

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Кафедра строительного производства

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО КУРСУ «МЕХАНИКА ГРУНТОВ»**

Издание второе, переработанное и дополненное

Составители
К.А. ДУБОВ
Л.В. ЗАКРЕВСКАЯ



Владимир 2011

УДК 624.15

ББК 38.58

М54

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
кафедры строительного производства
Владимирского государственного университета

А.С. Жив

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Методические указания к лабораторным работам по курсу М54 «Механика грунтов» [Электронный ресурс] / Владим. гос. ун-т ; сост.: К. А. Дубов, Л. Б. Закревкая. – 2-е изд., перераб. и доп. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-RW); 12 см. – Системные требования: PC не ниже класса Pentium I; Windows 98/2000/XP; дисковод CD-ROM, мышь; 0,2 Мб. – Загл. с титула экрана.

Приводятся порядок и методика выполнения лабораторных работ в учебной аудитории; общие сведения о группах, физических и механических свойствах и характеристиках грунтов и способах их определения.

Предназначены для студентов специальностей 270102, 270105, 270109, 270112, 270115 дневной и заочной форм обучения в соответствии с программой курса «Механика грунтов»

Рекомендованы для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Табл. 23. Ил. 13. Библиогр.: 7 назв.

УДК 624.15

ББК 38.58

ВВЕДЕНИЕ

Цель лабораторных работ:

1. Ознакомить студентов с современными методиками исследования физических и механических свойств грунтов и определения их характеристик, которые используются при проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений.
2. Закрепить на практике теоретические сведения.
3. Привить навыки самостоятельного исследования и анализа экспериментальных результатов.

Лабораторные работы выполняются под контролем преподавателя. Академическая группа для проведения работы разбивается на бригады по три-четыре человека. Каждый студент, участвуя в коллективном выполнении работы, ведет записи в специальной тетради, где должно быть отражено следующее:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Необходимое оборудование и материалы.
4. Ход работы.
5. Результаты.
6. Выводы.

Перед занятиями студент должен ознакомиться с теорией по изучаемой теме, описанием лабораторной работы, оборудованием, составить краткий конспект по вышеизложенному плану. При выполнении работы записывают в таблицы результаты всех первичных измерений, с помощью которых в дальнейшем строят графики, вычисляют показатели свойств. Графики строят на миллиметровой бумаге. Экспериментальные данные наносят на график карандашом в виде точек, обведенных кружочком. По результатам испытаний делают выводы.

В конце каждого занятия студент обязан привести в порядок рабочее место и предъявить записи для визирования.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Грунты – это любая горная порода или почва (а также твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека), представляющие собой многокомпонентную систему, изменяющуюся во времени, и используемые как основания, среда или материал для возведения зданий и инженерных сооружений.

Согласно ГОСТ 25100-96 различают два основных класса грунтов: 1) природные скальные (с жесткими структурными связями – кристаллизационными и цементационными); 2) природные дисперсные (с механическими и водно-коллоидными связями).

Класс природных скальных грунтов включает магматические, метаморфические и осадочные грунты. Среди них выделяются разновидности:

- 1) по пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии;
- 2) плотности скелета грунта;
- 3) степени размягчаемости ;
- 4) степени растворимости в воде;
- 5) степени водопроницаемости.

Класс природных дисперсных грунтов включает группу связанных (глинистые грунты, илы, сапропели, заторфованные грунты, торфы и др.) и несвязанных (крупнообломочные грунты, пески) грунтов.

Среди глинистых грунтов выделяются разновидности:

- 1) по числу пластичности и гранулометрическому составу;
- 2) показателю текучести;
- 3) относительному содержанию органического вещества;
- 4) относительной деформации просадочности;
- 5) относительной деформации набухания.

Выделяются разновидности песчаных и крупнообломочных грунтов:

- 1) по гранулометрическому составу;
- 2) коэффициенту водонасыщения.

Также выделяются разновидности песков:

- 1) по коэффициенту пористости;
- 2) относительному содержанию органических веществ.

Для оценки строительных свойств грунтов необходимо определить ряд характеристик.

1. Характеристики, которые непосредственно не используются при расчетах, но позволяют дать общую оценку грунта: гранулометрический состав, петрографический состав, число пластичности, показатель текучести, коэффициент водонасыщения, коэффициент пористости. Они определяются при испытаниях грунтов или вычисляются по формулам.

2. Характеристики, которые используются в расчетах инженерных сооружений: плотность грунта, плотность грунтовых частиц, коэффициент относительной сжимаемости, модуль деформации, удельное сцепление, угол внутреннего трения. Они определяются при испытаниях грунтов.

Методов определения указанных характеристик известно много. В данных методических указаниях приведены современные методы, рекомендуемые стандартами.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВ (ГОСТ 12536-79)

1. Общие положения

Гранулометрическим (зерновым) составом называется весовое содержание частиц различной крупности, выраженное в процентах по отношению к массе сухой пробы, взятой для анализа.

Выделяют шесть основных фракций (табл. 1).

Таблица 1

Фракции (частицы)	Размер частиц, мм
Валунные (глыбовые)	Более 200
Галечниковые (щебенистые)	10 – 200
Гравийные (дресвяные)	2 – 10
Песчаные	От 2 до 0,05
Пылеватые	0,05 до 0,005
Глинистые	Менее 0,005

Определение гранулометрического состава заключается в разделении грунта на отдельные гранулометрические элементы. Методы определения гранулометрического состава грунтов можно разделить на *прямые и косвенные*.

К *прямым* относятся методы, основанные на непосредственном (микрометрическом) измерении частиц в поле зрения оптических и электронных микроскопов или с помощью других электронных и электронно-механических устройств. В практике прямые (микрометрические) методы не получили широкого распространения.

К *косвенным* относятся методы, которые базируются на использовании различных зависимостей между размерами частиц, скоростью осаждения их в жидкой и воздушной средах и свойствами суспензии. Это методы, основанные на использовании физических свойств суспензии (ареометрический, оптический и др.) или моделирующие природную седиментацию (пипеточный, отмучивания и др.).

Ареометрический метод основан на последовательном определении плотности суспензии грунта через определенные промежутки времени с помощью ареометра. По результатам определений рассчитывают диаметр и количество определяемых частиц по формуле или с помощью номограммы. Этим методом определяют содержание в грунте частиц диаметром менее 0,1 мм. Содержание фракций крупнее 0,1 мм определяют ситовым методом.

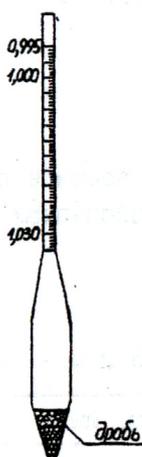


Рис. 1. Устройство ареометра

Устройство ареометра (рис. 1) основано на законе Архимеда: всякое погруженное в жидкость тело теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость. При постоянном объеме тела, погруженного в жидкость, более тяжелой жидкости будет вытеснено меньше, а более легкой – больше. Таким образом, в легкую жидкость тело будет погружено на большую глубину, в тяжелую на меньшую. Следовательно, чем больше концентрация суспензии, тем больше ее плотность и меньше глубина, на которую погружается в нее ареометр.

При отстаивании суспензии частицы грунта, подчиняясь закону силы тяжести, падают на дно сосуда и плотность суспензии уменьшается. Соответственно ареометр по мере выпадения частиц постепенно погружается в суспензию глубже и глубже.

Пипеточный метод используют для определения гранулометрического состава глинистых грунтов в комбинации с ситовым. Этот метод основан на разделении частиц грунта по скорости их падения в спокойной воде. Скорость осаждения частиц (v , см/с) определяется по формуле Стокса

$$v = \frac{2}{9} \cdot g \cdot r^2 \cdot \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\eta},$$

где g – ускорение свободного падения, см/с²; r – радиус частиц, см; γ_s – плотность частиц, г/см³; γ_w – плотность воды, г/см³; η – коэффициент вязкости воды.

Через определенные интервалы времени пипеткой из суспензии грунта с различных глубин отбирают пробы, которые затем высушивают и взвешивают.

К *косвенным методам* также относится и *полевой метод Рутковского*, который дает приближенное представление о гранулометрическом составе грунтов. В основу метода положены:

- 1) различная скорость падения частиц в воде в зависимости от их размера;
- 2) способность глинистых частиц набухать в воде.

С помощью метода Рутковского выделяют три основные фракции: глинистую, песчаную и пылеватую. В полевых условиях на практике этот метод целесообразно применять для определения песков пылеватых и супесей.

В особую группу выделяют методы определения размеров частиц с помощью ситовых наборов. Они занимают промежуточное положение между прямыми и косвенными методами и широко используются в практике самостоятельно или в комбинации с другими методами.

Гранулометрический состав песчаных и глинистых грунтов при исследованиях для строительства в лабораториях следует определять методами, предусмотренными табл. 2.

Ситовой метод - один из основных в практике исследований грунтов для строительства. Метод используется для определения гранулометрического состава крупнообломочных и песчаных грунтов, а также крупнозернистой части пылевато-глинистых грунтов.

Таблица 2

Грунты	Метод определения
Песчаные, при выделении зерен песка крупностью, мм: от 10 до 0,5	Ситовой без промывки водой
от 10 до 0,1	Ситовой с промывкой водой
Глинистые	Ареометрический, пипеточный (применяется только для специальных целей)

Сущность метода заключается в рассеве пробы грунта с помощью набора сит. Для разделения грунта на фракции ситовым методом без промывки водой применяют сита с отверстиями диаметром 10; 5; 2; 1; 0,5 мм; с промывкой водой – сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм. Ситовой метод с промывкой водой обычно применяют для определения гранулометрического состава мелких и пылеватых песков.

Гранулометрический состав грунтов является определяющим фактором для физико-механических свойств грунтов. От него зависят пластичность, пористость, водопроницаемость, сжимаемость, сопротивление сдвигу грунтов и др.

Гранулометрический состав служит для классификации грунтов.

2. Классификация грунтов

Согласно действующему ГОСТ 25100-84 по гранулометрическому составу классифицируются крупнообломочные и песчаные грунты (табл. 3).

Глинистые грунты подразделяются по числу пластичности (табл. 4).

В строительной практике также используют упрощенную классификацию грунтов по содержанию глинистых частиц (табл. 5).

Таблица 3

Грунты	Размер частиц d , мм	Масса воздушно-сухого грунта, %
<u>Крупнообломочные</u>		
Валунный (при преобладании неокатанных частиц – глыбовый)	Больше 200	Больше 50
Галечный (при преобладании неокатанных частиц – щебенистый)	Больше 10	Больше 50
Гравийный (при преобладании неокатанных частиц – дресвяный)	Больше 2	Больше 50
<u>Песчаные</u>		
Песок гравелистый	Больше 2	Больше 25
Песок крупный	Больше 0,5	Больше 50
Песок средней крупности	Больше 0,25	Больше 50
Песок мелкий	Больше 0,1	Не менее 75
Песок пылеватый	Больше 0,1	Меньше 75

Примечание. Для установления наименования грунта последовательно суммируют проценты частиц исследуемого грунта: сначала крупнее 200 мм, затем крупнее 10 мм, далее крупнее 2 мм и т.д. Наименование грунта принимается по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименования в таблице.

