

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Строительный факультет
Кафедра «Строительное производство и геотехника»

Геология и механика грунтов

(Методические указания к выполнению лабораторных работ
по дисциплинам «Геология» и «Механика грунтов»)

Пермь 2017

Составители: Пономарев А.Б., Калошина С.В., Сычкина Е.Н.

УДК 624.131.37

Геология и механика грунтов: Метод. указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Геология» и «Механика грунтов» / Сост. А.Б. Пономарев, С.В. Калошина, Е.Н. Сычкина, Перм.национ.исслед.политехн.ун-т. – Пермь, 2017.

Даются рекомендации по исследованию физико-механических характеристик песчаных и пылевато-глинистых грунтов, обработке результатов исследований, определению параметров характеристик грунтов и их классификации. Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01– «Строительство», профили подготовки: «Промышленное и гражданское строительство», «Городское строительство и хозяйство», «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Водоснабжение и водоотведение», «Экспертиза и управление недвижимостью».

Рецензенты:

доцент Захаров А.В., доцент Клевеко В.И.

© Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ	4
Введение.....	6
Раздел №1. ГЕОЛОГИЯ	7
Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА	7
Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА	9
Лабораторная работа №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ВЫСУШИВАНИЯ ДО ПОСТОЯННОЙ МАССЫ... ..	11
Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ	13
Лабораторная работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТА.....	18
Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСЧАНОГО ГРУНТА	21
Раздел №2. МЕХАНИКА ГРУНТОВ	25
Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА	25
Лабораторная работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ДЛЯ ПЕСКОВ.....	30
Лабораторная работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ СДВИГУ МЕТОДОМ ПРЯМОГО СРЕЗА ОБРАЗЦА.....	32
Лабораторная работа №10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЖИМАЕМОСТИ ГРУНТОВ В КОМПРЕССИОННОМ ПРИБОРЕ (КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ).....	38

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

1. Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ после инструктажа по технике безопасности. Инструктаж проводится по имеющимся в лаборатории инструкциям по безопасному проведению лабораторных работ. При нарушении этих правил студент удаляется с лабораторного занятия и считается пропустившим его.

2. До выполнения работ на установке, приборе необходимо внимательно ознакомиться с основными правилами их эксплуатации.

3. Студент несет материальную ответственность за поломки и повреждения лабораторного оборудования и инструментов, возникшие по его вине.

4. Нельзя загромождать рабочее место предметами, ненужными для выполнения данной работы. Приборы и оборудование следует разместить таким образом, чтобы исключить их падение или опрокидывание.

5. Во время выполнения лабораторных работ нельзя ходить без дела по лаборатории, отвлекать внимание товарищей, опираться на установки и приборы.

6. При работе в лаборатории необходимо выполнять только ту работу, которую выбрал руководитель. Категорически запрещается выполнять другие работы.

7. Студент может работать на испытательных установках только с разрешения преподавателя. Студентам запрещается самостоятельно включать и выключать приборы, оставлять их без наблюдения в процессе работы, так как это может повлечь за собой несчастный случай.

8. При работе со стеклянными приборами необходимо:

- использовать стеклянную посуду без трещин;
- не допускать резких изменений температуры и механических ударов;
- взвешивать пикнометры и бюксы только после их остывания до комнатной температуры;

- при нагревании пикнометров с жидкостью использовать специальные штативы или перчатку;

- отверстие пикнометра при нагревании в нем жидкости направлять в сторону от себя.

9. При проведении испытаний в компрессионном и сдвиговом приборе, где нагрузка на образец грунта прикладывается при помощи гирь через дисковые рычажные системы, груз следует плавно опустить на подвеску, надежно укрепить, чтобы он не сорвался.

10. Необходимо следить за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях, не прикасаться и не наклоняться близко к вращающимся и движущимся частям механизмов.

11. Во время испытаний не допускается превышать предел массы грузов, указанных в настоящем пособии, а также предельных нагрузок измерительных приборов.

12. Запрещается проводить ремонтные мероприятия, устранять неисправности электрооборудования и чистить приборы во время работы, или когда они находятся под напряжением.

13. Запрещается для выполнения работ оставаться в лаборатории одному. Обязательное присутствие второго лица необходимо для оказания первой помощи при несчастном случае выполняющему работы.

14. Если с Вами или другими студентами произошел несчастный случай, необходимо немедленно сообщить об этом руководителю работ.

15. При возгорании парафина для его тушения нельзя использовать воду, следует использовать песок.

16. В случае если разбилась лабораторная посуда или приборы из стекла, нельзя собирать их осколки незащищенными руками. Для этой цели необходимо использовать щетку и совок.

17. О неполадках в лабораторном оборудовании следует немедленно сообщить руководителю работ.

18. После окончания работ нужно привести в порядок рабочее место

и доложить об окончании работ преподавателю. В случае потери пособий, порчи инструментов или испытательных приборов студенты несут материальную ответственность за них.

Введение

Проектирование оснований и фундаментов ведется с учетом данных о видах и свойствах грунтов, слагающих площадку строительства. Физико-механические характеристики грунта, позволяющие оценить его деформационные и прочностные свойства, определяют в основном с помощью лабораторных анализов грунтовых проб. Образцы грунтов отбирают ненарушенного (монолиты) или нарушенного сложения из буровых скважин, шурфов, котлованов и пр. Цель настоящих указаний – ознакомить студентов с основными приемами работы и методикой проведения лабораторных анализов грунтовых проб.

Раздел №1. ГЕОЛОГИЯ

Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА

Цель работы: определить естественную плотность грунта методом режущего кольца и методом парафинирования

Плотностью грунта ρ называется отношение массы грунта, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему. Единица измерения - т/м³, г/см³.

Для определения плотности грунтов применяют *метод режущим кольцом* и *метод парафинирования*, применительно к ГОСТ 5180-2015. По первому методу металлическое кольцо известного объема осторожно врезают в грунт, затем путем взвешивания определяют его массу как разность массы кольца с грунтом и собственной массы кольца.

По способу парафинирования находят объем образца известной массы. Для этого образец грунта, сохраняющего свою форму, покрывают расплавленным парафином и взвешивают. Зная объем парафина (по его массе и плотности), согласно закону Архимеда вычисляют объем образца.

Метод режущего кольца

Необходимое оборудование: режущее кольцо, электронные весы, нож.

Порядок выполнения работы:

1. Взвесить пустое режущее кольцо m_l (г).
2. Определить размеры кольца и его внутренний объем вычислить по формуле:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}, \quad (1)$$

где d - внутренний диаметр кольца, см; h - высота кольца, см.

3. Заполнить режущее кольцо грунтом путем вдавливания его в монолит грунта.
4. Наружную поверхность кольца очистить от грунта.
5. Грунт, выступающий за края кольца, аккуратно срезать ножом.

6. Взвесить кольцо с грунтом m_2 (г).

7. Занести данные в табл. 1 и вычислить плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (2)$$

Произвести параллельно не менее двух определений ρ . Расхождение в конечных результатах для однородных грунтов более $0,03 \text{ г/см}^3$ не допускается. За величину ρ принять среднее арифметическое значение.

Таблица 1

Результаты определения плотности грунта

№ п/п	Масса, г			Объем грунта $V, \text{ см}^3$	Плотность грунта $\rho,$ г/см^2
	пустого кольца m_1	кольца с грунтом m_2	грунта $m = m_2 - m_1$		
1					
2					

Метод парафинирования

Необходимое оборудование: электронные весы; емкость с парафином; образец грунта естественной структуры и влажности объемом около 50 см^3 ; мерный сосуд с водой, нитки.

Порядок выполнения работы:

1. Приготовленный лаборантами образец грунта обвязать нитками для удобства парафинирования и взвесить, m_0 .

2. Нагреть парафин до 60°C и покрыть образец парафиновой оболочкой, погружая образец на 2-3 секунды в разогретый парафин. Операцию повторить до образования плотной парафиновой оболочки без пузырьков воздуха.

3. Запарафинированный образец после остывания взвесить, m_1 .

4. Определить объем запарафинированного образца грунта, погружая его в градуированный цилиндр с водой, измеряя объем вытесненной воды.

5. Все измерения записать в табл. 2 и провести вычисления.

Результаты измерений

№ п/п	Масса, г		Масса парафина $m_1 - m_0$	Объем, см ³			Плотность грунта, г/см ³
	образца m_0	запарафи нированн ого образца m_1		парафина $V_n = \frac{m_1 - m_0}{\rho_{нар}}$, $\rho_{нар} = 0,9 \text{ г/см}^3$	запарафи нированн ого образца V_3	образца $V = V_3 - V_n$	
1							
2							

Вывод по работе: полученное значение естественной плотности составило: методом режущего кольца _____; методом парафинирования _____.

