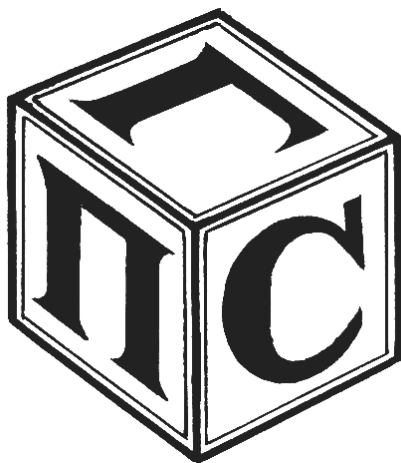


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальностей 6-05-0732-02
«Экспертиза и управление недвижимостью»
и 7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2026

УДК 624.15
ББК 38.7
М55

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»
«6» марта 2026 г., протокол № 9

Составитель ст. преподаватель О. М. Лобикова

Рецензент Н. В. Курочкин

Методические рекомендации предназначены для студентов специальностей 6-05-0732-02 «Экспертиза и управление недвижимостью» и 7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений» дневной и заочной форм обучения по дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменты». Методические рекомендации содержат справочные данные, методические указания, общие требования к порядку выполнения и оформления лабораторных работ.

Учебное издание

МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Ответственный за выпуск	С. В. Данилов
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2026

Содержание

Введение	4
1 Лабораторная работа № 1. Определение гранулометрического состава песчаных грунтов ситовым методом	5
2 Лабораторная работа № 2. Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы	11
3 Лабораторная работа № 3. Определение границы текучести и границы раскатывания глинистого грунта	14
4 Лабораторная работа № 4. Определение плотности грунта методом режущего кольца. Определение плотности сухого грунта расчетным методом	20
5 Лабораторная работа № 5. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом. Определение удельного веса частиц грунта ...	25
6 Лабораторная работа № 6. Определение угла естественного откоса сыпучих грунтов полевым методом	28
7 Лабораторная работа № 7. Определение вида грунта визуальным методом	33
8 Лабораторная работа № 8. Компрессионные испытания грунта	38
Список литературы	45

Введение

Методические рекомендации к лабораторным работам составлены в соответствии с учебно-программной документацией образовательных программ высшего образования: типовым учебным планом по специальности, учебным планом учреждения высшего образования по специальности, учебной программой учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменты», предусматривают выполнение лабораторных работ при изучении тем, позволяют получить необходимые знания и практические навыки по изучаемому курсу.

Целью изучения учебной дисциплины является формирование у студентов, обучающихся по специальностям 6-05-0732-02 «Экспертиза и управление недвижимостью» и 7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений» дневной и заочной форм обучения, знаний о законах механики грунтов, о свойствах грунтов, о распределении напряжений в массиве грунтов при различных воздействиях, о применении наиболее рациональных типов фундаментов и технологий их возведения в различных геологических и гидрогеологических условиях для обеспечения надежной, экономичной и долговременной эксплуатации оснований и фундаментов промышленных и гражданских зданий и сооружений.

Лабораторные работы по дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменты» направлены на закрепление знаний, полученных студентами при изучении теоретического курса.

Надежность оснований и фундаментов, удешевление работ по их устройству в значительной степени зависят от умения грамотно установить инженерно-геологические условия площадок строительства и свойства грунтов в основаниях, от рациональности выбранных типов фундаментов возводимых сооружений. Основной целью лабораторных работ является ознакомление студентов с методами определения физико-механических характеристик и свойств грунтов, необходимых для проектирования и строительства оснований и фундаментов.

Перед началом выполнения каждой работы студенты должны ознакомиться с ее основными положениями, подготовкой образцов к испытанию, порядком выполнения работы. После выполнения лабораторной работы необходимо произвести обработку результатов испытаний и сделать необходимые выводы. Все записи делаются в отчете (журнале лабораторных работ) четко и разборчиво. Работа выполняется бригадой в 4–6 человек. В конце каждого занятия студент оформляет индивидуальный отчет по работе.

Методики определений характеристик грунтов изложены по существующим ТНПА в виде инструктивных указаний, единицы измерения физических величин приведены в системе СИ.

Лабораторные работы по дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменты» выполняют студенты всех форм обучения по строительным специальностям.

1 Лабораторная работа № 1. Определение гранулометрического состава песчаных грунтов ситовым методом

Цель работы: определить гранулометрический (зерновой) состав песчаных грунтов ситовым методом, степень неоднородности грунтов и наименование грунтов. Определение проводится в соответствии с ГОСТ 12536–2014 *Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава* [1].

1.1 Гранулометрический (зерновой) состав песчаных грунтов

Нескальные грунты (крупнообломочные, глинистые и песчаные) состоят из частиц различной величины, формы и вещественного состава. Размер составных частей изменяется от тысячных долей миллиметра до нескольких метров.

Под *гранулометрическим* или *механическим составом грунта* понимается относительное содержание в нем частиц различной крупности по фракциям, выраженное в процентах по отношению к их общей массе.

Гранулометрический состав является одним из важных факторов, определяющих физические свойства грунта. От него зависят такие свойства, как пластичность, пористость, сопротивление сдвигу, сжимаемость, усадка, разбухание, водопроницаемость и др.