Таблица 4

Грунт	Число пластичности, J_p
Супесь	$1 \leq J_p \leq 7$
Суглинок	$7 < J_p \leq 17$
Глина	$J_p > 17$

Таблица 5

Грунт	Содержание глинистых частиц, %
Глина	Более 30
Суглинок	30 – 10
Супесь	10 – 3
Песок	Менее 3

3. Графическое изображение гранулометрического состава грунтов

Существует несколько способов для графического изображения гранулометрического состава, из которых чаще всего используются способы интегральной кривой и диаграммы-треугольника.

Интегральная кривая – это график, отражающий суммарное содержание фракций мельче определенного диаметра (рис. 2). Для построения кривой по оси абсцисс используют полулогарифмический масштаб, т.е. откладывают не диаметры частиц, а их логарифмы. В начале координат ставят число 0,001, а затем принимая $\lg 10 = 1$ (5 см), откладывают вправо четыре раза по 5 см, делая отметки, ставя против них последовательно числа 0,01; 0,1; 1; 10. Расстояние между каждыми двумя метками делят на 9 частей пропорционально логарифмам чисел 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (табл. 6).

Таблица 6

Число	Логарифм	Доля отрезка (от 5 см)
2	0,301	1,5
3	0,477	2,4
4	0,602	3,0
5	0,699	3,5
6	0,778	3,9
7	0,845	4,2
8	0,903	4,5
9	0,988	4,9

По оси ординат отмечают суммарное содержание фракций в процентах в нарастающем порядке от наименьшего диаметра к наибольшему.

Интегральная кривая гранулометрического состава дает возможность оценить степень неоднородности гранулометрического состава C_u :

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}},$$

где d_{60} и d_{10} – размер частиц, соответствующий ординатам 60 и 10 % соответственно на интегральной кривой.

Согласно действующему ГОСТ 25100-84 если $C_u < 3$ – грунт однородный, если $C_u > 3$ – неоднородный.

Диаграмма-треугольник Фере (рис. 3) позволяет изображать содержание трех основных фракций - песчаной, пылеватой и глинистой. В треугольнике Фере использовано свойство равностороннего треугольника : сумма перпендикуляров, опущенных из какой-либо точки внутри треугольника на три стороны, равна высоте треугольника.

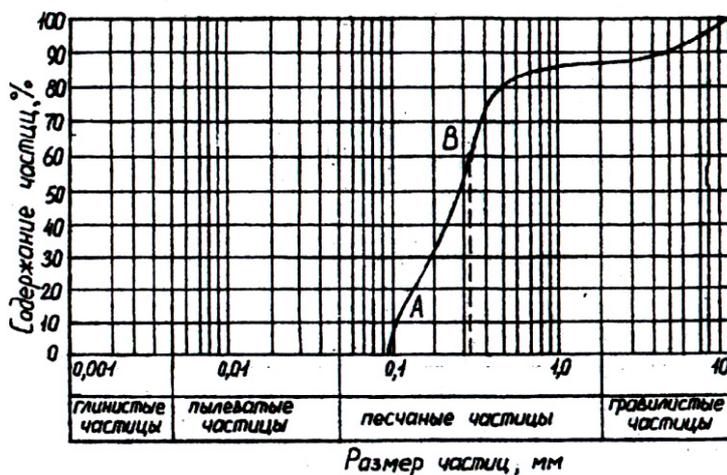


Рис. 2. Интегральная кривая грансостава грунта

Если разделить стороны и высоту треугольника на 100 частей и откладывать содержание в грунте глинистых, пылеватых и песчаных частиц (в процентах) от разных сторон треугольника, то получим изображение гранулометрического состава грунта в виде точки. Этот способ позволяет наносить на один чертеж очень большое число анализов.

На рис. 3 изображены результаты гранулометрического анализа трех образцов грунта со следующим содержанием основных фракций в процентах. Образец 1: содержание песка 20, пыли 40, глины 40; образец 2: содержание песка 5, пыли 35, глины 60; образец 3: содержание песка 55, пыли 15, глины 30.

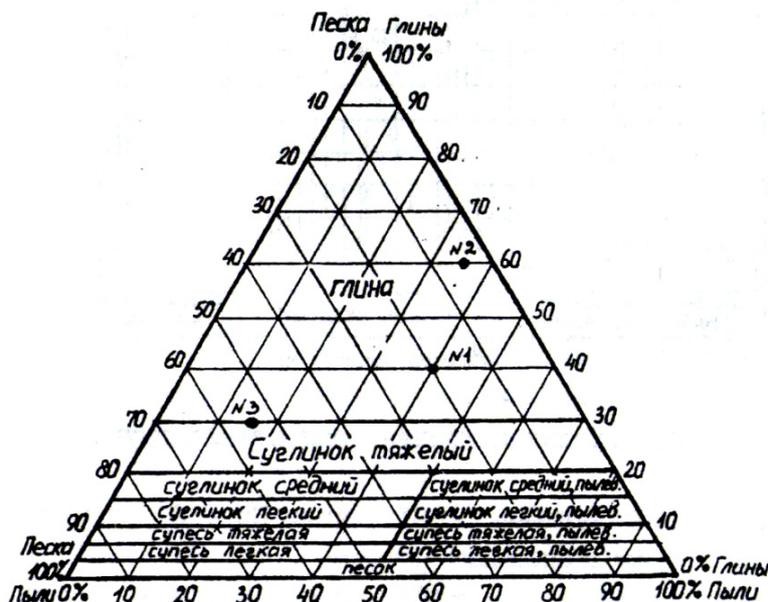


Рис. 3. Треугольник Фере

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА СИТОВЫМ МЕТОДОМ БЕЗ ПРОМЫВКИ ВОДОЙ

Цель работы. Определение гранулометрического состава песчаного грунта.

Оборудование и материалы. Набор стандартных сит, весы с разновесами, лист плотной бумаги, ложка или совок, грунт воздушно-сухой нарушенной структуры массой 1 кг.

Подготовительные работы

Грунт рассыпают ровным слоем на листе бумаги так, чтобы при

этом образовался квадрат 20×20 см. Поверхность грунта расчерчивают прямыми линиями на 15 одинаковых ячеек (рис. 4, а).

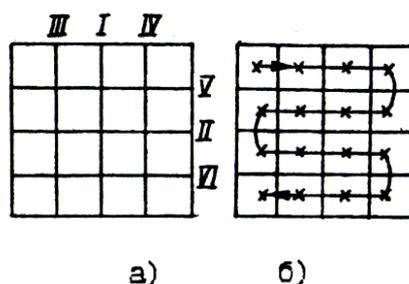


Рис. 4. Схема отбора грунта

Из каждой ячейки последовательно (рис. 4, б) в чашу весов ложкой отбирают приблизительно одинаковое количество грунта с таким расчетом, чтобы в итоге навеска равнялась 100 г (из каждой ячейки грунт берут 2 – 3 раза).

Ход работы

1. Взвешивают пробу грунта с точностью до 0,1 г.
2. Пропускают пробу через собранный набор сит (10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 мм).
3. Содержание каждого сита, начиная с крупного, просеивают над листом бумаги.
4. Мелкие частицы, прошедшие через сито, с бумаги переносят на следующее сито.
5. Содержание каждого сита и поддона высыпают в чашку весов и взвешивают с точностью до 0,1 г. Данные заносят в табл. 7.
6. Если сумма масс отдельных фракций отличается от первоначальной массы 100 г более чем на 0,5 г, анализ повторяют.

Таблица 7

Размер фракции крупнее, мм	Масса остатка на сите g, г	Содержание фракции P, %	Суммарное содержание частиц больше данного диаметра, %
10			
5			
2			
1			
0,5			
0,25			
Меньше 0,25			

Обработка результатов

1. Результаты анализа по фракциям выражают в процентах с точностью до единицы по отношению к массе воздушно-сухой пробы. Расчет содержания каждой фракции производят по формуле

$$P_i = \frac{g_i}{Q} 100 \%,$$

где Q – общая масса пробы; g_i – масса остатка на сите.

Данные заносят в табл. 7.

2. Определяют наименование грунта согласно классификациям, строят интегральную кривую и определяют коэффициент неоднородности грунта.

Выводы

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА ПОЛЕВЫМ МЕТОДОМ РУТКОВСКОГО

Цель работы. Определение гранулометрического состава грунта.

Оборудование и материалы. Градуированные цилиндры – 2 шт., палочка с резиновым наконечником, 5%-ный раствор хлористого кальция (CaCl_2), воздушно-сухой грунт нарушенной структуры.

Подготовительные работы

Отбирают среднюю пробу массой 50 г (см. лабораторную работу №1).

Ход работы.

1. *Определение содержания песчаной фракции (частицы диаметром 2 – 0,05 мм).*

1. Сухой грунт ложкой насыпают в цилиндр и постукиванием по ладони уплотняют до 10 см^3 .

2. Легким встряхиванием цилиндра разрыхляют грунт и наливают в цилиндр воду до деления $50 - 60 \text{ см}^3$.

3. Грунт тщательно растирают при помощи палочки с резиновым наконечником и размешивают с водой до исчезновения мазков глины на стенках цилиндра. Цилиндр доливают водой до 100 см^3 .

4. Полученную суспензию взмучивают палочкой с резиновым наконечником, вынув палочку, замечают время и дают суспензии отстояться 90 с. За это время все песчаные частицы оседают на дно. Через 90 с 2/3 объема суспензии с пылеватыми и глинистыми частицами сливают до деления 30 – 35 см³.

5. Цилиндр вновь доливают до 100 см³, взмучивают суспензию, дают ей отстояться 90 с, снова сливают 2/3 ее объема и т.д. Этот процесс повторяют до полного осветления жидкости.

6. Затем переходят к сливанию крупных пылеватых частиц через более короткие промежутки времени. Для этого оставшуюся суспензию в объеме 30 – 35 см³ взмучивают и через 30 с осторожно сливают почти всю жидкость над грунтом (при сливании следят, чтобы песчаные частицы не уносились вместе с водой). Цилиндр доливают водой до 30 см³, взмучивают, через 30 с сливают и т.д. Операцию повторяют до совершенно полного осветления жидкости.

7. Наливают воду до 100 см³, дают отстояться песчаным частицам и определяют их объем. Так как 1 см³ составляет 10 % взятого объема грунта, то содержание песчаной фракции в грунте определяют умножением числа кубических сантиметров осадка на 10.

Результаты опыта записывают в табл. 8

Таблица 8

Начальный объем грунта, см ³	Объем оставшегося грунта, см ³	Содержание песчаной фракции, %
10		

2. *Определение содержания глинистой фракции (частицы диаметром менее 0,005 мм).*

1. Сухой грунт ложкой насыпают в цилиндр и постукиванием по ладони уплотняют до 20 см³.

2. Грунт разрыхляют, в цилиндр наливают воду до деления 50 – 60 см³. Растирают грунт до исчезновения мазков глины на стенках цилиндра.

3. Для коагуляции и ускорения оседания глинистой фракции к полученной суспензии прибавляют 3 – 4 см³ 5%-ного раствора CaCl₂.

4. Цилиндр доливают водой до 100 см³, взмучивают суспензию и оставляют на 1 – 2 сут. В цилиндр вставляют этикетки с указанием группы и номера бригады.

5. После отстаивания определяют объем набухшего грунта. Содержание глинистых частиц в процентах определяют умножением относительного приращения объема грунта на эмпирический коэффициент $K = 22,7$. Результаты вносят в табл. 9.

3. *Определение содержания пылевой фракции (частицы диаметром 0,05 – 0,005 мм).*

Содержание пылевой фракции определяют вычитанием из общего содержания (100 %) содержание глинистой и песчаной фракций.

