалить воздух из системы перед созданием обратного давления. Процесс водонасыщения с использованием дегазированной воды происходит быстрее, так как оставшийся воздух в образце и дренажной системе будет более легко переходить в раствор. Использование дегазированной воды уменьшает также время и величину обратного давления необходимого для водонасыщения.

3 *Создание обратного давления* – Одновременно увеличивают давление в камере и обратное давление ступенями при открытых дренажных кранах, так чтобы дегазированная вода из резервуара могла течь сверху и снизу образца. Для того, чтобы избежать нежелательное перенапряжение образца в процессе создания обратного давления, давление должно прикладываться приращениями с адекватным времен между приращениями позволяя стабилизироваться поровому давлению в образце грунта. Размер каждой ступени приращения давления может изменяться от 35 кПа до 140 кПа, в зависимости от величины требуемого эффективного давления и процента водонасыщения образца перед каждой ступенью приращения. Разница между давлением в камере и обратным давлением не должна превышать 35 кПа, если не требуется контроль набухания образца в течение процедуры. Разница между давлением в камере и обратным давлением должна также сохраняться в пределах $\pm 5\%$, когда давления возрастают и $\pm 2\%$, когда давления постоянны. Контроль стабилизации выполняют после создания приращения обратного давления или после создания полного значения обратного давления, закрыв дренажные краны и измеряя давление в поровой воде через 1 минуту. Если изменение в поровом давлении менее чем 5% разницы между обратным давлением и давлением в камере, прикладывается другая ступень приращения обратного давления или выполняются измерения с целью определения параметра порового давления, B , (см. 4) и оценки степени водонасыщения. Образец считается водонасыщенным, если значение B равно или более 0,95, или если B остается неизменным при создании дополнительного приращения обратного давления.

4. *Измерение параметра порового давления - B* . Значение параметра порового давления B выполняется в соответствии со следующей процедурой, используя выражение

$$B = \Delta u / \Delta \sigma_3, \quad (2)$$

где Δu - изменение порового давления в образце, которое является результатом изменения давления в камере, когда кран дренирования закрыт; $\Delta \sigma_3$ - изменение давления в камере.

4.1 Закрывать краны дренажа, записать значение порового давления и увеличить нормальное давление до 70 кПа.

4.2 После, примерно, 2 минут измерить и записать максимальное значение наведенного порового давления. Для многих образцов, поровое давление может уменьшаться после создания давления, а затем возрастать немного во времени. Если это встречается, то за окончательное значение Δu принимается значение, стабилизированное во времени. Большое увеличение Δu во времени или значение Δu более, чем $\Delta \sigma_3$ показывает на утечки жидкости из одометра. Уменьшение значений Δu во времени может показывать на не герметичность измерительной системы порового давления, вне одометра.

Значение $\Delta \sigma_3$ рекомендуется прикладывать ступенями в 25 кПа для мягких грунтов и до 100 кПа для жестких грунтов. Значение Δu должно быть измерено не позднее 2 минут после приложения ступени $\Delta \sigma_3$.

4.3 Вычислить B значение используя выражение (1).

4.4 Уменьшить нормальное давление на 70 кПа или альтернативно, увеличить обратное давление на 70 кПа. Если B продолжает возрастать с ростом обратного давления, продолжить водонасыщение. Если B равно или более 0,95 или если график « B - обратное давление» не показывает дальнейшего увеличения B с ростом обратного давления, то переходят к процедуре консолидации образца.

Результаты испытаний в компрессионных приборах

1. Общие данные

Испытания проводились в два этапа. На первом этапе были выполнены испытания с образцами глинистого грунта с использованием стандартной конструкции компрессионного прибора по ГОСТ 12248-96 и ступенчатым нагружением. На втором этапе испытания проводились с использованием предлагаемой конструкции компрессионного прибора с контролем порового давления и непрерывном нагружении, с заданной скоростью деформации (мм/мин).