Литература: ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА

Цель работы: определить плотность частиц грунта пикнометрическим методом.

Плотностью частиц грунта ρ_s называется отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к объему твердой части грунта. Численно плотность частиц грунта равна отношению массы твердых (скелетных) частиц к занимаемому ими объему:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}, \quad (3)$$

где m_s - масса частиц грунта; V_s - объем частиц грунта.

Плотность частиц грунта зависит от минералогического состава грунта

и увеличивается с увеличением содержания в грунте тяжелых минералов.

Единица измерения - т/м^3 , г/см^3 . Осредненные значения ρ_s для различных грунтов могут приниматься равными: для песков 2,64-2,66; для супесей 2,68-2,70; для суглинков 2,70-2,72; для глин 2,74-2,76 г/см^3 .

Плотность частиц грунта определяют пикнометрическим методом (ГОСТ 5180-2015). В основу способа положено определение объема частиц грунта по массе вытесненной ими воды. Для этого определяют массу сосуда (пикнометра) с водой и с водой и грунтом. Объем пикнометра определяется по массе вошедшей в него дистиллированной воды.

Необходимое оборудование: пикнометры вместимостью не менее 100 см^3 , электронные весы, воронка, капельница, дистиллированная вода, песчаная или водяная баня.

Порядок выполнения работы:

1. Взвесить пустой пикнометр m_1 (г).
2. Навеску грунта массой 15-20 г через воронку насыпать в пикнометр и определить массу пикнометра с грунтом m_2 (г).
3. Налить в пикнометр до половины его объема дистиллированной воды, осторожно взболтать и кипятить на песчаной бане для удаления адсорбированного воздуха и расчленения агрегатов глинистого грунта (кипение в течение 30 мин для песков, и 60 мин для глин).
4. Остудить пикнометр до комнатной температуры и долить в него дистиллированной воды до риски на шейке пикнометра (используя капельницу).
5. Взвесить пикнометр с грунтом и водой m_3 (г).
6. Пикнометр опорожнить, промыть, заполнить до риски дистиллированной водой, взвесить m_4 (г).
7. Занести данные в табл. 4 и вычислить плотность частиц грунта по формуле:

(4)

$$\rho_s = \frac{(m_2 - m_1)\rho_w}{(m_4 + m_2) - (m_1 + m_3)},$$

где ρ_w – плотность воды, равная 1 г/см³.

Таблица 3

Результаты определения плотности частиц грунта

№ п/п	Масса пикнометра, г				Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³
	пустого m_1	с грунтом m_2	с грунтом и водой m_3	с водой m_4	
1					

Выводы по работе: значение плотности частиц грунта составило

_____.

Литература: ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

Лабораторная работа №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ВЫСУШИВАНИЯ ДО ПОСТОЯННОЙ МАССЫ

Цель работы: определить природную влажность грунта.

Влажностью грунта ω называется отношение массы воды, содержащейся в порах грунта, к массе твёрдых частиц, выраженное в процентах или долях единицы:

$$\omega = \frac{m_w}{m_s}, \quad (5)$$

где m_s – масса твёрдых частиц, m_w – масса воды.

Влажность всех видов грунтов в лабораторных условиях определяется по ГОСТ 5180-2015.

Единицы измерения – проценты или доли единицы.

Необходимое оборудование: эксикатор, бюксы, электронные весы,

сушильный шкаф.

Порядок выполнения работы:

1. Взвесить бюкс с крышкой m (г)
2. Поместить 10-20 г грунта в бюкс и взвесить его вместе с крышкой m_1 (г)
3. Бюкс с грунтом и крышкой, одетой на донышко, поставить в сушильный шкаф, постепенно повышая температуру до 100 - 105°C.

Первичное высушивание глинистых грунтов и торфов проводить в течение 5 часов, песчаных и крупнообломочных – 3 часа.

4. Закрывать бюкс крышкой и охладить до комнатной температуры в эксикаторе и взвесить. Операцию высушивания повторять до тех пор, пока разность между двумя последними взвешиваниями станет меньше 0,02 г. В качестве результата взвешивания принять наименьшую массу бюкса с крышкой и сухим грунтом m_2 (г)

5. Занести данные (табл. 4) и вычислить весовую влажность грунта по формуле

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} \quad (6)$$

Таблица 4

Результаты определения природной влажности грунта

Номер бюкса	Масса бюкса, г			Масса воды в грунте m_w , Г	Масса сухого грунта m_s , Г	Влажность грунта ω
	пустого m	С влажным грунтом m_1	с сухим грунтом m_2			

Вывод по работе: значение природной влажности грунта составило _____.

Литература: ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного

определения физических характеристик.

Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Цель работы: определить показатели пластичности пылевато-глинистого грунта и классифицировать грунт согласно ГОСТ 25100-2011.

Грунты. Классификация.

Под ***пластичностью грунтов*** понимают способность их деформироваться (изменять форму) без разрыва сплошности под действием внешней нагрузки и сохранять полученную при деформации форму после прекращения внешнего воздействия.

Пластичными свойствами обладают только глинистые (связные) грунты. Пластичные свойства глинистых грунтов в значительной степени зависят от влажности. С увеличением влажности увеличивается сжимаемость грунтов, уменьшается сопротивление сдвигу, ухудшаются строительные свойства грунтов.

Под ***консистенцией*** (густотой) понимают степень подвижности частиц грунта при механическом воздействии. Консистенцию глинистых грунтов определяют из сопоставления естественной влажности грунта ω и двух граничных характерных значений влажностей, которые называются границами пластичности. Различают верхний и нижний пределы пластичности, которые называют соответственно: влажность на границе пластичности (раскатывания) ω_p и влажность на границе текучести ω_L . В зависимости от соотношения этих влажностей глинистые грунты находятся в одном из трёх состояний: твёрдом, пластичном, текучем.

Границей пластичности (раскатывания) ω_p называется влажность грунта, при увеличении которой грунт находится на границе твёрдого и пластичного состояний.

Границей текучести ω_L называется влажность грунта, при которой

грунт находится на границе пластичного и текучего состояний.

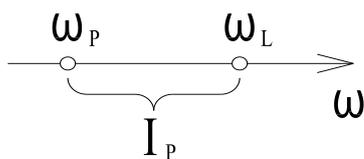


Рис. 1 Число пластичности

Разность влажностей, соответствующих двум состояниям грунта: на границе текучести ω_L и на границе раскатывания ω_p - называют **числом пластичности**:

$$I_p = \omega_L - \omega_p. \quad (7)$$

Число пластичности характеризует диапазон влажностей, при котором грунт будет пластичным. В зависимости от индекса пластичности глинистые (связные) грунты подразделяют на следующие **разновидности** (ГОСТ 25100-2011):

- 1) супесь, $0,01 \leq I_p \leq 0,07$;
- 2) суглинок, $0,07 < I_p \leq 0,17$;
- 3) глина, $I_p > 0,17$;

Для песков $I_p < 0,01$

Состояние (консистенция), в котором грунт находится в условиях естественного залегания, характеризуется числовой характеристикой, называемой **показатель текучести** I_L , который рассчитывается по формуле:

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{I_p}, \quad (8)$$

где ω - естественная влажность грунта.

Консистенцию глинистых грунтов определяют по показателю текучести согласно ГОСТ 25100-2011. Различают следующие разновидности

грунтов по показателю текучести:

супесь:

твердая, $I_L < 0$;

пластичная, $0 \leq I_L \leq 1$;

текучая, $I_L > 1$;

суглинки и глины:

твердые, $I_L < 0$;

полутвердые, $0 \leq I_L \leq 0,25$;

тугопластичные, $0,25 < I_L \leq 0,50$;

мягкопластичные, $0,50 < I_L \leq 0,75$;

текучепластичные, $0,75 < I_L \leq 1,00$;

текучие, $I_L > 1,00$.



Рис. 2 Схема классификации глинистых грунтов в зависимости от показателя текучести

Хотя существует несколько способов определения характеристик пластичности грунта, следует руководствоваться установленным ГОСТ 5180-2015 способом, по которому граница текучести определяется с помощью балансирующего конуса, а граница пластичности (раскатывания) - по влажности раскатывания в шнур.

Определение влажности на границе текучести

Влажность грунта на границе текучести определяется методом

пенетрации конусом.

Необходимое оборудование: прибор Васильева, сушильный шкаф, дистиллированная вода, пипетка, электронные весы, бюксы, фарфоровая чашка, пестик, шпатель.