Таблица 9

Начальный объем грунта, см ³	Объем набухшего грунта, см ³	Приращение объема, см ³	Относительное приращение объема	Содержание глинистой фракции, %
20				

Обработка результатов

1. Результаты определения гранулометрического состава грунта сводят в табл. 10.

2. По результатам работы строят диаграмму-треугольник и устанавливают наименование грунта по упрощенной классификации.

Таблица 10

Фракция	Содержание, %
Песчаная	
Пылеватая	
Глинистая	
<i>Итого</i> 100 %	

Выводы

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Грунты – это любые горные породы и почвы, представляющие собой многокомпонентные динамические системы, являющиеся объектом инженерной деятельности человека.

В грунте различают твердый компонент – минеральные и органические частицы, которые при неплотном прилегании друг к другу образуют промежутки различной величины – поры. В порах содержится жидкий компонент (вода) и газообразный компонент (воздух).

В зависимости от количественного соотношения в грунте частиц различного размера, от степени заполнения пор водой грунт имеет различное физическое состояние, от которого зависят его свойства и поведение под нагрузкой.

К числу физических свойств относятся плотность твердых частиц, плотность грунта, влажность, водопроницаемость.

1. Плотность твердых частиц ρ_s

Плотностью твердых частиц ρ_s называется отношение массы твердых частиц m_s к их объему V_s :

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}, \text{ г/см}^3; \text{ кг/м}^3; \text{ т/м}^3.$$

Численно плотность твердых частиц равна массе единицы объема скелета грунта в воздухе при отсутствии пор. Определяется пикнометрическим методом. Плотность твердых частиц зависит только от минерального состава грунта, так как плотность породообразующих минералов колеблется в небольших пределах, плотность рыхлых песчаных и глинистых грунтов также изменяется в небольших пределах. Для расчетов принимают плотность твердых частиц песков, равную 2,66; супесей – 2,7; суглинков – 2,71; глин – 2,74.

2. Плотность грунта ненарушенной структуры

Плотностью грунта называется отношение массы грунта m к его объему V ненарушенной структуры:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3; \text{ кг/м}^3; \text{ т/м}^3.$$

Численно плотность грунта равна массе единицы объема грунта при данной пористости и влажности.

Плотность грунтов зависит от их минерального состава, пористости и влажности. Чем больше влажность грунта, тем больше его плотность. Максимального значения плотности при данной пористости грунт достигает при полном заполнении пор водой.

Плотность используется как прямой расчетный показатель при следующих операциях: вычислении давления грунта на подпорную стенку; расчете устойчивости оползневых склонов и откосов; расчете осадок сооружений; расчете распределения напряжений в грунтах оснований под фундаментами; определении объема земляных работ и др. Кроме того, величина плотности используется для вычисления скелета грунта.

В лабораторных условиях плотность грунта определяется несколькими методами: непосредственных измерений, режущего кольца, взвешивания в воде.

Метод непосредственных измерений применяется для скальных грунтов, когда из грунта можно вырезать, выбурить образец в виде кубика или цилиндра и найти плотность, обмерив и взвесив его.

Метод режущего кольца (ГОСТ 5182-78) применяют для песчаных, глинистых грунтов, поддающихся резке ножом. Из монолита грунта вырезают с помощью металлического кольца с заостренным режущим краем образец объемом, равным объему кольца.

Масса грунта определяется по разности массы кольца с грунтом и пустого кольца. Объем грунта вычисляют по значениям диаметра и высоты кольца. Для каждого грунта согласно ГОСТ 25100-84 необходимо произвести не менее двух параллельных определений, за величину ρ принимается среднее значение.

Метод взвешивания в воде применяется для определения плотности скальных, глинистых грунтов, когда трудно получить образец правильной формы режущим кольцом или другими способами. Из монолита вырезается образец объемом не менее 30 см^3 , взвешивается, затем покрывается парафином и снова взвешивается сначала на воздухе, а затем в воде. Объем образца определяется по массе вытеснен-

ной воды. Если расхождение между данными параллельных образцов не составляет более $0,03 \text{ г/см}^3$, то принимают среднее значение ρ .

В полевых условиях плотность грунтов определяется с помощью плотномера – влагомера Н.П. Ковалева, радиоизотопными методами, статическим и динамическим зондированием (для песчаных грунтов).

3. Плотность скелета грунта ρ_d

Под плотностью скелета грунта ρ_d понимается масса твердого компонента в единице объема грунта в его естественном сложении, ρ_d численно равна массе единицы объема абсолютно сухого грунта. Она зависит от минерального состава и пористости. Чем меньше пористость и выше содержание тяжелых минералов в грунте, тем больше плотность его скелета.

Плотность скелета определяется по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 \cdot W} \text{ (если } W \text{ в \%)}.$$

4. Пористость грунта

Пористостью грунта n называется отношение объема пор (V_n) к общему объему породы V

$$n = \frac{V_n}{V} 100\%, \quad n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} 100 \text{ \%}.$$

Наибольшей пористостью обладают рыхлые грунты осадочного происхождения. Пористость торфов составляет 60 – 90, глинистых грунтов 35 – 50, крупнообломочных и песчаных грунтов 30 – 45 %. Низкой пористостью (1 – 3 %) обладают скальные грунты метаморфического и магматического (интрузивного) происхождения.

Чаще общее содержание пор в грунте характеризуется *коэффициентом пористости e* . Это отношение объема пор V_n к объему скелета грунта $V_{ск}$, т.е. к объему его твердой части:

$$e = \frac{V_n}{V_{ск}}, \quad e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}.$$

Коэффициент пористости обычно вычисляют по плотности твердых частиц, плотности грунта и влажности.

Величина коэффициента пористости используется для построения

компрессионных кривых при изучении сжимаемости грунтов и служит классификационным показателем при определении плотности сложения песчаных грунтов согласно ГОСТ 25100-96 (табл. 11). Кроме того, величина пористости может быть использована для вычисления коэффициента фильтрации песков по эмпирическим формулам.

Таблица 11

Пески	По плотности сложения		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Гравелистые, крупные и средней крупности	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,7$	$e > 0,7$
Мелкие	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Пылеватые	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$

5. Относительная плотность песчаных грунтов

Плотность песка возрастает с уменьшением его пористости. Поэтому, сопоставляя естественную пористость песка с его пористостью в наиболее рыхлом и наиболее плотном сложении, можно определить степень уплотнения, или относительную плотность песка, D

$$D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}},$$

где e , e_{\min} и e_{\max} – коэффициенты пористости песка в его естественном, максимально плотном и минимально рыхлом сложении соответственно.

Для оценки способности песка к уплотнению используется показатель уплотняемости F

$$F = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\min}},$$

где $e_{\max} = \frac{\rho_s - \rho_{\min}}{\rho_{\min}}$, $e_{\min} = \frac{\rho_s - \rho_{\max}}{\rho_{\max}}$.

6. Влажность грунта

Под влажностью грунта понимают содержание в нем того или иного количества воды. Наиболее распространенным методом лабораторного определения влажности является метод термостатной сушки. Он применим для всех грунтов, за исключением разностей с высоким содержанием органического вещества (более 10 %), гипса.

Влажностью грунта W называют отношение массы воды, содержащейся в грунте, к массе грунта, высушенного при температуре 105 ± 2 °С (ГОСТ 5180-75), выраженное в процентах:

$$W = \frac{m_w}{g_s} 100 \% .$$

Природной влажностью грунта называют количество свободной и поверхностной воды, содержащейся в порах грунта в естественных условиях его залегания. Величина природной влажности – важная характеристика физического состояния грунта, определяющая прочность грунта и поведение его под сооружением. Особое значение влажность имеет для глинистых грунтов, резко изменяющих свои свойства в зависимости от степени увлажнения.

Природная влажность – важный косвенный показатель, необходимый для вычисления плотности скелета грунта, пористости, коэффициента водонасыщения и др.

Коэффициентом водонасыщения S_r (степень заполнения объема пор грунта водой) определяется по формуле

$$S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} ,$$

где W – природная влажность грунта в долях единицы; ρ_s – плотность твердых частиц грунта, г/см³; ρ_w – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³; e – коэффициент пористости грунта.

Крупнообломочные и песчаные грунты подразделяются по коэффициенту водонасыщения (табл. 12).

Таблица 12

Разновидность крупнообломочных и песчаных грунтов по степени влажности	Коэффициент водонасыщения S_r
Малой степени водонасыщения	$0 < S_r \leq 0,5$
Средней степени водонасыщения	$0,5 < S_r \leq 0,8$
Насыщенные водой	$0,8 < S_r \leq 1$

7. Пластичность грунтов

Под пластичностью грунта понимается его способность деформироваться без разрыва под воздействием внешних усилий и сохранять полученную форму после их снятия. Пластичность характерна для глинистых грунтов. Пластичные свойства зависят от их влажности и от содержания глинистых минералов.

При изменении водосодержания в грунтах они переходят из одной формы консистенции в другую. Этот переход осуществляется при значениях влажности, которые называют характерными влажностями, или пределами (ГОСТ 5183-77).

Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в твердое, называется *нижним пределом пластичности*, или границей раскатывания (W_p).

Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее, называется *верхним пределом пластичности*, или границей текучести (W_l).

Интервал влажности между пределами пластичности характеризуется *числом пластичности* $J_p = W_l - W_p$ и используется как классификационный показатель грунта.

Верхний предел пластичности определяется с помощью балансирующего конуса (рис. 5), а нижний – по влажности раскатывания грунта в шнур (ГОСТ 5183-77).

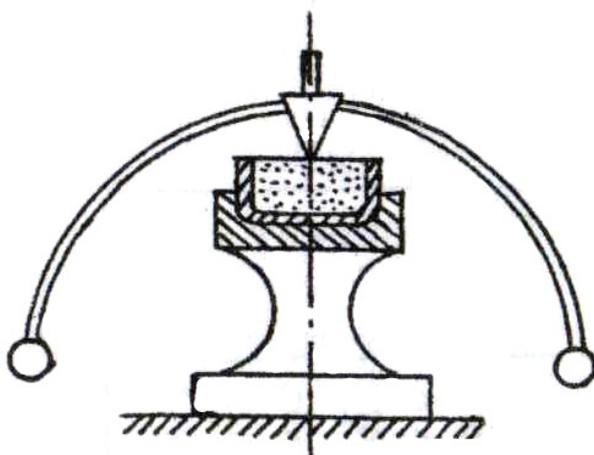


Рис. 5. Балансирный конус

Оборудование. Стандартный конус имеет угол при вершине, равный 30°. На расстоянии 10 мм от вершины на конусе нанесена круговая риска. Балансирное устройство состоит из двух металлических шаров и стального прута, согнутого в полуокружность и закрепленного в основании конуса. Общая масса прибора 76 г. Для определения состояния глинистых грунтов используют показатель *текучести*, вычисляемый по формуле:

$$J_l = \frac{W - W_p}{W_l - W_p}.$$

Глинистые грунты различают по консистенции, характеризуемой показателем текучести J_l согласно ГОСТ 25100-84 (табл. 13).