В обоих случаях испытания были выполнены с использованием образцов-близнецов из грунта нарушенной структуры с физическими свойствами, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физические характеристики образцов грунта:

ω , д.е.	ω_L , д.е.	ω_P , д.е.	I_P , д.е.	I_L	ρ , г/см ³	ρ_d , г/см ³	ρ_s , г/см ³	n , д.е.	e	S_r
0,3	0,41	0,21	0,20	0,45	1,93	1,49	2,70	0,45	0,819	0,989

2. Испытания при ступенчатом действии внешней нагрузки в компрессионном приборе по ГОСТ 12248-96

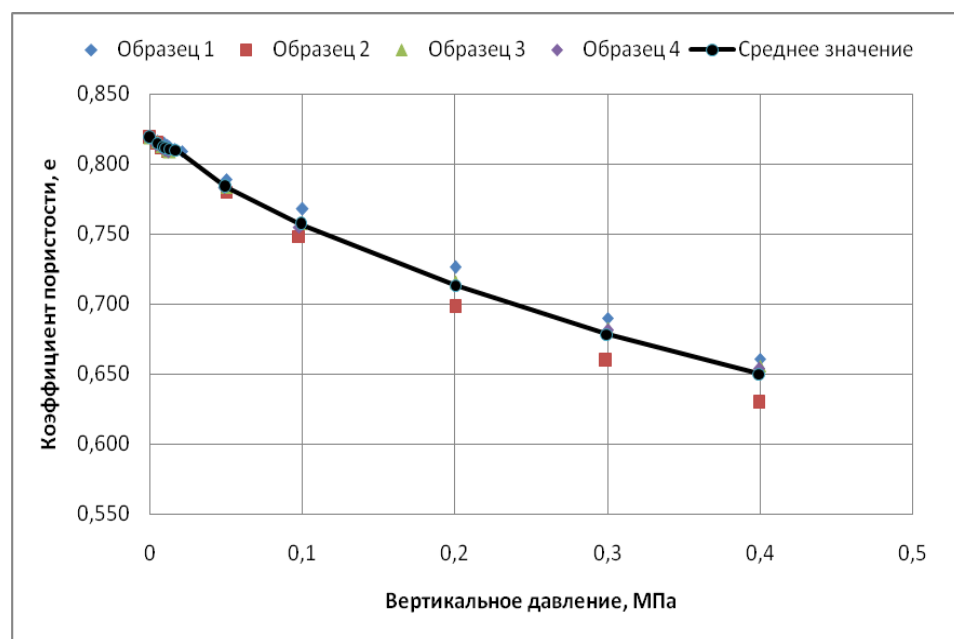


Рис. 1. Результаты четырех испытаний

Таблица 2 – Средние значения четырех испытаний

σ , МПа	h , мм	ε	E , МПа	m_0 , МПа ⁻¹	e
0	0	0	0,00	0,000	0,819
0,005	0,05	0,0020	1,45	0,766	0,815
0,008	0,09	0,0035	1,42	0,779	0,812
0,011	0,10	0,0040	3,05	0,364	0,811
0,013	0,11	0,0044	2,92	0,380	0,811
0,017	0,12	0,0048	6,61	0,168	0,810
0,050	0,48	0,0192	1,39	0,800	0,784
0,099	0,85	0,0339	2,03	0,546	0,757
0,200	1,45	0,0580	2,56	0,433	0,713
0,300	1,93	0,0773	3,15	0,352	0,678
0,400	2,32	0,0928	3,93	0,283	0,650

Таблица 3 – Продолжительность испытаний

Номер испытания	Продолжительность испытаний, час
1	84,26
2	77,57
3	81,12
4	85,08
	Среднее – 82ч. 13мин.

2. Испытания на компрессионное сжатие с постоянной скоростью деформации в предлагаемой конструкции прибора