Граница текучести определяется с помощью прибора Васильева. Комплект прибора состоит из конуса Васильева, подставки и чашки. Конус смонтирован на балансирной полудуге, на концах которой имеется два стальных шарика. Масса всей системы (конуса) составляет 76 г. Угол при вершине конуса равен 30° , на высоте 10 мм от вершины на конусе имеется круговая риска.

Влажность на границе текучести соответствует весовой влажности грунта, при которой стандартный конус погружается в грунтовую массу за 5 секунд под собственным весом на глубину 10 мм (до риски).

Граница текучести определяется по подбору соответствующей влажности испытываемого грунта.

Порядок выполнения работы:

1. Образец грунта разминают в фарфоровой чашке (с добавкой дистиллированной воды, если это требуется) до образования грунтовой пасты.

2. Заполнить цилиндрический стаканчик (чашку) прибора Васильева грунтовой пастой вровень с краями без образования пустот, поставить его на специальную подставку.

3. На поверхность грунта осторожно опустить балансирный конус и наблюдать за его свободным погружением в течение 5 с. Если конус погрузится строго до отметки (на 10 мм), то влажность грунта находится на границе текучести.

4. Если конус погрузится на меньшую или большую глубину, это свидетельствует о том, что влажность грунта не достигла или превысила границу текучести. В этом случае пасту вынуть, добавить в нее, если необходимо, несколько капель воды или подсушить грунт и все тщательно

перемешать. Повторить операции, указанные в пп.1, 2.

5. После достижения границы текучести, взять навеску грунта массой 15-20 г и определить соответствующую влажность весовым способом, как описано в лабораторной работе № 3. Данные занести в табл. 5.

Таблица 5

Результаты определения предела пластичности грунта

Номер бюкса	Предел пластич- ности	Масса бюкса, г			Влажность $\omega = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_2 - m)}$
		пустого m	с влажным грунтом m_1	с сухим грунтом m_2	
	ω_L				
	ω_p				

Определение влажности на границе раскатывания

Влажность на границе раскатывания определяется методом раскатывания в жгут.

Влажность на границе раскатывания ω_p , соответствует весовой влажности, при которой грунт, раскатываемый в жгут диаметром 3 мм, начинает самопроизвольно распадаться на кусочки длиной 3-8 мм. Определение границы раскатывания состоит в подборе (путем подсушивания) соответствующей влажности грунта.

Порядок выполнения работы:

1. Небольшой кусочек грунтовой пасты, приготовленной в предыдущей работе, раскатать пальцами до образования жгута диаметром около 3 мм. При этом избыточная влага будет удаляться из грунта. Если при указанной толщине жгут не крошится, перемешать его и вновь раскатать.

2. Граница ω_p считается достигнутой, когда жгут толщиной около 3 мм начнет крошиться по всей длине на отдельные кусочки.

3. Отобрать в бюкс кусочки грунта (10-15 г), полученные в результате раскатывания, и определить соответствующую влажность

весовым способом, как описано в лабораторной работе № 3. Данные занести в табл. 5.

Вывод по работе: В конце работы необходимо сделать вывод об исследуемом грунте (разновидности по числу пластичности и показателю текучести).

Литература:

1. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.

Лабораторная работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТА

Цель работы: Определив величины ρ , ρ_s и ω опытным путем в предыдущих лабораторных работах, вычислить ряд производных физических характеристик грунтов.

1. **Удельным весом грунта** γ называется вес единицы объема грунта в его естественном состоянии. Он равен плотности грунта ρ , умноженной на ускорение силы тяжести g , равной $9,81-10 \text{ м/с}^2$. Единица измерения - Н/м^3 , кН/м^3 . Удельный вес грунта вычисляется по формуле

$$\gamma = \rho \times g \quad (9)$$

2. Вычислить удельный вес частиц грунта (кН/м^3):

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g \quad (10)$$

где g – ускорение свободного падения.

3. **Плотность сухого грунта** ρ_d - отношение массы твердых частиц грунта к объему образца ненарушенной структуры. Единица измерения - т/м^3 , г/см^3 .

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{\rho}{1 + \omega}, \quad (11)$$

где m_s - масса твердых частиц грунта, V - единичный объем грунта.

Удельный вес сухого грунта. Единица измерения - кН/м³.

$$\gamma_d = \rho_d \times g \quad (12)$$

Таблица 6

Средние значения плотности песчаных и глинистых грунтов в естественном залегании (по данным В. Д. Ломтадзе)

№ п/п	Грунт	Состояние	ρ , г/см ³	ρ_d , г/см ³
1	Пески гравелистые, крупнозернистые, среднезернистые	плотные	1,85...1,95	1,70...1,75
		средней плотности	1,65...1,85	1,35...1,70
		рыхлые	1,60...1,65	1,30...1,35
2	Пески мелкозернистые, тонкозернистые, супесь легкая	плотные	1,75...1,85	1,65...1,70
		средней плотности	1,60...1,75	1,50...1,65
		рыхлые	1,55...1,60	1,45...1,50
3	Глина, суглинки, супеси тяжелые	уплотненные	1,70...2,20	1,35...1,90
		мягкие	1,10...1,70	0,8...1,35

4. Коэффициент пористости e - отношение объема пор к объему твердых частиц грунта, выраженное в долях единицы.

$$e = \frac{V_n}{V_s} = \frac{\rho_s(1+w)}{\rho} - 1 = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}, \quad (13)$$

где V_n - объем пор; V_s - объем твердых частиц в единичном объеме грунта. Единица измерения - доли единицы.

5. Пористость n - отношение пор к единице объема грунта.

$$n = \frac{V_n}{V} = \frac{e}{1+e}, \quad (14)$$

где V_n - объем пор.

Единица измерения - доли единицы.

6. Полная влагоемкость грунта ω_{sat} . Единицы измерения - проценты или доли единицы.

$$\omega_{sat} = \frac{e \times \rho_w}{\rho_s}, \quad (15)$$

где $\rho_w = 1,0 \text{ г/см}^3$ - плотность воды, ω_{sat} - полная влагоемкость грунта (полное водонасыщение). Единица измерения - доли единицы.

Полная влагоемкость грунта ω_{sat} должна быть больше ω_L , ω_P , ω .

7. Коэффициент водонасыщения S_r - отношение естественной влажности грунта к влажности, соответствующей полному заполнению пор водой (полного водонасыщения). Коэффициент водонасыщения S_r характеризует степень заполнения пор грунта водой.

$$s_r = \frac{\omega \times \rho_s}{e \times \rho_w} = \frac{\omega}{\omega_{sat}}, \quad (16)$$

Согласно ГОСТ 25100-2011 по коэффициенту водонасыщения S_r грунты подразделяются:

$0 < S_r \leq 0,5$ – малой степени водонасыщения (маловлажные),

$0,5 < S_r \leq 0,8$ – средней степени водонасыщения (влажные),

$0,8 < S_r < 1$ - водонасыщенные.

По полученным значениям e и S_r определить влажность песка и его плотность сложения. Виды песков по плотности сложения (коэффициенту пористости e) приведены в табл.7.

Разновидности песков по плотности сложения

Разновидности песков	Пески		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Пески гравелистые, крупные,	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,7$	$e > 0,7$
Пески мелкие	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,7$	$e > 0,75$
Пески пылеватые	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$

8. Удельный вес грунта во взвешенном водой состоянии

$$\gamma_{sb} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}, \quad (17)$$

Единица измерения - кН/м³.

$\gamma_w = 10$ кН/м³.

Вывод по работе: согласно ГОСТ 25100-2011 исследуемый грунт относим к _____

Литература: ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.

Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Цель работы: определить гранулометрический состав песчаного грунта. Классифицировать грунт согласно ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.

Гранулометрическим составом грунта называют количественное соотношение частиц различной крупности в дисперсных грунтах. Гранулометрический состав - один из важнейших факторов, определяющих физико-механические свойства грунта.

Для определения гранулометрического состава песчаных грунтов по ГОСТ 12536-2014 используется ситовый метод без промывки с содержанием

частиц от 10 до 0,5 мм, ситовой метод с промывкой водой с содержанием частиц от 10 до 0,1 мм. Для глинистых грунтов применяется ареометрический метод.

Необходимое оборудование: набор стандартных сит, электронные весы, резиновый пестик с фарфоровой ступкой.

Порядок выполнения работы:

1. Образец песчаного грунта довести до воздушно-сухого состояния и отобрать пробу массой 100 г.

2. Пробу грунта пропустить через набор сит 10-0,1 мм. Сита собираются в колонну так, чтобы отверстия уменьшались сверху вниз. В результате просеивания проба грунта разделяется на фракции: на верхнем сите > 10 мм, на следующем 5-10 мм, ниже 2-5 мм и т.д., на поддоне < 0,1 мм.