Таблица 13

Разновидность глинистых грунтов	Показатель текучести J_l
<u>Супеси:</u>	
твердые	$J_l < 0$
пластичные	$0 \leq J_l \leq 1$
текучие	$J_l > 1$
<u>Суглинки и глины:</u>	
твердые	$J_l < 0$
полутвердые	$0 \leq J_l \leq 0,25$
тугопластичные	$0,25 < J_l \leq 0,5$
мягкопластичные	$0,5 < J_l \leq 0,75$
текучепластичные	$0,75 < J_l \leq 1$
текучие	$J_l > 1$

8. Водопроницаемость грунтов

Водопроницаемость грунтов – это способность их пропускать воду под действием силы тяжести или при перепаде давления (разности напоров).

Численно водопроницаемость грунтов характеризуется *коэффициентом фильтрации* K_f .

Движение воды при ламинарном режиме в полностью водонасы-

ценных грунтах подчиняется закону Дарси, согласно которому существует линейная зависимость скорости фильтрации V от градиента напора J :

$$J = \frac{\Delta H}{l},$$

где ΔH – разность напоров; l – длина пути фильтрации.

Коэффициент фильтрации – это скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице:

$$V = K_{\phi} J.$$

Водопроницаемость определяют в условиях установившегося движения потока воды. Эти условия создаются в результате постоянства величины напорного градиента в течение всего испытания. Водопроницаемость определяют на приборах КФ-1, в трубке СПЕЦ-ГЕО и др.

Коэффициент фильтрации выражается в сантиметрах в секунду, обычно в метрах в сутки. Он зависит от гранулометрического состава грунтов, их строения, сложения, трещиноватости, пористости, а также вязкости воды, которая, в свою очередь, зависит от температуры воды.

Коэффициент фильтрации используется при подсчете запасов подземных вод, определении притока воды в строительные котлованы,

проектировании дренажных сооружений, расчете осадки зданий во времени и др.

Чаще всего коэффициент фильтрации определяется в полевых условиях с помощью откачки воды насосами или налива воды в кольца. Реже K_{ϕ} определяют путем расчета по формулам.

Значения коэффициента фильтрации для различных грунтов приведены в табл. 14.

Оборудование. Прибор КФ-1 (рис. 6) состоит из металлического цилиндра 1, дырчатого съемного днища 2 с латунной сеткой, крышки 3 с сеткой, мерного стеклянного сосуда Мариотта

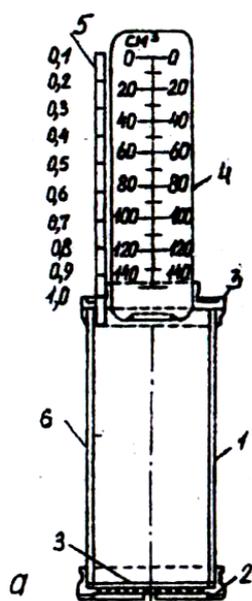


Рис. 6. Прибор КФ-1

4, приспособления, регулирующего напорный градиент, с размеченной линейкой 5 (интервал измерения градиента от 0,1 до 1,0), футляра прибора 6.

Таблица 14

Вид грунтов	Коэффициент фильтрации K_f	
	м/сут	см/с
Галечники и гравий с крупным песком	100 - 1000 и более	1,16 - 0,12
Галечники и гравий с мелким песком	100 - 10	0,12 - 0,012
Песок средней крупности, мелкий	10 - 1	0,012 - 0,0012
Песок пылеватый, супеси	1 - 0,1	$1,2 \cdot 10^{-3}$ - $1,2 \cdot 10^{-4}$
Суглинки	0,1 - 0,001	$1,2 \cdot 10^{-4}$ - $1,2 \cdot 10^{-6}$
Глины	Меньше	Меньше $1,2 \cdot 10^{-6}$

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ РЕЖУЩИХ КОЛЕЦ

Цель работы. Определение плотности грунта ненарушенной структуры.

Оборудование и материалы. Металлическое кольцо с заостренным режущим краем, грунтовый нож, стеклянная пластина, весы с разновесами, штангенциркуль, монолит грунта, технический вазелин.

Ход работы

1. Кольцо взвешивают с точностью до 0,1 г, измеряют его высоту и диаметр (в сантиметрах), вычисляют объем кольца (в сантиметрах кубических). Данные заносят в табл. 15.

2. Смазывают внутреннюю поверхность кольца техническим вазелином.

3. Поверхность монолита зачищают ножом. На поверхность

грунта устанавливают кольцо. Надавливанием на кольцо без переко-сов погружают его на 2 – 3 мм в грунт. Грунт, прилегающий к коль-цу с внешней стороны, удаляют.

4. Новым надавливанием кольцо снова погружают в монолит на 2 – 3 мм, грунт снаружи снова удаляют и т.д. Необходимо следить за тем, чтобы объём испытуемого образца был точно равен объему кольца.

5. После того как грунт окажется выше верхнего края кольца на 2 – 3 мм, кольцо отделяют от монолита, подрезав грунт ниже кольца на "конус" (рис. 7).

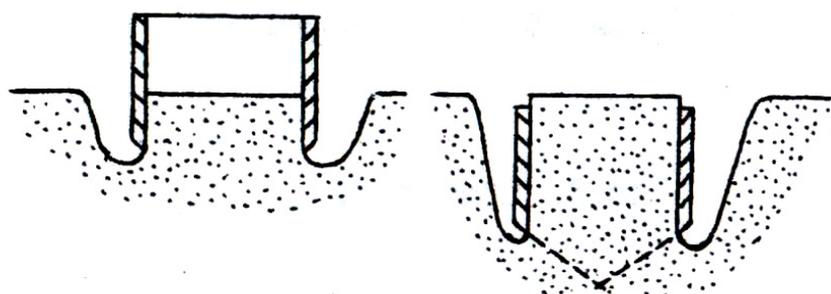


Рис. 7. Погружение кольца в грунт

6. "Конус" срезают и поверхность грунта зачищают вровень с режущим краем кольца.

7. Кольцо с грунтом помещают зачищенной стороной на стек-лянную пластину и зачищают грунт с другой стороны.

Предварительно очистив кольцо от приставших частиц, взве-шивают кольцо с грунтом с точностью до 0,1 г. Результаты заносят в табл. 15.

Таблица 15

Объем кольца $V, \text{ см}^3$	Масса кольца, г		Масса грунта $m_2 - m_1, \text{ г}$	Плотность грунта $\rho = \frac{m_2 - m_1}{V},$ г/см^3
	без грунта m_1	с грунтом m_2		

Обработка результатов. Плотность грунта вычисляют с точностью до $0,01 \text{ г/см}^3$.

Выводы

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ВЗВЕШИВАНИЯ В ВОДЕ

Цель работы. Определение плотности грунта естественного сложения.

Оборудование и материалы. Электроплитка, металлическая игла, весы с разновесами, градуированный сосуд с водой, парафин, монолит грунта.

Ход работы

1. Из монолита грунта вырезают образец по возможности правильной овальной формы объемом не менее 30 см^3 и взвешивают с точностью до $0,1 \text{ г}$. Данные заносят в табл. 16.

2. Парафин нагревают до $55 - 60 \text{ }^\circ\text{C}$ и образец грунта покрывают тонкой пленкой парафина путем его погружения несколько раз в расплавленный парафин.

3. Если в парафиновой пленке обнаружатся пузырьки воздуха, то их удаляют проколом нагретой металлической иглы, после этого образец еще раз погружают в парафин.

4. Запарафинированный образец взвешивают на воздухе. Данные заносят в таблицу.

5. Погружают запарафинированный образец в градуированный цилиндр с водой и измеряют объем вытесненной воды. Данные заносят в таблицу.

Обработка результатов

1. Вычисляют массу парафина m_n :

$$m_n = m_1 - m.$$

2. Определяют объем парафина V_n , разделив массу парафина на его плотность, равную $0,9 \text{ г/см}^3$:

$$V_n = \frac{m_n}{0,9}$$

3. Вычисляют плотность грунта в граммах на кубический сантиметр, с точностью до 0,01 г/см³:

$$\rho = \frac{m}{V - V_n}$$

Таблица 16

Масса образца до парафинирования m , г	Масса образца с парафином m_1 , г	Масса парафина m_n , г	Объем запа- рафинирован- ного образца V , см ³	Объем пара- фина V_n , см ³	Плот- ность ρ , г/см ³

Выводы

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСОВОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

Цель работы. Определение природной влажности грунта.

Оборудование и материалы. Бюксы, весы с разновесами, грунт нарушенной или ненарушенной структуры.

Ход работы

1. Взвешивают пустой бюкс.
2. В бюкс помещают грунт в количестве не менее 10 г и взвешивают бюкс с грунтом с точностью до 0,01 г.
3. Бюкс с влажным грунтом лаборант помещает в сушильный шкаф, в котором грунт высушивается при температуре 105 ± 2 °С в течение 5 – 6 ч.
4. Бюкс с сухим грунтом лаборант устанавливает в эксикатор, на следующем занятии бюкс с сухим грунтом взвешивают.
5. Все данные заносят в табл. 17.

Обработка результатов

1. Вычисляют влажность грунта с точностью до 0,1 % .

2. На основе полученных из опытов результатов определения плотности и влажности рассчитывают по формулам следующие физические характеристики грунта: плотность скелета грунта ρ_d , коэффициент пористости e , коэффициент водонасыщения S_r . Точность этих вычислений 0,01.

Таблица 17

Номер бюкса	Масса бюкса m , г	Масса бюкса с влажным грунтом m_1 , г	Масса бюкса с сухим грунтом m_2 , г	Влажность грунта $W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} 100\%$

Выводы

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

Цель работы. Определение влажности на границе текучести и границе раскатывания глинистого грунта

Оборудование и материалы. Фарфоровая чашка, шпатель, металлический стаканчик со специальной подставкой, балансирный конус, весы с разновесами, бюксы, сушильный шкаф, эксикатор, грунтовый нож, стеклянная пластина, вазелин технический, монолит грунта.

Подготовительные работы

Из монолита грунта отбирают образец объемом около 100 см³, помещают в фарфоровую чашку, разминают шпателем, удаляют включения крупнее 1 мм, увлажняют водой до состояния густой пасты, тщательно перемешивают и выдерживают не менее 2 ч в закрытом стеклянном сосуде.

Ход работы

1. *Определение влажности на границе текучести*

1. Взвешивают пустые бюксы с точностью до 0,01 г.

2. Приготовленную глинистую пасту помещают в металлический стаканчик с помощью шпателя без оставления пустот. Поверхность грунтовой пасты заглаживают шпателем вровень с краями стаканчика.

3. К поверхности глинистой пасты подносят острие конуса, предварительно смазанное вазелином, и, опустив его, дают ему возможность свободно погружаться в пасту под действием собственной массы.

4. Если за 5 с конус погрузится на 10 мм, т.е. до круговой риски, то граница текучести считается достигнутой. Тогда часть грунта (не менее 10 г) помещают в бюкс и взвешивают бюкс с влажным грунтом.

5. Если же конус за 5 с погрузится на меньшую глубину, то влажность глинистой пасты не достигла границы текучести. Грунтовую пасту вынимают из стаканчика, вновь помещают в фарфоровую чашку и добавляют немного воды, тщательно перемешивают и повторяют опыт с балансным конусом (пп.3 – 4).

6. В случае погружения конуса за 5 с на глубину более 10 мм, грунт вынимают из стаканчика, помещают в фарфоровую чашку и, перемешивая непрерывно шпателем, слегка подсушивают на воздухе или, добавив грунта с природной влажностью, тщательно перемешивают, затем повторяют опыт с балансным конусом (пп.3 – 4).