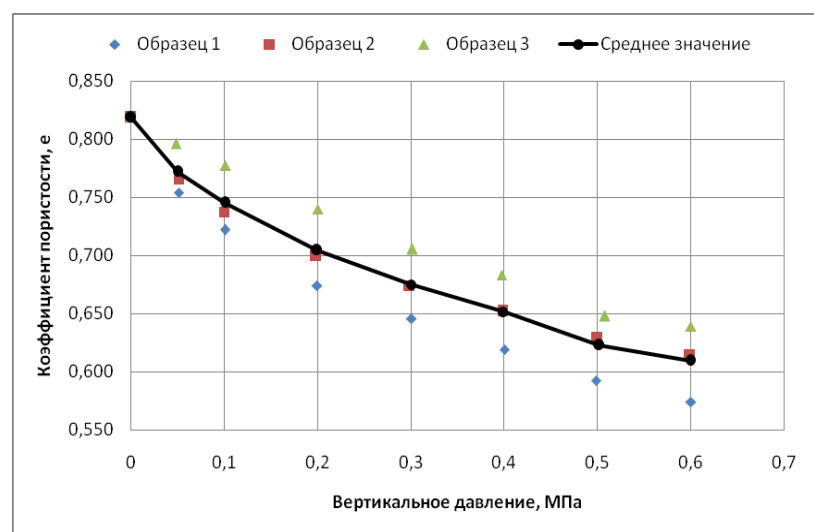


Рис. 2. Результаты трех испытаний

Таблица 4 – Средние значения трех испытаний

σ , МПа	h , мм	ε	E , МПа	m_0 , МПа ⁻¹	e
0	0	0	0	0	0,819
0,05	0,64	0,03	1,45	0,92	0,772
0,10	1,01	0,04	2,24	0,53	0,745
0,20	1,57	0,06	2,72	0,41	0,704
0,30	1,98	0,08	3,84	0,29	0,675
0,40	2,30	0,09	4,72	0,24	0,652
0,50	2,69	0,11	4,11	0,28	0,623
0,60	2,88	0,12	8,65	0,14	0,609

Таблица 5 – Продолжительность испытаний

Номер испытания	Продолжительность испытаний, час
1	8, 16
2	7,05
3	16,35
	Среднее – 10ч. 40мин.

3. Сравнение испытаний на компрессионное сжатие

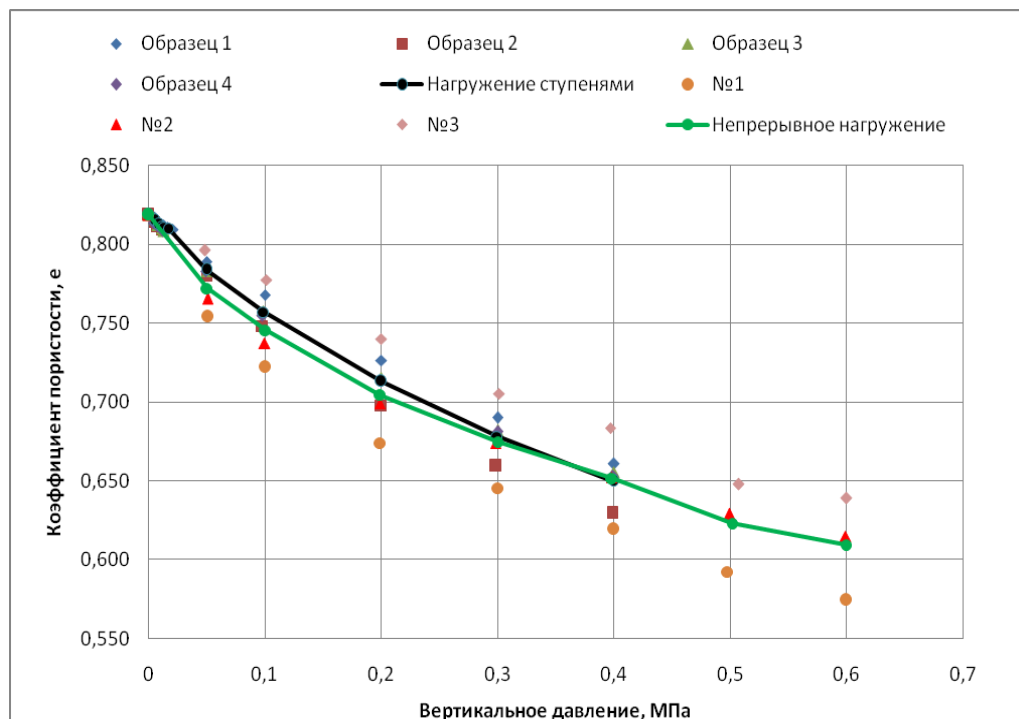


Рис. 3. Сравнение результатов испытаний в компрессионных приборах различной конструкции

Выводы

1. Испытания компрессионном приборе предлагаемой конструкции проводятся в 8 раз быстрее.
2. Результаты обоих видов испытаний практически совпадают (рис. 3). Расхождения в определяемом компрессионном модуле деформации E составляют не более 20% (табл. 2 и табл. 4).