При наличии слипшихся комочков содержимое сита перенести в ступку и растереть резиновым пестиком, затем вновь просеять до полного разделения.

3. Содержимое каждого сита и поддона высыпать в предварительно протарированные чашечки и взвесить. Полученный результат (после вычитания массы чашечек) выразить в процентах к массе всей навески и занести в табл. 8.

Таблица 8

Результаты опыта и их обработка

Показатели	Размеры фракций							
	>10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1
Марка фракций								
Процент от общей массы пробы								
Сумма процента менее данного диаметра								

4. **Степень неоднородности гранулометрического состава песчаных**

грунтов вычисляется по формуле

$$C_u = d_{60} / d_{10}, \quad (18)$$

где d_{60} и d_{10} - диаметры частиц, меньше которых в данном грунте содержится (по массе) соответственно 60 и 10% частиц, определяются построением гранулометрической кривой

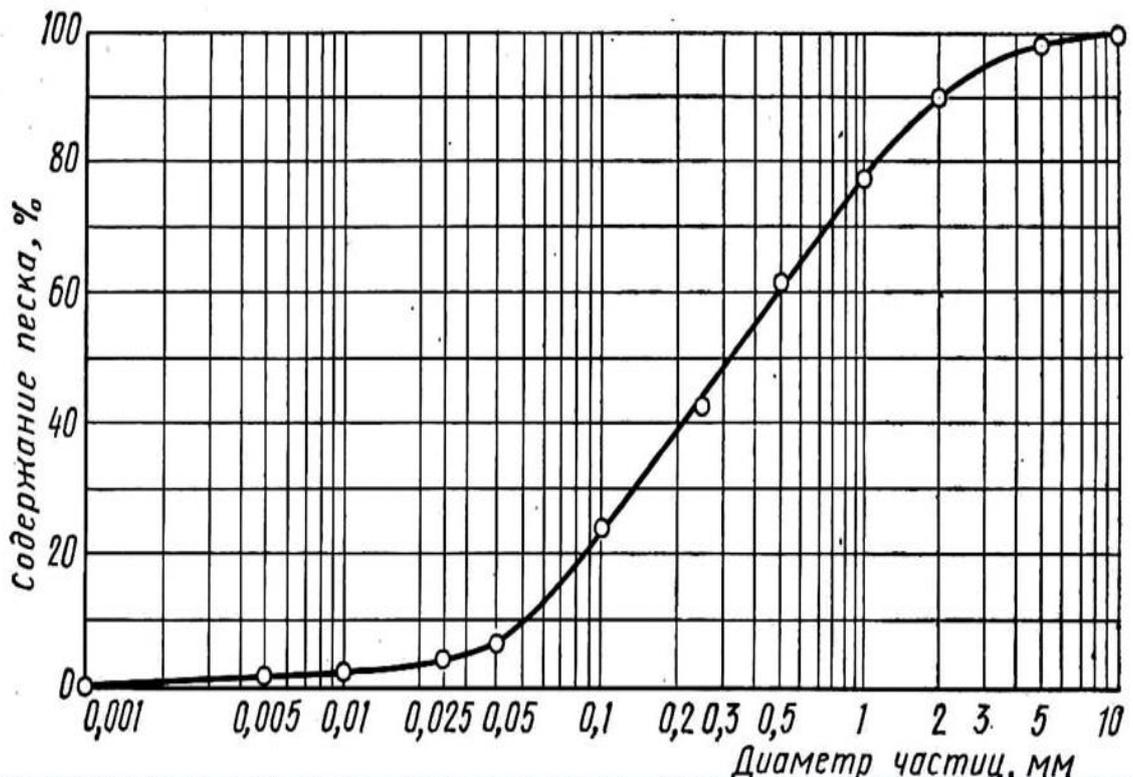


Рис.3 Пример построения гранулометрической кривой

Чем больше степень неоднородности, тем более разнообразным по гранулометрическому составу является грунт, тем он устойчивее и плотнее.

Рассматриваемые грунты будут называться однородными, если $C_u \leq 3$, и неоднородными, если $C_u > 3$.

Классификация песчаных грунтов по гранулометрическому составу:

гравелистые пески - $d_r > 2$ мм $> 25\%$,

крупные пески - $d_r > 0,5$ мм $> 50\%$,

средние пески - $d_r > 0,25$ мм $> 50\%$,

мелкие пески - $d_r > 0,1 \text{ мм} \geq 75\%$,

пылеватые пески – $d_r > 0,1 \text{ мм} < 75\%$.

Разновидность песка определяется по первому удовлетворяющему признаку (сверху вниз).

Выводы:

1. Так как масса частиц диаметром более ___ мм составляет ___% от общей массы пробы, то согласно ГОСТ 25100-2011 разновидность исследуемого грунта – _____.

2. Так как $C_u =$ _____ грунт _____.

Литература: ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.

Раздел №2. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Цель работы: определить коэффициент фильтрации песчаного грунта при помощи трубки Каменского. Коэффициент фильтрации используется в расчетах при определении притока грунтовой воды к строительным котлованам и буровым скважинам, утечек воды из водонесущих коммуникаций, из водохранилищ, консолидации водонасыщенных грунтов (времени затухания осадки фундаментов), расчета гидроизоляции и т.д.

Способность грунта пропускать воду называется **водопроницаемостью**. Вода движется по порам грунта главным образом под воздействием гравитационных сил и разности напоров. Количественно водопроницаемость характеризуется **коэффициентом фильтрации грунта K_f** представляющим собой **скорость фильтрации при гидравлическом градиенте $i=1$** .

По закону Дарси количество (расход) воды Q (см³), протекающей через поперечное сечение площадью F (см²) в течение времени T (с), определяется по следующей формуле:

$$Q = K_f \cdot F \cdot T \cdot i, \quad (19)$$

где K_f – коэффициент фильтрации (водопроницаемости).

Скорость фильтрации:

$$V = \frac{Q}{F \cdot T}, \text{ откуда } V = K_f \cdot i \quad (20)$$

Скорость фильтрации прямо пропорциональна гидравлическому градиенту. Величина K_f определяется в следующих единицах: см/с, м/сут, см/год и т.д., и при одинаковых условиях зависит главным образом от пористости, действующего давления, гранулометрического состава грунта.

Применяются следующие соотношения: $1 \text{ см/с} = 864 \text{ м/сут}$; $1 \text{ см/с} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ см/год} = 3 \cdot 10^5 \text{ м/год}$. Величина коэффициента фильтрации зависит от пористости, давления, гранулометрического и минералогического состава грунта, температуры фильтрующей жидкости.

Необходимое оборудование: прибор трубка Г.Н. Каменского, трамбовка, термометр, секундомер, глубокая тарелка. Лабораторная работа по определению коэффициента фильтрации для песков выполняется с помощью трубки Г.Н. Каменского (рис. 4).

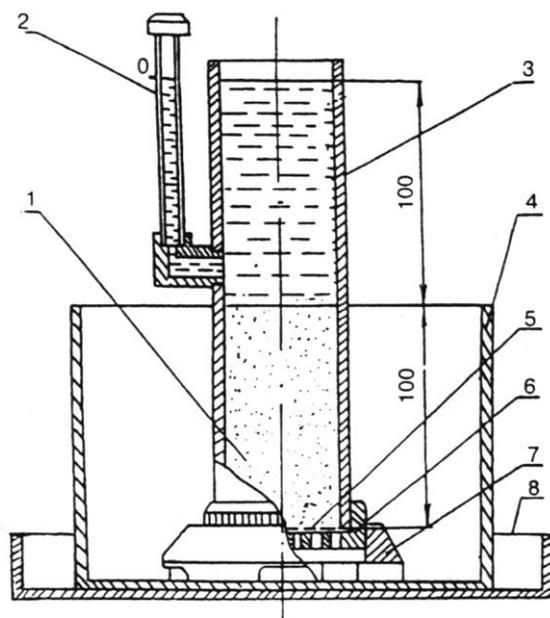


Рис. 4 - Прибор для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов (трубка Г.Н. Каменского)

- 1 - образец грунта; 2 - пьезометр;
- 3 - трубка; 4 - стакан; 5 - латунная сетка;
- 6 - перфорированное съемное дно;
- 7 - подставка; 8 - поддон

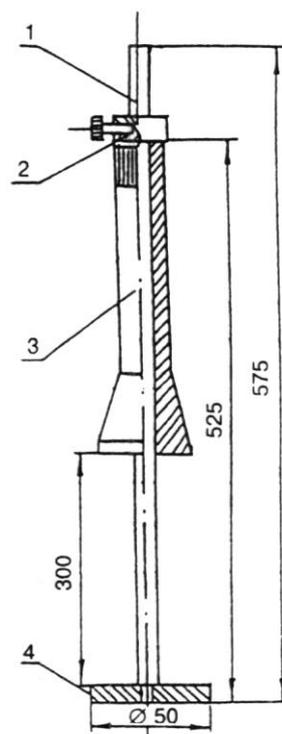


Рис. 5 – Трамбовка

- 1 - направляющая; 2 - фиксатор;
- 3 - падающий груз; 4-наковальня

В состав прибора для определения коэффициента фильтрации входят:
 - фильтрационная трубка, состоящая из прямого цилиндра внутренним

диаметром 50,5 мм и высотой 220 мм (3);

- съемное перфорированное дно с отверстиями диаметром 3 мм и латунная сетка с размерами ячейки 0,25 мм (6);
- пьезометр с делениями от 0 до 100 мм (2);
- подставка для трубки с прорезями в боковых стенках и отверстиями в днище (7);
- стакан для создания градиента напора, равного единице (4);
- поддон (8).