7. Бюксы с влажным грунтом лаборант помещает в сушильный шкаф на 5 – 6 ч.

8. Бюксы с высушенным грунтом лаборант устанавливает в эксикатор. На следующем занятии бюксы с сухим грунтом взвешивают.

9. Все данные заносят в табл. 18.

2. Определение влажности на границе раскатывания

1. Из тщательно перемешанной грунтовой пасты берут небольшой кусочек и раскатывают с легким нажатием руки на стеклянной пластине до образования жгута толщиной около 3 мм. Если при такой толщине жгут не распадается на отдельные кусочки, то грунт собирают в комок и вновь раскатывают до указанной толщины. Длина жгута не должна превышать ширины ладони.

2. Влажность на границе раскатывания считается достигнутой, когда жгут толщиной около 3 мм начнет покрываться трещинами и распадаться на кусочки длиной 3 – 10 мм по всей своей длине.

3. Полученные части жгута помещают в бюкс (необходимо набрать кусочков жгута не менее 10 г). Бюкс с кусочками жгута взвешивают. Все данные заносят в табл. 18.

4. Если из грунта при любой влажности невозможно раскатать жгут диаметром 3 мм, то считают, что данный грунт не имеет границы раскатывания, т.е. он непластичен.

Обработка результатов

1. Вычисляют влажность на границе текучести W_l и границе раскатывания W_p (см. табл. 18).

2. Определяют число пластичности J_p , используя найденные значения W_l и W_p , устанавливают наименование грунта по классификации (см. табл. 4).

Взяв значения природной влажности W из лабораторной работы № 5, рассчитывают показатель текучести J_l и определяют состояние (консистенцию) грунта по соответствующей классификации (см. табл. 13).

Таблица 18

Характерные влажности	Номер бюкса	Масса бюкса, г			Влажность $W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} 100\%$
		пустого m	с влажным грунтом m_1	с сухим грунтом m_c	
W_l					
W_p					

Выводы

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА КФ-1

Цель работы. Определение коэффициента фильтрации песчаного грунта.

Оборудование и материалы. Фильтрационный прибор КФ-1 (см. рис. 6, а), термометр.

Ход работы

1. *Определение коэффициента фильтрации при напорном градиенте $J = 1$.*

1. Заполняют металлический цилиндр песком и увлажняют его снизу вверх до водонасыщения (изменение цвета), поставив в сосуд с водой.

2. Сверху на грунт кладут латунную сетку и надевают крышку. Цилиндр с песком ставят на любую ровную поверхность.

3. Заполняют мерный сосуд водой, зажимают его отверстие пальцем, переворачивают вверх дном и вставляют в крышку прибора так, чтобы его горлышко отстояло от поверхности грунта на 0,5 – 1 мм. В таком положении мерный сосуд поддерживает над грунтом постоянный уровень воды. Этим достигается постоянство градиента, численно равного единице, так как напор H равен длине пути фильтрации l .

4. Регулируют посадку мерного цилиндра так, чтобы через воду поднимались только мелкие пузырьки воздуха, следующие один за другим на одинаковом расстоянии.

5. По достижении указанного режима замечают по шкале уровень воды в мерном сосуде, пускают секундомер и снимают отсчеты уровня через 100 и 200 с, измеряют температуру воды. Результаты опыта записывают в табл. 19.

2. Определение коэффициента фильтрации при напорном градиенте J от 0,1 до 0,9 (см. рис. 6, б).

1. Выполняют операции 1, пп. 1, 2.

2. В футляр прибора наливают воду, устанавливают приспособление, регулируют напорный градиент J на нужном значении и ставят на него цилиндр с песком.

3. Выполняют операции 1, пп. 3, 4, 5.

Обработка результатов

Коэффициент фильтрации K_ϕ вычисляют с точностью до двух значащих цифр после запятой по формуле

$$K_\phi = \frac{Q}{F \cdot t \cdot J \cdot r},$$

где Q – объем профильтровавшейся воды за t с; F – площадь поперечного сечения образца; J – напорный градиент; r – температурная поправка, $r = 0,7 + 0,03 \cdot t$ °С.

Температура воды $t =$ °С.

Таблица 19

Время фильтрации t , с	Отсчет по шкале сосуда Мариотта V , см ³	Объем профильтровавшейся воды Q , см ³	Площадь прибора F , см ²	Напорный градиент J	Коэффициент фильтрации K_f , см/с	Средний коэффициент фильтрации K_f , см/с
0						
100			25			
200						

Выводы

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Механические свойства грунтов проявляются при воздействии на них внешних нагрузок и выражаются, главным образом, в сопротивлении их сжатию и сдвигу.

1. Деформационные свойства грунтов

Сжимаемость грунтов под нагрузкой отражает их способность изменять свое строение (упаковку твердых частиц) и проявляется в уменьшении объема пор вследствие смещения частиц относительно друг друга, деформации самих минеральных частиц и оболочек прочносвязанной воды, а также отжатием воды и воздуха из пор грунта.

Показателем, характеризующим сжимаемость грунтов, является модуль общей деформации E .

В лабораторных условиях определение модуля деформации производится при сжатии: а) без возможности бокового расширения (компрессионные испытания); б) в условиях ограниченного бокового расширения (испытание в стабилометрах).

Компрессией называется законченное во времени сжатие грунта в специальном компрессионном приборе – одометре – ступенчатой нагрузкой в условиях невозможности бокового расширения (образец помещен в жесткое кольцо).

Так как уплотнение грунта происходит главным образом в результате уменьшения объема пор, то деформацию сжатия грунта можно выразить через изменение коэффициента пористости e_i . Изменение коэффициента пористости при компрессии можно рассчитать по формуле

$$e_i = e_0 - \frac{\Delta h}{h_0} (1 + e_0),$$

где h_0 – первоначальная высота образца; Δh – изменение высоты образца под давлением; e_0 – начальный коэффициент пористости.

Для расчета начального коэффициента пористости e_0 используют формулу

$$e_0 = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d},$$

где ρ_s – плотность грунтовых частиц, грамм на кубический сантиметр, принимается по табл. 20; ρ_d – плотность сухого грунта (скелета грунта), г/см³.

Плотность скелета грунта ρ_d определяют по формуле:

$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 W}$, в граммах на кубический сантиметр, тонне на кубический метр, т/м³ (если W в процентах), где ρ – плотность грунта ненарушенной структуры, принимаемая по результатам лабораторной работы № 3; W – влажность грунта, принимаемая по результатам лабораторной работы № 5.

Зная коэффициент пористости грунта при соответствующих степенях давления, можно построить *компрессионную кривую* (рис. 8), являющуюся обобщенной характеристикой сжимаемости дисперсных грунтов. Если производить разгрузку образца глинистого грунта в компрессионном приборе, то он будет увеличиваться в объеме, соответствующая кривая называется *кривой декомпрессии* (разгрузки, набухания).

Для небольшого диапазона давлений (0,1– 0,3 МПа) компрессионная кривая в координатах $e-P$ может быть заменена прямой, уравнение которой с угловым коэффициентом m будет иметь вид:

$$e = e_0 - m \cdot P,$$

где $m = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i}$ – коэффициент сжимаемости.

Коэффициент сжимаемости связан с модулем общей деформации грунта при одноосном сжатии следующим соотношением:

$$E_0 = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta, \quad m_v = \frac{m_0}{1 + e_0}, \quad E_0 = \frac{\beta}{m_v},$$

где β – коэффициент, зависящий от поперечного расширения грунта (табл. 20); m_v – коэффициент относительной сжимаемости.

Модуль деформации и коэффициент сжимаемости используются при расчетах осадок фундаментов.

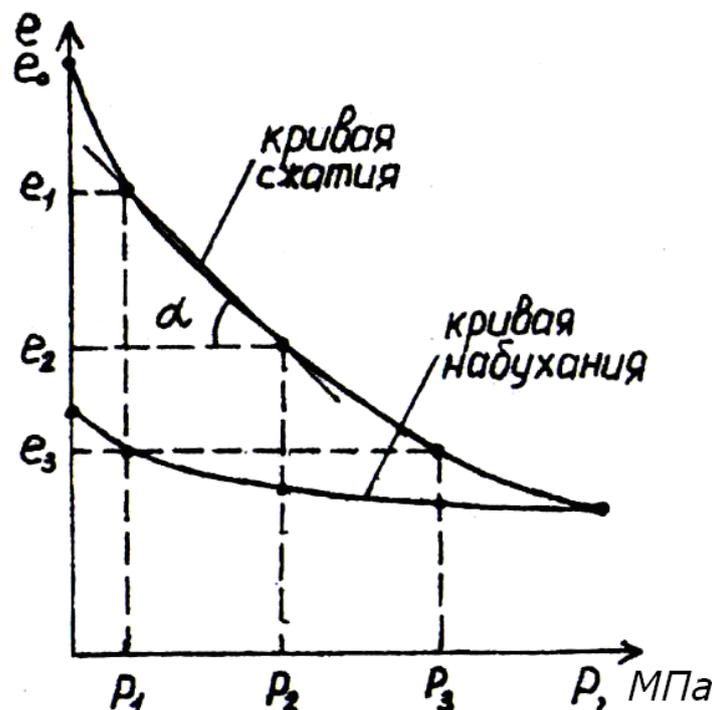


Рис. 8. Компрессионная кривая

Таблица 20

Грунты	Коэффициент β	$\rho_s, \text{ г/см}^3$
Пески	0,8	2,65 – 2,70
Супеси	0,7	2,68 – 2,72
Суглинки	0,5	2,69 – 2,73
Глины	0,4	2,71 – 2,76

В полевых условиях модуль деформации определяется испытаниями грунтов в шурфах и скважинах статическими нагрузками на штамп и прессиометрами, при этом получают более достоверные результаты, которые используются при проектировании зданий и сооружений I и II классов.

Сжимаемость песчаных грунтов невелика, она зависит от их гранулометрического и минерального составов и плотности сложения. Деформации песчаных грунтов происходят очень быстро, в природных условиях осадка зданий на песчаном основании завершается в период строительства.

Сжимаемость глинистых грунтов зависит от их минерального состава, степени дисперсности, состава обменных катионов, пористости, а также от состояния грунта и условий сжатия.

В глинистых грунтах деформации развиваются очень медленно, поэтому осадка зданий в условиях таких грунтов продолжается в некоторых случаях до 5 – 7 лет.

Схемы проведения компрессионных испытаний. В зависимости от вида грунта и условий строительства схема проведения испытаний будет различной. Рекомендуются следующие схемы:

1) изучается сжимаемость образцов естественной структуры при природной влажности, без заливки водой, но с предохранением образца от высыхания;

2) изучается сжимаемость образцов естественной структуры после пребывания их в воде в течение двух-трех суток без возможности расширения (под арретиром);

3) изучается сжимаемость образцов после свободного их набухания в компрессионных приборах в воде в течение пяти-семи суток.

Режим набухания и критерии стабилизации деформаций. Давление на образцы прикладывается ступенями 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 и 0,4 МПа.

Каждую сообщаемую образцу грунта нагрузку выдерживают до условной стабилизации деформации. Условно деформацию считают законченной, если она не превышает 0,01 мм за 4 ч для песчаных грунтов и за 16 ч для глинистых грунтов.

Оборудование. Компрессионную сжимаемость глинистых, песча-

ных грунтов определяют в специальных компрессионных приборах, например К-1М (рис. 9).

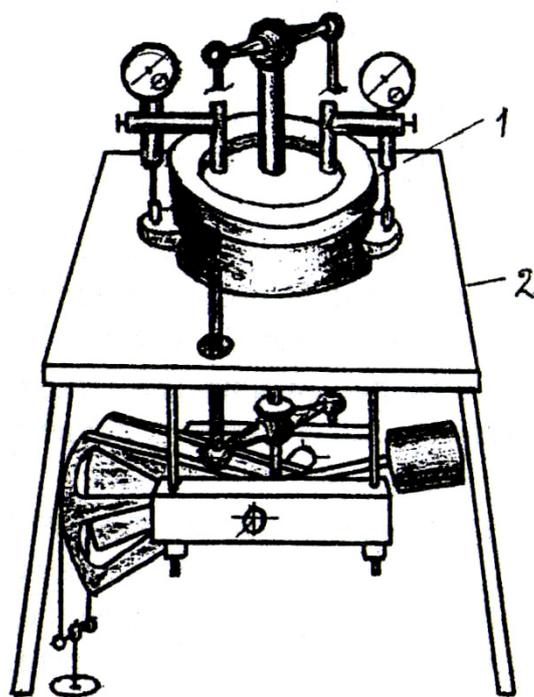


Рис. 9. Прибор К-1М

Прибор К-1М состоит из одометра 1 и пресса. Одометр (рис. 10) включает в себя: режущее кольцо 1, которое опирается на пористую пластину 2 и основание прибора 3. Основание имеет специальные ребра для того, чтобы пористая пластина не прогибалась при нагрузке на образец. В корпус (внешнюю обойму) 4 помещено направляющее кольцо 5, являющееся продолжением режущего кольца, и штамп 8, имеющий множество отверстий для выхода воды, две стойки 7 для крепления индикаторов и кольцевое углубление 6, через которое передается нагрузка от пресса. Сверху на внешнюю обойму прибора 4 навинчивается арретирное кольцо 9, ограничивающее, если это нужно, возможность набухания грунта.

В стенке основания имеются два отверстия: первое – у дна служит для выпуска воды, второе – непосредственно под пористой пластиной для выпуска воздуха.

На внешней обойме 4 закреплены упоры 10 для ножек индикаторов.

Пресс для передачи вертикальной нагрузки смонтирован на металлическом столе, который состоит из каркаса с четырьмя регулируемыми винтами и плиты.

Вертикальное давление на грунт передается рычажной системой, расположенной под столом и состоящей из рычажного устройства секторного типа, грузовой рамы, ползунов и подвески.

Вертикальные деформации фиксируются индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

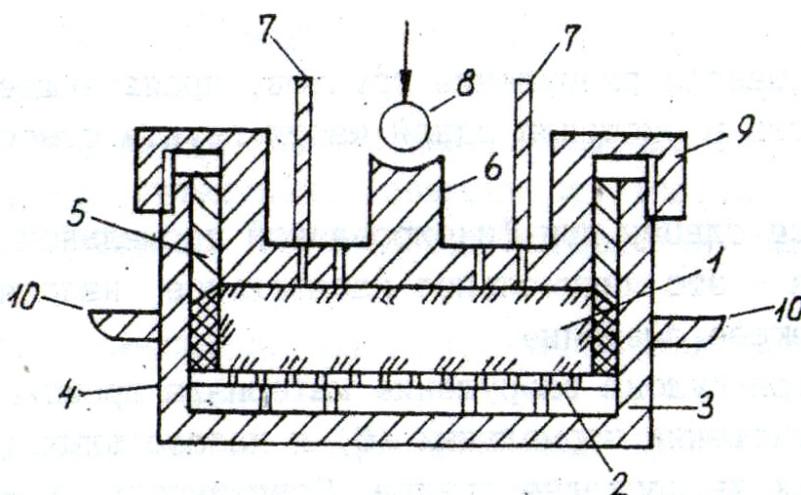


Рис. 10. Одометр

2. Прочностные свойства грунтов

Прочность грунтов характеризует их способность сопротивляться внешним усилиям вплоть до полного разрушения и определяется при критических (разрушающих) нагрузках.

Прочностные свойства определяются различными методами: при испытании на одноосное сжатие, на сдвиг и др. Наиболее распространенный метод – испытание на сдвиг.

Сдвигом называется разрушение грунтов, проявляющееся в нарушении их сплошности и смещении одной части грунта относительно другой.

Сопротивление сдвигу при фиксированной нормальной нагрузке к площадке сдвига – это минимальное касательное напряжение, вызывающее незатухающее смещение.

По теории Мора – Кулона разрушение материала происходит при

определенном соотношении нормальных σ и касательных τ напряжений, действующих на площадке сдвига. Зависимость $\tau = f(\sigma)$ имеет криволинейный характер, но обычно ее аппроксимируют прямой (рис. 11), так как ее кривизна в пределах большинства встречающихся при строительстве нагрузок незначительна.

Прямая описывается уравнением Кулона $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + C$, где C – удельное сопротивление – отрезок, который отсекает прямая на оси ординат; φ – угол наклона прямой к оси абсцисс, называемый углом внутреннего трения.

Для песчаных грунтов это выражение имеет вид: $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi$.

Сопротивление сдвигу грунта непостоянно. Для песчаных грунтов оно зависит от степени плотности их сложения, для глинистых – от плотности, влажности грунта, характера структурных связей и скорости сдвига.

Параметры сдвига: угол внутреннего трения и сцепление используются при расчете устойчивости оснований, оценке устойчивости склонов и откосов, расчете давления грунтов на подпорные стенки и т.д.

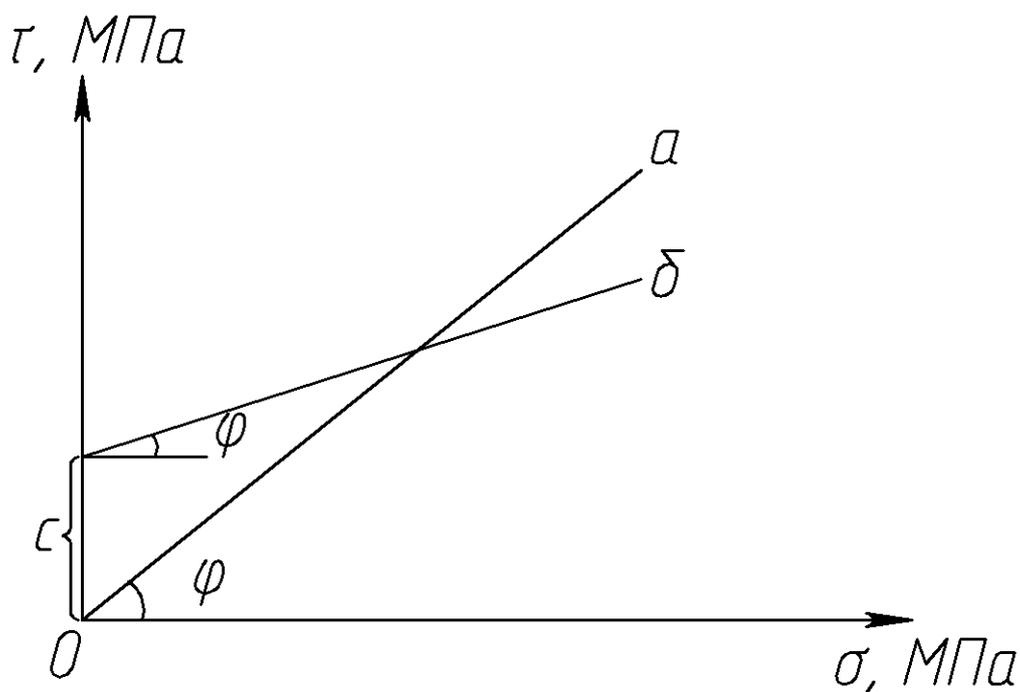


Рис. 11. Зависимость сопротивления сдвигу от вертикального давления

Схемы испытаний грунтов на сдвиг. Прочность на сдвиг одного и того же грунта существенно зависит от степени его консолидации (уплотнения грунта во времени под постоянной нагрузкой) и скорости сдвига.

Чаще всего применяются три схемы испытаний дисперсных грунтов на сдвиг:

а) неконсолидированный недренированный сдвиг, когда испытание проводится сразу же после приложения нормальной нагрузки, сдвиг ведется со скоростью 0,01 мм/мин и заканчивается через 15 – 40 мин после начала опыта;

б) консолидированный недренированный сдвиг, когда испытание начинается после завершения консолидации образца под взятой нормальной нагрузкой, после этого образец сдвигается со скоростью 0,01 мм/мин;

в) консолидированный дренированный сдвиг, когда образец полностью консолидируется, а затем медленно сдвигается в течение одного дня или нескольких.

Первые два испытания называются быстрыми сдвигами, а третий – медленным сдвигом.

При решении практических задач необходимо в каждом конкретном случае проводить испытание по методике, наиболее полно соответствующей работе грунта в основании сооружений.

Режим предварительного уплотнения и критерии стабилизации деформаций. При предварительном уплотнении образца грунта нагрузку прикладывают ступенями:

а) для глинистых грунтов, имеющих показатель текучести $0,7 < J_l < 1$ (0,01; 0,03 и 0,05 МПа) до требуемой суммарной величины.

б) для глинистых грунтов, имеющих показатель текучести $J_l < 0,75$ и песчаных грунтов по – 0,05 МПа до требуемой суммарной величины. Каждую нагрузку выдерживают для песчаных грунтов не менее 5 мин, для глинистых грунтов не менее 30 мин. Конечную ступень нагрузки выдерживают до условной стабилизации деформации сжатия образца, которая считается достигнутой, если деформация образца не превышает 0,01 мм за определенное время: для песчаных грун-

тов не менее 30 мин, для супесей не менее 3 ч, для суглинков и глин не менее 12 ч.

Величины уплотняющих напряжений, а также напряжений, при которых производится сдвиг, устанавливаются в каждом конкретном случае в зависимости от условий нагружения и работы массива грунта при строительстве и эксплуатации сооружений. Обычно для грунтов с показателем текучести $J_l < 0,5$ сдвиг производится при нормальном напряжении 0,1, 0,2, 0,3 МПа, а с показателем текучести $J_l > 0,5$ – при нормальном напряжении 0,05; 0,1; 0,15 МПа или меньшим. Согласно ГОСТ 12248-75 касательные напряжения передаются на грунт ступенями. Величина ступени не должна превышать 5 % значений нормальной нагрузки.

Оборудование. Среди сдвиговых приборов, используемых в нашей стране для изучения прочности на сдвиг, наиболее распространен прибор Маслова – Лурье в модификациях Гидропроекта (рис. 12).