Порядок выполнения работы:

Трубку прибора заполняют грунтом в следующем порядке:

- навеску грунта последовательно укладывают в трубку, уплотняя при помощи трамбовки (рис.5);

- измеряют мерной линейкой расстояние от верхнего края трубки до поверхности уплотненного грунта. Последнее уплотнение заканчивают при высоте образца (100 ± 1) мм.

- устанавливают трубку с грунтом (3) на подставку (7) и вместе с ней помещают в стакан (4), наполненный водой выше слоя грунта на 10 - 15 мм;

- извлекают трубку из стакана и устанавливают ее на поддон (8). В этом случае начальный градиент напора воды в образце грунта равен единице.

- доливают воду в трубку (3) не менее чем на 10 см выше нулевого деления;

- при вытекании воды через перфорированное дно определяют, с помощью секундомера, падение уровня воды в пьезометре (2) от 0 до 100 мм.

Обработка результатов:

Коэффициент фильтрации песчаного грунта K_ϕ , м/сут, приведенный к условиям фильтрации при температуре 10 °С. вычисляют по формуле

$$K_\phi = \frac{h}{t} \varphi \left(\frac{S}{H_0} \right) 864 / T \quad (21)$$

где $\varphi\left(\frac{S}{H_0}\right) = 0,105$ - безразмерный коэффициент; который определяется

из таблицы 9, исходя из значений S и H_0 ;

S - наблюдаемое падение уровня воды в пьезометре, отсчитанное от первоначального уровня, м;

H_0 - начальный напор, см;

Таблица 9

Значения $\frac{S}{H_0}$ и $\varphi\left(\frac{S}{H_0}\right)$

$\frac{S}{H_0}$	$\varphi\left(\frac{S}{H_0}\right)$	$\frac{S}{H_0}$	$\varphi\left(\frac{S}{H_0}\right)$	$\frac{S}{H_0}$	$\varphi\left(\frac{S}{H_0}\right)$
0,01	0,010	0,34	0,416	0,67	1,109
0,02	0,020	0,35	0,431	0,68	1,139
0,03	0,030	0,36	0,446	0,69	1,172
0,04	0,040	0,37	0,462	0,70	1,204
0,05	0,051	0,38	0,478	0,71	1,238
0,06	0,062	0,39	0,494	0,72	1,273
0,07	0,073	0,40	0,510	0,73	1,309
0,08	0,083	0,41	0,527	0,74	1,347
0,09	0,094	0,42	0,545	0,75	1,386
0,10	0,105	0,43	0,562	0,76	1,427
0,11	0,117	0,44	0,580	0,77	1,470
0,12	0,128	0,45	0,598	0,78	1,514
0,13	0,139	0,46	0,616	0,79	1,561
0,14	0,151	0,47	0,635	0,80	1,609
0,15	0,163	0,48	0,654	0,81	1,661
0,16	0,174	0,49	0,673	0,82	1,715
0,17	0,186	0,50	0,693	0,83	1,771
0,18	0,196	0,51	0,713	0,84	1,833
0,19	0,210	0,52	0,734	0,85	1,897
0,20	0,223	0,53	0,755	0,86	1,966
0,21	0,236	0,54	0,777	0,87	2,040
0,22	0,248	0,55	0,799	0,88	2,120
0,23	0,261	0,56	0,821	0,89	2,207
0,24	0,274	0,57	0,844	0,90	2,303
0,25	0,288	0,58	0,868	0,91	2,408

t - время падения уровня воды, с;

$T = (0,7 + 0,03 T_{\phi})$ - поправка для приведения значения коэффициента фильтрации к условиям фильтрации воды при температуре 10 °С, где T_{ϕ} - фактическая температура воды при опыте, °С;

864 - переводной коэффициент (из см/с в м/сут).

h - высота образца грунта в трубке, 10 см;

Данные занести в таблицу 10.

Таблица 10

Результаты определения коэффициента фильтрации песка

Номер опыта	Напорный градиент	Температура воды, °С	Время фильтрации,	Коэффициент фильтрации, м/сут

После выполнения всех расчетов необходимо классифицировать грунт. По степени водопроницаемости грунты подразделяют согласно ГОСТ «Грунты. Классификация», разновидности приведены в таблице 11.

Таблица 11

Разновидности грунтов в зависимости от коэффициента фильтрации

Разновидность грунтов	Коэффициент фильтрации K_{ϕ} , м/сут
Неводопроницаемый	< 0,005
Слабоводопроницаемый	0,005-0,30
Водопроницаемый	0,30-3
Сильноводопроницаемый	3-30
Очень сильноводопроницаемый	> 30

Вывод по работе: значение K_{ϕ} песчаного грунта составило _____. Грунт классифицируется как _____.

Литература: ГОСТ 25584-2016. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.

ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.

Лабораторная работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ДЛЯ ПЕСКОВ

Цель работы: Определить угол естественного откоса песчаного грунта. Угол Ψ используется при производстве земляных работ для назначения безопасных откосов грунта без крепления.

Углом естественного откоса Ψ называется максимальный угол заложения, при котором неукрепленный песчаный откос сохраняет предельное равновесие.

Для рыхлых и водонасыщенных песков (кроме пылеватых) угол естественного откоса Ψ практически равен углу внутреннего трения φ . В общем случае $\Psi \leq \varphi$.

Необходимое оборудование: контейнер ВИА (Военно-инженерной академии), образец песчаного грунта.

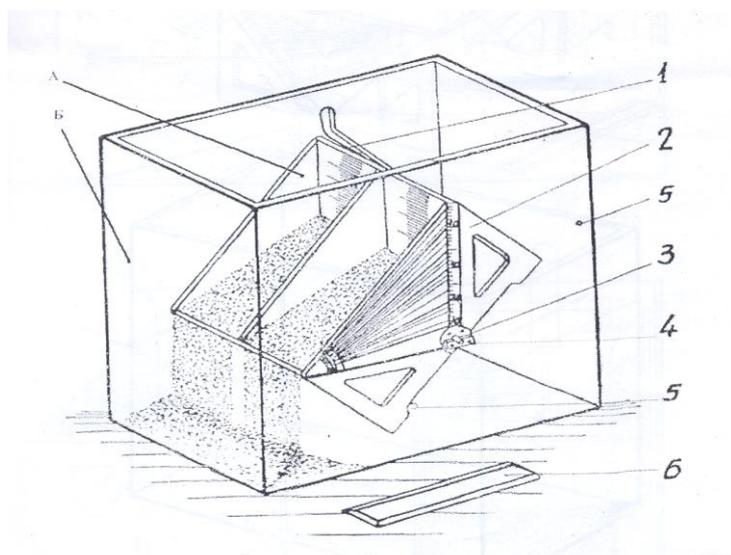


Рис. 6 Контейнер ВИА (Военно-инженерной академии)

А – контейнер, внутренняя часть которого разделена перегородкой на две части;

Б – прямоугольная банка;

1 – ручка;

2 - угловые сетки;

- 3 – ось;
- 4 – паз подшипника;
- 5 – упоры;
- 6 - линейка.

Порядок выполнения работы:

1. Заполнить обе части контейнера песком, при этом ручка 1 должна опираться на стенку банки;
2. Контейнер плавно развернуть на оси 3 при помощи ручки 1 на угол 45° до упора 5. Поворот производят за 5-7 сек. При поворачивании вкладыша песок частично высыпается в банку, а оставшаяся в контейнере часть песка образует с нижней гранью контейнера угол, который и является искомым углом естественного откоса. Вкладыш при наличии перегородки позволяет одновременно получить результаты двух определений;
3. Повторить опыт 2-3 раза. Расхождение между полученными результатами не должно превышать 1° . За величину Ψ принять среднее арифметическое значение и занести в таблицу 12.

Таблица 12

Угол естественного откоса

Номер опыта	Контейнер №1	Контейнер №2	Среднее значение Ψ
1			
2			
3			

Вывод по работе: значение угла естественного откоса составило _____.

Литература: А.Ф. Фролов «Инженерная геология», М. 1983 г.

Лабораторная работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ СДВИГУ МЕТОДОМ ПРЯМОГО СРЕЗА ОБРАЗЦА

Цель работы: определить параметры прочности грунта при сдвиге (удельное сцепление и угол внутреннего трения). Характеристики C , φ используются при определении несущей способности основания, устойчивости откосов, давления грунта на ограждения осадки некоторых типов фундаментов (свайные) и др.

Прочностью грунтов называется такое состояние, при котором они могут сопротивляться воздействию нагрузок без разрушения. Разрушение грунтовых оснований под действием касательных напряжений является характерной формой потери ими прочности вследствие слабой сопротивляемости грунта сдвигу. По теории прочности Кулона-Мора сдвиг по некоторой площадке происходит только при определенном для каждого грунта соотношении между касательными τ и нормальными σ напряжениями, зависящими от вида и прочности связей между его частицами.

Характерным проявлением сдвига является оползание грунтовых откосов под влиянием собственного веса или внешней нагрузки, выпирание грунта в стороны из под перегруженных опор сооружения.

Условие прочности Кулона-Мора для глинистых грунтов записывается в виде:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + C, \quad (22)$$

а для песчаных грунтов:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (23)$$

где φ - угол внутреннего трения; C - удельное сцепление грунта. Графически условная прочность грунтового основания представлена на рис. 7.

Характеристики C , φ используются при определении несущей способности основания, устойчивости откосов, давления грунта на ограждения осадки некоторых типов фундаментов (свайные) и др. Значения C и φ определяются экспериментально в лабораторных или натуральных условиях.

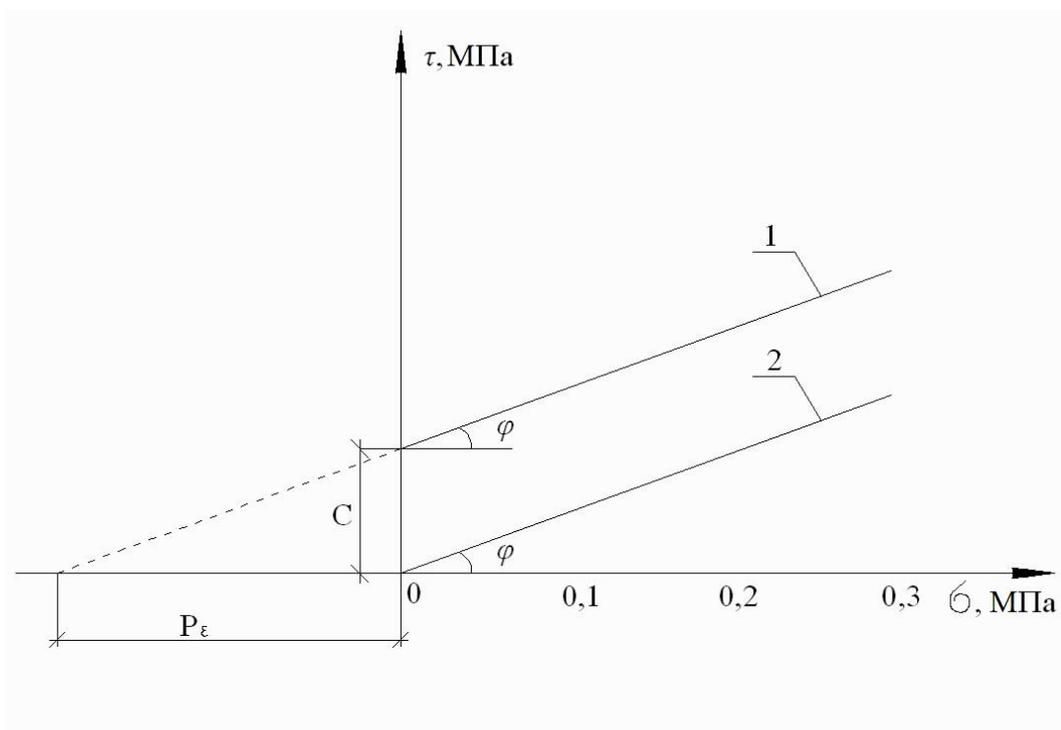


Рис. 7. Сопротивление грунта сдвигу при различных уплотняющих давлениях: 1, 2 – для связных и сыпучих грунтов соответственно.

$$P_{\varepsilon} = \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} - \text{давление связности.}$$

В лабораториях определение производится на приборах одноплоскостного среза по двум методикам:

- а) *консолидированного среза (открытая схема),*
- б) *неконсолидированного среза (закрытая схема).*

Испытания *по открытой схеме* производятся после предварительного уплотнения образцов вертикальной нагрузкой до стабилизации осадки, горизонтальное усилие на образец передается ступенями, при этом каждая ступень выдерживается до стабилизации горизонтальной деформации.

Испытания грунтов *по закрытой схеме* выполняются таким образом,

что *плотность* и *влажность* грунта в процессе опыта не меняются, поэтому такие опыты носят название быстрого сдвига. Испытание связных грунтов производят по первой схеме, а сыпучих по второй.

Принцип испытания заключается в том, что к образцу грунта прикладывают вертикальное (уплотняющее) давление σ , под действием которого определяют предельное сопротивление грунта сдвигу τ .

Величину касательных напряжений τ находят по величине горизонтального усилия T и площади поперечного сечения образца грунта F :

$$\tau = T/F \quad (24)$$

Для нахождения τ_{np} горизонтальную нагрузку увеличивают ступенями, пока не произойдет сдвиг одной части грунта по другой. Величина ступени горизонтальной нагрузки T составляет 5-10% от вертикальной нагрузки N .

Для построения диаграммы сдвига величину τ определяют при различных значениях σ , для чего в прибор каждый раз помещают новую пробу, взятую из одного и того же монолита.

Необходимое оборудование: односрезный сдвиговой прибор ПСГ, 3 кольца с грунтом (№ 1,2,3).

В сдвиговые кольца помещают три одинаковых образца глинистого грунта.

в кольце № 1 задается давление $\sigma = 0,1$ МПа,

в кольце № 2 задается давление $\sigma = 0,2$ МПа,

в кольце № 3 задается давление $\sigma = 0,3$ МПа.

Порядок проведения испытаний методом быстрого сдвига (закрытая схема):

1. Подготовка образцов грунта:

- вырезать с помощью колец три образца грунта;

- покрыть образцы грунта с обеих сторон увлажняющими бумажными фильтрами;

2. Образец грунта перенести в сдвиговой прибор ПСГ (рис. 8);

3. Приложить уплотняющее давление 0,1 МПа с помощью штампа (1).

В приборе ПСГ вертикальная нагрузка создается рычажным устройством с кратностью $n = 10$.

Масса груза на подвеске определится из выражения:

$$Q = P \cdot F \cdot 0,1, \text{ кг}$$

$F = 40 \text{ см}^2$ – площадь сечения образца.

4. Установить зазор между верхней (2) и нижней (3) обоймами от 0,5 до 0,8 мм.

5. Установить индикатор часового типа (6).

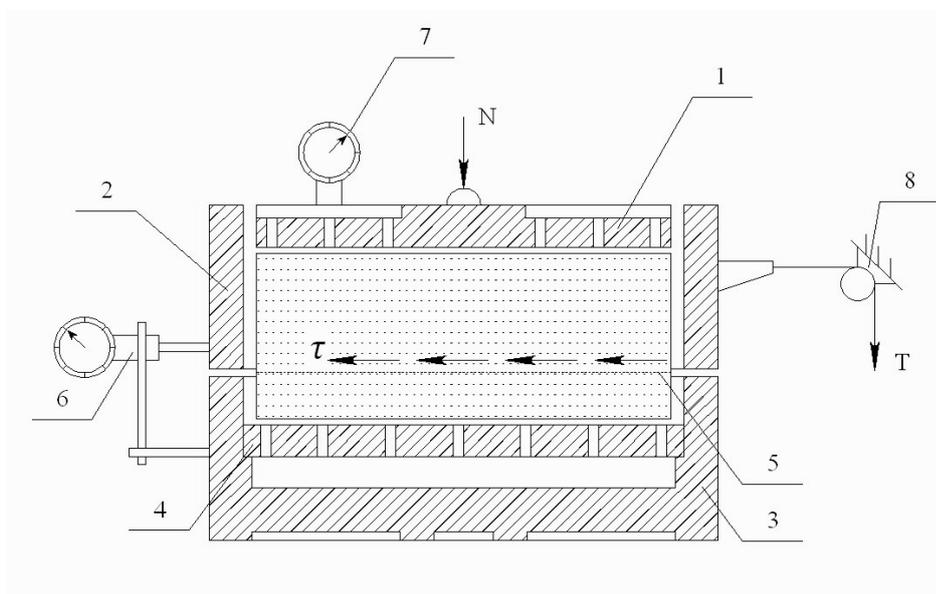


Рис. 8. Схема сдвигового прибора ПСГ:

1 – верхний штамп; 2 – верхняя обойма; 3 – нижняя неподвижная обойма; 4 – нижний штамп; 5 – плоскость сдвига; 6 – горизонтальный индикатор; 7 – вертикальный индикатор; 8 – рычажное устройство.