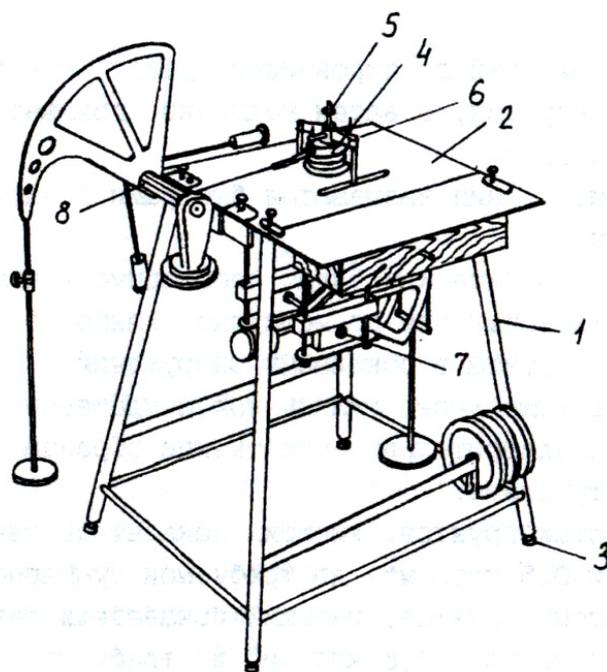


Рис. 12. Сдвиговой прибор Гидропроекта

Сдвиговой прибор Гидропроекта конструктивно оформлен в виде стола, состоящего из рамы 1, сваренной из труб, и панели 2 – стальной плиты с гнездами для крепления частей прибора. Горизонтальная

установка панели достигается вращением установных ножек 3 рамы. На столе в центре расположены срезыватель 4, держатели индикатора уплотнения 5 и индикатора среза 6. Индикаторы фиксируют вертикальные и горизонтальные деформации. Через отверстия в крышке стола проходит грузовая рама механизма уплотнения 7, расположенного под столом. Спереди стола находится механизм среза 8.

Срезыватель (рис. 13) состоит из верхнего 1 и нижнего 2 колец, верхней 3 и нижней 4 обойм, тягового цилиндра 6, штампов 5, 7, днища срезывателя 3, поддона 9. Винтом 11 днище срезывателя прикрепляется к панели стола 8. В нее вставляется нижнее кольцо. В верхнюю обойму вставляется верхнее кольцо с образцом грунта. Тяговый цилиндр в опущенном состоянии соединяет верхнюю обойму с нижней, а во время опыта (в поднятом состоянии) тянет верхнюю подвижную обойму. Тяговый цилиндр имеет ухо 12 для соединения с тросом механизма среза, упор для ножки индикатора 13, две шпильки с гайками 14 для приведения в поднятое состояние.

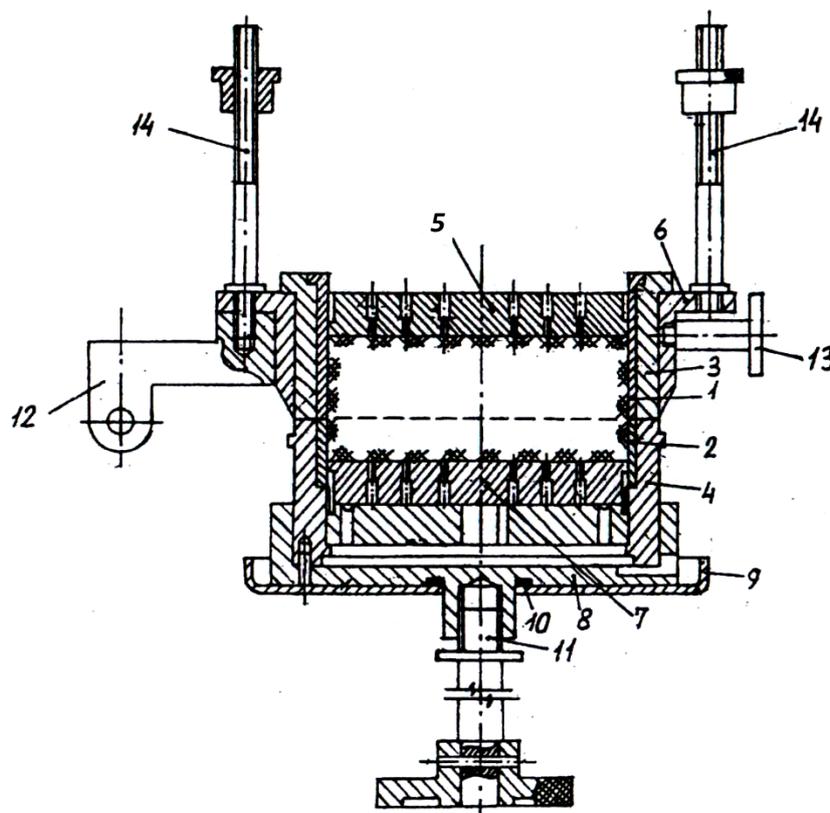


Рис. 13. Срезыватель

Штампы служат для передачи уплотняющей нагрузки на образец и имеют большое число отверстий для фильтрации воды из образца грунта.

Для передачи уплотняющей нагрузки на срезыватель служит штамп 7 – рычажный пресс секторного типа, который состоит из рычажного устройства, ползунов, грузовой рамы, поршня, подвески и грузов.

Грузовая рама образована двумя коромыслами и двумя тягами. В центре верхнего коромысла имеется винт, регулирующий положение штампа. В центре нижнего коромысла также имеется винт, которым регулируется положение рычажного устройства. Нижняя часть винта пальцем соединена с рычажным устройством. Рычажное устройство позволяет сократить количество грузов в 10 раз (кратность рычага 1:10) и уравнивается противовесом.

Для передачи сдвигающей нагрузки на срезыватель служит механизм среза. Он состоит из рычажного устройства, противовеса, тормоза, подвески, грузов. Рычажное устройство позволяет сократить количество грузов в десять раз, оно уравнивается противовесом. Рычажное устройство пальцем соединяется с ухом тягового цилиндра срезывателя. Тормоз служит для запирания рычажного устройства и ограничения его поворота.

Лабораторная работа № 8

КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ

Цель работы. Определение показателей сжимаемости глинистых грунтов при природной влажности, построение компрессионной кривой $e = f(P)$.

Оборудование и материалы. Компрессионный прибор К-1М (см. рис. 9), индикатор – 2 шт., секундомер, весы с разновесами, штангенциркуль, грунтовый нож, сушильный шкаф, образец грунта ненарушенной структуры.

Ход работы

1. Режущее кольцо прибора взвешивают с точностью до 0,1 г, измеряют его высоту и диаметр. Данные заносят в табл. 21.

2. Смазывают внутреннюю поверхность кольца техническим вазелином и из монолита грунта вырезают образец. При этом зазоры между грунтом и стенкой кольца не допускаются.

3. Предварительно очистив кольцо от приставших частиц, взвешивают кольцо с грунтом на весах с точностью до 0,1 г. Одновременно из монолита отбирают пробу на влажность. Результаты записывают в табл. 21.

4. Образец грунта в кольце покрывают с двух сторон влажными фильтрами (для предохранения образца от высыхания в процессе опыта).

5. Кольцо с грунтом вставляют в прибор режущей кромкой вверх и последовательно собирают прибор.

6. Одометр устанавливают в фиксатор на столе пресса. В углубление штампа кладут шарик, а на него – верхнюю перекладину, которая жестко соединяет нагрузочное устройство со штампом с помощью регулировочной гайки. Гайку подкручивают до тех пор, пока средний луч сектора механизма уплотнения не войдет в горизонтальное положение.

7. Устанавливают индикаторы на упоры так, чтобы держатели индикаторов не касались арретирного кольца. Прибор готов к проведению испытаний. Снимают начальный отсчет и записывают в табл. 21.

8. Грунты испытывают при давлениях 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 и 0,4 МПа. Каждую сообщаемую образцу нагрузку выдерживают до условной стабилизации. В учебных целях время это составляет 2 мин.

9. На подвеску кладут груз, соответствующий первой степени нагрузки, который составляет 3 кг (с учетом площади образца 60 см^2 и кратности рычага 1:10) и выдерживают до наступления условной стабилизации. Снимают показания индикаторов.

10. Прикладывают следующую степень нагрузки, снимают показания и т.д.

Обработка результатов

1. Вычисляют следующие характеристики: влажность грунта W , плотность ρ , плотность скелета грунта ρ_d , начальный коэффициент пористости e_0 по формулам (см. лабораторные работы 3, 4, 8, 9).

2. Для каждого значения давления рассчитывают среднее значение показателей индикаторов, величину абсолютной деформации грунта (при необходимости с учетом деформации прибора согласно тарировочной кривой), величину относительной деформации, коэффициент пористости. Данные записывают в табл. 21, 22.

3. По данным табл. 22 строят компрессионную кривую (см. рис. 8), т.е. кривую зависимости коэффициента пористости e от давления P .

4. Вычисляют коэффициент сжимаемости m_i , коэффициент относительной сжимаемости m_{vi} и модуль общей деформации E_{0i} в заданном диапазоне давлений P .

Результаты испытаний при компрессии

Дата

Грунт

Высота кольца $h = \dots\dots$ см

Диаметр кольца $d = \dots\dots$ см

Объем кольца $V = \dots\dots$ см³

Масса кольца $m_1 = \dots\dots$ г

Масса кольца с влажным грунтом $m_2 = \dots\dots$ г

Влажность $W = \dots\dots$ %

Плотность грунта $\rho \dots\dots$ г/см³

Начальный коэффициент пористости $e_0 = \dots\dots$

Таблица 21

Давление P , МПа	Показания индикаторов			Абсолютная деформация грунта $\Delta h = h_{cp}$
	n_1	n_2	$n_{cp} = \frac{n_1 + n_2}{2}$	
0				
0,05				
0,1				
0,2				
0,3				
0,4				

Таблица 22

Давление P , МПа	Относительная деформация грунта $\frac{\Delta h}{h}$	Коэффициент пори- стости $e_p = e_0 - \frac{\Delta h}{h_0} (1 + e_0)$
0		
0,05		
0,1		
0,2		
0,3		
0,4		

Коэффициент сжимаемости $m_i = \dots\dots \frac{1}{\text{МПа}}$

Коэффициент относительной сжимаемости $m_{vi} = \dots\dots \frac{1}{\text{МПа}}$

Модуль деформации $E_{0i} = \dots\dots \text{МПа}$

Выводы

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА СДВИГУ

Цель работы. Определение показателей сопротивления грунтов сдвигу.

Оборудование и материалы. Сдвиговой прибор Гидропроекта (см. рис. 12), весы с разновесами, почвенный нож, штангенциркуль, глинистый грунт ненарушенной структуры или песчаный грунт.

Ход работы

1. Подготовка образцов ненарушенной структуры

1. Вырезают грунт с помощью верхнего кольца прибора, предварительно намазанного вазелином для облегчения процесса вырезания. При этом зазоры между грунтом и стенкой кольца не допускаются.

2. Взвешивают кольцо с грунтом на весах для определения плотности грунта.

3. К поверхности образца прикладывают кружки влажной фильтровальной бумаги.

4. Заряжают прибор, для чего в собранный срезыватель помещают нижнее и верхнее кольца с образцом грунта. Накрывают образец верхним штампом и передавливают образец грунта в нижнее кольцо.

2. Подготовка образцов песка нарушенного сложения

1. Высыпают песок в фарфоровую чашку и доводят его до заданной влажности.

2. Помещают в собранный срезыватель нижнее кольцо, кружок влажного фильтра, верхнее кольцо. Измеряют штангенциркулем расстояние от верха верхнего кольца до нижнего штампа. Рассчитывают внутренний объем емкости, образованной кольцами и нижним штампом. Рассчитывают навеску песка с учетом заданной плотности и влажности, отделяют навеску в чашку.

3. Укладывают слой песка в 1 – 1,5 см, уплотняя ударами трамбовки. Эту операцию проделывают до тех пор, пока не уложат всю навеску.

4. При неполном заполнении срезывателя или при остатке песка отсоединяют нижнюю обойму срезывателя совместно с верхней и высыпают песок обратно в чашку. Затем повторяют укладку и уплотнение, изменив число ударов.

5. При полном заполнении срезывателя разравнивают поверхность песка, накрывают грунт влажным фильтром и верхним штампом.

3. Подготовка прибора к опыту и загрузка образца

1. Подводят грузовую раму к срезывателю и опускают ее поршнем на штамп. Надевают на шпильки тягового цилиндра гайки для создания зазора. Вставляют палец грузовой рамы механизма уплотнения. Вращая гайку натяжного винта, выводят средний луч рычажного сектора в горизонтальное положение.

2. При уплотнении образцов грунта устанавливают индикатор уплотнения.

3. Загружают механизм уплотнения ступенями. Вес груза на подвеске при заданной нагрузке вычисляют по формуле

$$Q = \frac{P \cdot F}{f},$$

где P – заданное давление, МПа; F – площадь поперечного сечения образца, 40 см^2 ; f – кратность рычага, равная 1:10.

4. После завершения уплотнения демонтируют индикатор уплотнения.

5. Устанавливают зазор между верхней и нижней обоймами срезователя. Для этого наворачивают гайки на шпильки тягового цилиндра и поднимают его. Зазор должен быть равен 1 мм.

6. Соединяют срезователь с механизмом среза, для этого вставляют палец механизма среза в ушко тягового цилиндра.

7. Устанавливают индикатор среза. Продвигают индикатор до тех пор, пока пружина индикатора не сожмется. Затягивают винт держателя индикатора. Прибор готов к проведению испытаний.

4. Проведение опыта

1. Проверяют положение тросов механизма уплотнения и среза. Тросы должны лежать в проточенных канавках секторов и валов.

2. Загружают механизм среза. Груз на подвеску кладут плавно, без удара. Одновременно включают секундомер. При достижении величины условной стабилизации деформации кладут следующий груз. Продолжают нагружение теми же ступенями до конца опыта. Величина ступени составляет не более 5 % величины груза на подвеске механизма уплотнения.

3. Подсчитывают нагрузку на подвеске механизма среза и записывают в табл. 23. Фиксируют время окончания опыта. Данные заносят в таблицу.

4. Сдвигающие (касательные) напряжения вычисляют по формуле

$$\tau = \frac{Q_i \cdot f_c}{F},$$

где Q_i – вес груза на подвеске механизма среза, Н; f_c – передаточное число рычага, равное 10; F – площадь образца, равная 40 см^2 .

Данные заносят в таблицу.

5. Разгружают прибор. Демонтируют индикатор среза. Снимают грузы с подвесок механизма уплотнения.

6. Разбирают прибор. Вынимают пальцы механизма среза и механизмы уплотнения. Свинчивают гайки со шпилек тягового цилиндра. Отводят грузовую раму и снимают верхнюю часть срезователя вместе с образцом грунта. Освобождают кольцо от грунта и подготавливают прибор к следующему опыту.

Обработка результатов

1. По результатам трех испытаний строят график зависимости касательных напряжений τ в мегапаскалях, от нормальных напряжений σ , мегапаскалях (см. рис. 11). Через полученные точки проводят среднюю прямую.

2. Показатели сдвига – угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c – определяют графоаналитическим способом. Прямую продолжают до пересечения ее с осью ординат. Отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, выражает величину удельного сцепления c в мегапаскалях. Тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс является тангенсом угла внутреннего трения, или коэффициентом внутреннего трения:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\tau_3 - \tau_1}{\sigma_3 - \sigma_1}.$$

Таблица 23

Уплотняющее давление P , МПа	Продолжительность уплотнения, ч	Вертикальные нагрузки при сдвиге		Горизонтальные нагрузки		Продолжительность сдвига, мин
		Вес груза на подвеске механизма уплотнения Q , Н	Нормальное напряжение σ , МПа	Вес груза на подвеске механизма среза Q , Н	Касательное напряжение τ , МПа	
0,1						
0,2						
0,3						

Показатель сдвига c – МПа, $\operatorname{tg} \varphi = \dots\dots\dots$

Выводы

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕДОСТАЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы. Определение недостающих показателей физико-механических свойств инженерно-геологических элементов (ИГЭ) расчетным путем по нижеприведенным формулам.

Исходные данные: 1) основные характеристики свойств грунтов каждого разведанного инженерно-геологического элемента (ИГЭ): плотность грунта ρ , плотность твердых частиц грунта ρ_s , природная влажность W , влажность на границе текучести W_l и на границе раскатывания W_p , модуль деформации E , угол внутреннего трения φ , удельное сцепление c и коэффициент фильтрации K_f ; 2) расчетные формулы для определения недостающих показателей физико-механических свойств грунтов.

Ход работы

1. Выполняют расчеты недостающих показателей (ИГЭ) по следующим формулам:

– плотность сухого грунта (скелета грунта), т/м^3 , г/см^3 ,

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W};$$

– коэффициент пористости, д.е.,

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d},$$

ρ_s – принимается по табл. 20;

– степень влажности, д.е.,

$$S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w},$$

где $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$, т/м^3 ;

– число пластичности

$$J_p = W_l - W_p;$$

– показатель текучести

$$J_l = \frac{W - W_p}{J_p};$$

– коэффициент относительной сжимаемости, 1/Мпа,

$$m_v = \frac{\beta}{E},$$

где β равно: пески – 0,76; суглинки – 0,57; супесь – 0,72; глины – 0,43;

– удельный вес грунта, кН/м³,

$$\gamma = \rho \cdot g;$$

– удельный вес твердых частиц грунта, кН/м³,

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g;$$

– удельный вес сухого грунта (скелета грунта), кН/м³,

$$\gamma_d = \rho_d \cdot g$$

– удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды, кН/м³,

$$\gamma_{sb} = (\rho_s - \rho_w) \cdot g / (1 + e_0),$$

$$\gamma_{sb} = (\gamma_s - \gamma_w) / (1 + e_0),$$

где g – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с² (часто принимают $g = 10$ м/с²).

2. Выполняют классификацию грунтов по табл. 3, 4, 5, 11, 12, 13.

3. Оценивают сжимаемость грунтов.

По сжимаемости грунты делятся на слабосжимаемые ($E > 20$ МПа, $m_v < 4 \cdot 10^{-5}$ 1/кПа); среднесжимаемые ($E = 5,0 - 20,0$ МПа, $m_v = (4 - 15) \cdot 10^{-5}$ 1/кПа); сильносжимаемые ($E < 5,0$ МПа, $m_v > 15 \times 10^{-5}$ 1/кПа).

ОБРАБОТКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Нормативные и расчетные значения физических и механических характеристик грунтов необходимы для проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений.

Эти значения характеристик устанавливают на основе статисти-

ческой обработки результатов частных испытаний грунтов (испытаний на небольших по размерам образцах грунтов, отобранных из скважин, обнажений или котлованов) (ГОСТ 20522-75).

Статистическую обработку производят для каждого инженерно-геологического элемента (ИГЭ), выделяемого в геологическом разрезе строительной площадки.

За ИГЭ принимают некоторый объем грунта одного и того же номенклатурного вида (ГОСТ 25100-96), однородный по составу, строению и физическому состоянию в случае, если характеристики грунта изменяются в пределах элемента незакономерно или существующая закономерность в изменении характеристик такова, что ею можно пренебречь.

Количество частных определений всех характеристик грунта для каждого выделенного ИГЭ должно быть не менее шести.

За нормативное значение всех характеристик грунта X_n (за исключением удельного сцепления и угла внутреннего трения) принимают среднеарифметическое значение результатов частных определений X :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

где X_i – частные значения характеристики; n – количество ее определений.

Для оценки изменчивости показателей свойств грунтов вычисляют среднее квадратичное отклонение σ и коэффициент вариации V по формулам

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x - x_i)^2}; \quad V = \frac{\sigma}{X}.$$

Расчетные значения характеристик грунтов определяют по формуле

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g},$$

где X_n – нормативное значение данной характеристики; γ_g – коэффициент надежности по грунту.

Коэффициент надежности по грунту γ_g для плотности грунта, удельного сцепления, угла внутреннего трения устанавливается в зависимости от изменчивости этих характеристик, числа определений и значения доверительной вероятности α .

$$\gamma_g = \frac{1}{1 \pm \rho},$$

где ρ – показатель точности оценки нормативного значения характеристики.

Для прочих характеристик грунта допускается принимать $\gamma_g = 1$.

Показатель точности оценки нормативного значения характеристики вычисляют используя метод доверительного интервала:

$$\rho = \frac{t\alpha V}{\sqrt{n}},$$

где $t\alpha$ - коэффициент, принимаемый по таблицам в зависимости от заданной односторонней доверительной вероятности α .

Доверительная вероятность α расчетных значений характеристик грунтов принимается при расчетах оснований по несущей способности $\alpha = 0,95$, по деформациям $\alpha = 0,85$.

При этом под доверительной вероятностью понимается вероятность того, что фактическое значение характеристики не выйдет за пределы нижней (или верхней) границы одностороннего доверительного интервала.

$$X_n (1 - \rho) < X < X_n \cdot (1 + \rho).$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1984. – 40 с.
2. *Дашков, Р. Э.* Грунтоведение / Р. Э. Дашков, А. А. Коган. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 388 с.
3. *Далматов, Б. И.* Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. – М. : Стройиздат, 1988. – 415 с.
4. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. В 2 т. – М. : Недра, 1984. Т. 1. – 408 с.
5. *Чаповский, Е. Г.* Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / Е. Г. Чаповский. – М. : Недра, 1975. – 303 с.
6. *Цытович, Н. А.* Механика грунтов / Н. А. Цытович. – М. : Высш. шк., 1983. – 288 с.
7. *Ухов, С. Б.* Механика грунтов, основания и фундаменты : учеб. пособие для строит. спец. вузов / С. Б. Ухов [и др.] ; под ред. С. Б. Ухова. – 3-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2004. – 556 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Общие положения.....	4
Методы определения гранулометрического состава грунтов.....	5
Лабораторная работа № 1. <i>Определение гранулометрического состава грунта ситовым методом без промывки водой.....</i>	12
Лабораторная работа № 2. <i>Определение гранулометрического состава грунта полевым методом Рутковского.....</i>	14
Физические свойства грунтов.....	17
Лабораторная работа № 3. <i>Определение плотности грунта методом режущих колец.....</i>	25
Лабораторная работа № 4. <i>Определение плотности грунта методом взвешивания в воде.....</i>	27
Лабораторная работа № 5. <i>Определение весовой влажности грунта.....</i>	28
Лабораторная работа № 6. <i>Определение пределов пластичности глинистого грунта.....</i>	29
Лабораторная работа № 7. <i>Определение водопроницаемости песчаного грунта с помощью прибора КФ-1.....</i>	31
Механические свойства грунтов.....	33
Лабораторная работа № 8. <i>Компрессионные испытания грунтов.....</i>	43
Лабораторная работа № 9. <i>Определение сопротивления грунта сдвигу.....</i>	46
Лабораторная работа № 10. <i>Определение недостающих показателей физико-механических свойств инженерно-геологических элементов.....</i>	50
Обработка показателей инженерно-геологических свойств грунтов.....	51
Библиографический список.....	54

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО КУРСУ «МЕХАНИКА ГРУНТОВ»

Составители

ДУБОВ Константин Алистархович
ЗАКРЕВСКАЯ Любовь Владимировна

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор Б.Г. Ким