6. Сдвигающее усилие прикладывается ступенями, добавлением груза на рычажное устройство (с кратностью $n = 10$), создавая постепенно нарастающую горизонтальную силу T (приложение ступеней должно следовать через каждые 10-15 с) (рис. 8.) до тех пор, пока не произойдет сдвиг. При передаче касательной нагрузки ступенями их значения не должны превышать 10% значения нормального давления, при котором производится

сдвиг.

7. Испытание на сдвиг следует считать законченным, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит мгновенный срез (срыв) одной части образца по отношению к другой или общая деформация среза превысит 5 мм.

8. Произвести по такой же схеме испытания на сдвиг грунта при нормальном (уплотняющем) давлении 0,2 МПа и 0,3 МПа.

Обработка результатов измерения:

Площадь среза образца $F = 40 \text{ см}^2$

Высота кольца $h = 40 \text{ мм}$

Рычажное отношение $n = 10$.

Таблица 13

Определение показателей прочности глинистого грунта в приборе прямого среза ПСГ

Вес гирь на подвеске нагрузочного устройства, кг		Напряжение в плоскости среза, МПа		Горизонтальная деформация, мм δ
Вертикального, N	Горизонтального, T	Нормальное, $P = \frac{N \cdot n}{F}$	Сдвигающее, $\tau = \frac{T \cdot n}{F}$	
1	2	3	4	5
4	0,4	0,1	0,01	5
	0,8		0,02	
	1,2		0,03	
	1,6		0,04	
	2,0		0,05	
	2,4		0,06	
	2,8		0,07	
	3,2		0,08	

8	0,8	0,2	0,02	5
	1,6		0,04	
	2,4		0,06	
	3,2		0,08	
	4,0		0,10	
	4,8		0,12	
	5,6		0,14	
12	1,2	0,3	0,03	5
	2,4		0,06	
	3,6		0,09	
	4,8		0,12	
	6,0		0,15	

Полученные данные занести в табл. 14.

Таблица 14

Результаты испытания грунта на сдвиг

Вертикальное давление при сдвиге σ , МПа	Предельное сопротивление сдвигу τ_{np} , МПа
0,1	
0,2	
0,3	

5. По полученным точкам построить осредненную диаграмму сдвига, аналогичную рис. 6.

6. Определить угол внутреннего трения φ и удельное сцепление C по формулам:

$$tg\varphi = \frac{n \cdot \sum \tau_i \cdot \sigma_i - \sum \tau_i \cdot \sum \sigma_i}{n \cdot \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2} \quad (25)$$

$$c = \frac{\sum \tau_i \cdot \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \cdot \sum \tau_i \cdot \sigma_i}{n \cdot \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2} \quad (26)$$

Выводы по работе: полученные параметры прочности грунта при сдвиге - удельное сцепление _____, угол внутреннего трения _____.

Литература: ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.

Лабораторная работа №10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЖИМАЕМОСТИ ГРУНТОВ В КОМПРЕССИОННОМ ПРИБОРЕ (КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ)

Цель работы: *Определить деформативные характеристики грунта (E_0 , E_k , m_0 , m_v и другие), которые являются основой расчетов деформаций грунтовых массивов.*

Одним из видов общей деформируемости грунтов является их сжимаемость. **Сжимаемостью** грунтов называют способность их уменьшаться в объеме под действием внешней нагрузки. Одним из основных факторов, обуславливающих сжимаемость грунтов, является их уплотнение, т.е. уменьшение их пористости за счет более компактной упаковки твердых частиц.

Уплотнение грунтов (деформацию грунтов) под действием сплошной постоянной нагрузки без возможности бокового расширения называют **компрессией грунтов**, а зависимость между уплотняющими давлениями P и коэффициентом пористости грунта e называют **компрессионной зависимостью**, в общем виде ее можно записать так:

$$e = f(P) \quad (27)$$

Компрессионные испытания грунтов проводятся в компрессионных приборах, называемых одометрами. Принципиальная схема одометра приведена на рис. 8. Данная работа выполняется с одометром конструкции института Гидропроект, типа КПр - 1, нагрузка в котором прикладывается с помощью гирь через дисковые рычажные системы с общей кратностью, равной 10. Гиря массой 6 кг на подвеске создает давление под штампом 0,1

МПа.

Деформации образца грунта замеряются двумя индикаторами часового типа с точностью измерения до 0,01 мм.

Для построения компрессионной кривой загрузка образца грунта производится ступенями по 0,1 МПа. Каждая ступень нагрузки выдерживается во времени до наступления условной стабилизации осадки (см. примечания в конце работы). Только после этого нагрузку увеличивают.

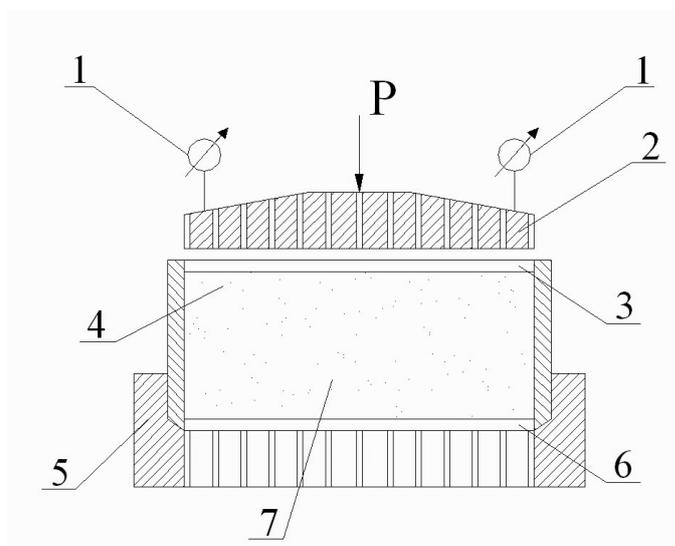


Рис. 9. Принципиальная схема одометра:

- 1 – индикаторы для измерения вертикальных деформаций;
- 2 – штамп;
- 3, 6 – фильтрационная бумага;
- 4 – режущее кольцо;
- 5 – днище прибора с перфорацией для фильтрации воды;
- 7 – образец грунта.

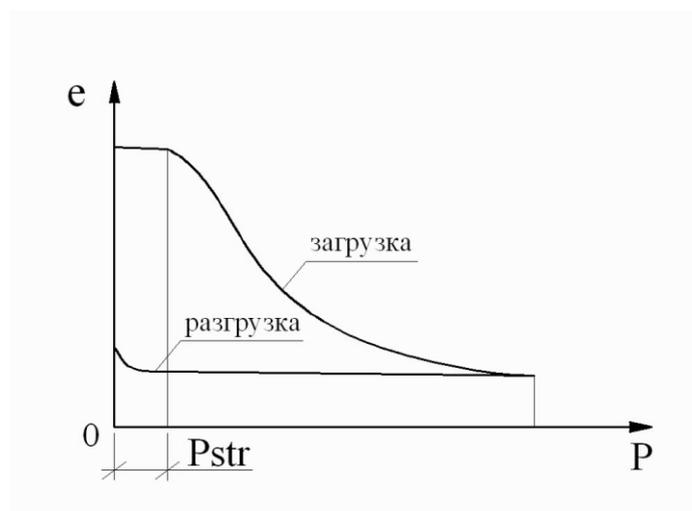


Рис. 10. Компрессионная кривая для структурированного грунта

Для грунтов естественной ненарушенной структуры компрессионная кривая имеет два участка (рис. 10): первый - до давлений, не превосходящих структурную прочность грунта P_{str} , с малым изменением коэффициента пористости и второй – криволинейный, со значительными изменениями

коэффициента пористости, что указывает на уплотнение грунта под нагрузкой, превосходящей структурную прочность грунта.

Описание компрессионной кривой аналитически для большого диапазона давлений удобно аппроксимировать логарифмической зависимостью:

$$e_i = e_0 - C_c \ln \frac{P_i}{P_0}, \quad (28)$$

где e_0 и P_0 - начальный коэффициент пористости и давление, близкое величине структурной прочности; e_i и P_i - коэффициент пористости и давление, соответствующее i - й ступени нагрузки; C_c - коэффициент компрессии.

При небольшом изменении давления в пределах действующих строительных нагрузок $P=0,1 - 0,3$ МПа заменяют зависимость между e_i и P_i участком линейной зависимости:

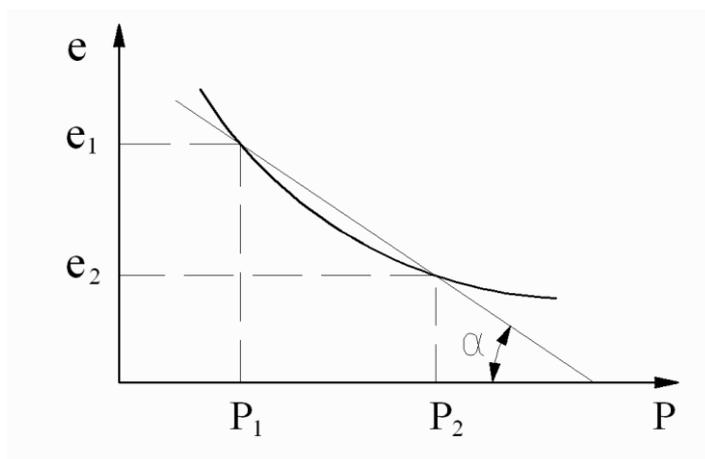


Рис. 11. Компрессионная кривая

Характер компрессионной кривой (см. рис. 11) показывает степень сжимаемости грунта, выражаемую коэффициентом сжимаемости m_0 и модулем общей деформации грунта E_0 .

Под **коэффициентом сжимаемости** m_0 понимают тангенс угла наклона касательной к компрессионной кривой. При небольших изменениях внешних давлений (0,1-0,3 МПа) касательная заменяется секущей и коэффициент сжимаемости определяется по формуле

$$m_0 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}, \quad (29)$$

где e_1 и e_2 - коэффициенты пористости грунта, соответствующие давлениям P_1, P_2

Грунты считаются малосжимаемыми, если $m_0 < 0,0005 \text{ МПа}^{-1}$, среднесжимаемыми, если $m_0 = 0,005 - 0,0005 \text{ МПа}^{-1}$, сильносжимаемыми, если $m_0 > 0,005 \text{ МПа}^{-1}$.

Важнейшей деформативной характеристикой грунта является модуль общей деформации грунта E_0 , который также определится по результатам компрессионных испытаний.

По данным испытаний строится компрессионная зависимость, вычисляются коэффициенты сжимаемости m_0 и **относительной сжимаемости m_v** :

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0}, \quad (30)$$

где e_0 - коэффициент пористости грунта в естественном состоянии.

Компрессионный модуль деформации грунта (МПа)

$$E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \cdot \beta, \quad (31)$$

где β - коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в приборе и определяемый по формуле:

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}, \quad (32)$$

где ν - коэффициент бокового расширения грунта (коэффициент Пуассона) можно принять для песков и супесей равным 0,3; для суглинков 0,35; для глин 0,42.

Для практических расчетов рекомендуется принимать β равным 0,8 –

для песков; 0,7 – для супесей; 0,6 – для суглинков и 0,4 - для глин.

Модуль общей деформации грунта определяется как:

$$E_0 = m_k \cdot E_k, \quad (33)$$

где m_k - безразмерный коэффициент, учитывающий несоответствие условий полевых и лабораторных испытаний грунтов; принимается в зависимости от физического состояния грунтов равным 2-6. Коэффициент m_k принимается по табл. 15.

Таблица 15

Коэффициент m_k при коэффициенте пористости e

Тип грунта	Коэффициент пористости e , д.е.								
	0,4	0,5	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,1	1,2
Супеси	4,0	4,0	3,5	3,0	2,0	-	-	-	-
Суглинки	5,0	5,0	4,5	4,0	3,0	2,5	2,0	-	-
Глины	-	-	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5

По данным компрессионных испытаний водонасыщенных глинистых грунтов можно оценить характер развития деформаций во времени при действии постоянной нагрузки и построить графики «время – деформация» (рис.12).

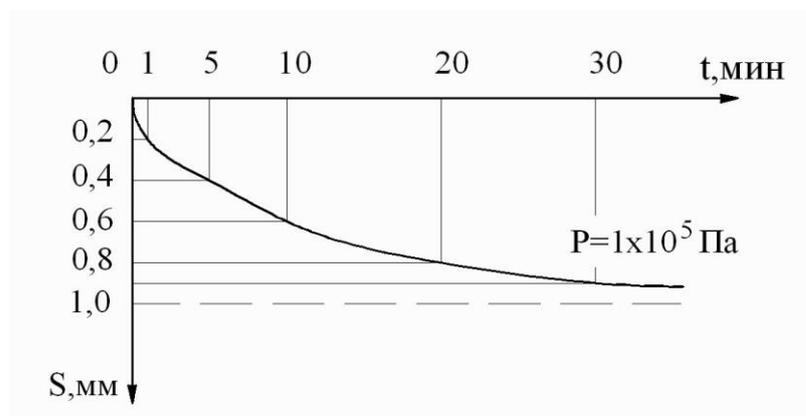


Рис.12. Кривая изменения деформации грунта во времени

Необходимое оборудование: одомер, образец грунта.

Порядок выполнения работы:

1. Заполнить рабочее кольцо одометра грунтом;
2. Вставить кольцо с фильтровальной бумагой в одометр и привести его в рабочее положение. Установить показатели индикаторов на 0. На подвеску плавно опустить груз массой 3 кг, т.е. создать "бытовое" (природное) давление $P_0 = 0,05$ МПа, выдержать 24 часа, с точностью до 0,01 мм снять и записать в табл. 16 показатели индикаторов при давлении P_0 ;

Таблица 16

Показания индикаторов при различных давлениях

Давление, МПа	Время от начала приложения нагрузки,	Отсчеты по индикаторам		
		левый h_l	правый h_r	среднее арифметическое
$P_0 = 0,05$	24 часа			
$P_1 = 0,1$	0			
- //-	1			
- //-	2			
- //-	3			
- //-	5			
- //-	10			
- //-	20			
- //-	30			
$P_2 = 0,2$				

3. На подвеску плавно опустить груз массой 3 кг. С точностью до 0,01 мм снять и записать в табл. 16 показатели индикаторов через 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30 мин при давлении $P_1 = 0,1$ МПа;
4. Давление на образец в приборе довести до $P_2 = 0,2$ МПа. Для этого на подвеску добавить еще груз массой 6 кг;
5. Используя данные табл. 16, вычислить соответствующий коэффициент пористости e_i , для каждой ступени нагрузки:

$$e_i = e_0 - \frac{\Delta h_i}{h} (1 + e_0), \quad (34)$$

где h - первоначальная (до сжатия) высота образца грунта в кольце (25

мм); Δh_i -вертикальная деформация образца грунта при данной ступени нагрузки, определяемая из табл. 16 (мм); Δh_2 при $P_2= 2 \cdot 10^5$ Па, e_0 – начальный (природный) коэффициент пористости, который для практических расчетов можно принять $e_0 = 0,7$;

3. Полученные по формуле (34) значения e_i , а также вычисленные по формулам (29, 30, 31) значения m_0 , m_v , E_k , E_0 записать в табл. 17.

Таблица 17

Результаты определения e_i , m_0 , m_v , E_{ok}

Давление, МПа	Полная деформация при данном давлении Δh_i , мм	Коэффициент пористости e_i	Коэффициент сжимаемости m_0 , 1/МПа	Коэффициент относительной сжимаемости m_v , 1/МПа	Компрессионный модуль деформации E_k , МПа	Модуль общей деформации E_0
0,05						
0,1						
0,2						

7. По данным вычислений построить график компрессионной зависимости в координатах ($P-e$), аналогичный рис.10;

8. По данным табл. 17 построить график стабилизации деформаций во времени при постоянном давлении $P_2= 1 \cdot 10^5$ Па (0,1 МПа), аналогичный рис.11;

9. По формуле (33) определить модуль общей деформации грунта.

Выводы по работе:

1. Коэффициент сжимаемости m_0 составил _____. Следовательно, грунт относим к _____.

2. Коэффициент относительной сжимаемости m_v составил _____

3. Коэффициент Пуассона ν равен _____

4. Компрессионный модуль деформации E_k равен _____; модуль общей деформации E_0 равен _____.

Литература: ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.