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 группа методов, основанных на использовании физических свойств суспензии (ареометрический, оптический и др.) или моделирующих 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.

Пипеточный метод используется для определения гранулометрического состава глинистых грунтов в комбинации с ситовым. Этот метод основан на разделении частиц грунта по скорости их падения в спокойной воде.

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

- различная скорость падения частиц в воде в зависимости от их размера;
- 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.

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.

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 и 0,5 мм; с промывкой водой – сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 мм (рисунок 1.1). Ситовой метод с промывкой водой обычно применяют для определения гранулометрического состава мелких и пылеватых песков.



Рисунок 1.1 – Набор сит для определения гранулометрического состава

Определение гранулометрического состава необходимо для решения ряда практических вопросов, важнейшими из которых являются: классификация грунтов по гранулометрическому составу; приближенное вычисление водопроницаемости рыхлых несвязных грунтов по эмпирическим формулам; оценка пригодности грунтов для использования их в качестве насыпей для дорог, дамб, земляных плотин; оценка возможных явлений суффозии в теле фильтрующих

плотин и их основаниях, в стенках котлованов, бортах выемок и т. д.; оценка рыхлых несвязных грунтов как строительного материала и главным образом как заполнителя при изготовлении бетона.

Гранулометрический (зерновой) состав грунтов следует определять методами, предусмотренными таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Методы определения гранулометрического состава грунтов

Наименование грунтов	Размер фракции грунта, мм	Состав грунта	Метод определения
Песчаные, при выделении зерен песка крупностью	От 10 до 0,5 мм	Гранулометрический (зерновой)	Ситовой без промывки водой
	От 10 до 0,1 мм		Ситовой с промывкой водой
Глинистые	Менее 0,1	Гранулометрический (зерновой)	Ареометрический
	Менее 0,1	Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный составы	Пипеточный. Применяется только для специальных целей, предусмотренных заданием

Порядок проведения лабораторной работы № 1

Для определения гранулометрического (зернового) состава песчаных грунтов ситовым методом необходимы следующие приборы и оборудование:

- набор сит (с поддоном);
- сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 мм;
- весы лабораторные по ГОСТ 24104;
- весы технические с относительной погрешностью взвешивания не более 0,1 %;
- ступка фарфоровая по ГОСТ 9147;
- пестик по ГОСТ 9147 с резиновым наконечником;
- чашка фарфоровая по ГОСТ 9147;
- груша резиновая;
- кисточка;
- песчаная баня;
- шкаф сушильный.

Подготовка к испытанию.

Для разделения грунта на фракции ситовым методом без промывки водой применяют сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1 и 0,5 мм; с промывкой водой – сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 мм.

Сита монтируют в колонку, размещая их от поддона в порядке увеличения размера отверстий. На верхнее сито надевают крышку.

Среднюю пробу для анализа следует отбирать методом квартования. Для этого распределяют грунт тонким слоем по листу плотной бумаги или фанеры,

проводят ножом в продольном и поперечном направлениях борозды, разделяя поверхность грунта на квадраты, и отбирают понемногу грунт из каждого квадрата.

Вес средней пробы должен составлять:

- для грунтов, не содержащих частиц размером более 2 мм, – 100 г;
- для грунтов, содержащих до 10 % (по весу) частиц размером более 2 мм, – не менее 500 г;
- для грунтов, содержащих от 10 % до 30 % частиц размером более 2 мм, – 1000 г;
- для грунтов, содержащих свыше 30 % частиц размером более 2 мм, – не менее 2000 г.

Порядок проведения работы.

1 Среднюю пробу грунта надлежит отобрать в воздушно-сухом состоянии методом квартования и взвесить на технических весах.

2 Взвешенную пробу грунта следует просеять сквозь набор сит с поддоном ручным или механизированным способом.

Фракции грунта, задержавшиеся на ситах, высыпают, начиная с верхнего сита, в ступку и дополнительно растирают пестиком с резиновым наконечником, после чего вновь просеивают на этих же ситах. Полноту просеивания фракций грунта проверяют встряхиванием каждого сита над листом бумаги. Если при этом на лист выпадают частицы, то их высыпают на следующее сито; просев продолжают до тех пор, пока на бумагу перестанут выпадать частицы.

3 Фракции грунта, задержавшиеся после просеивания на каждом сите и прошедшие в поддон, следует взвесить, сложить веса всех фракций грунта. Если полученная сумма веса всех фракций грунта превышает более чем на 1 % вес взятой для анализа пробы, то анализ следует повторить. Потерю грунта при просеивании разносят по всем фракциям пропорционально их весу.

Обработка результатов.

1 Содержание в грунте каждой фракции A , %, надлежит вычислять по формуле

$$A_i = \frac{g_{\phi}}{g_i} \cdot 100 \%, \quad (1.1)$$

где g_{ϕ} – вес данной фракции грунта, г;

g_i – вес средней пробы грунта, взятой для анализа, г.

2 Результаты анализа регистрируют в журнале (таблица 1.2), в котором указывают процентное содержание в грунте фракций.

3 По полученным данным строят суммарную кривую гранулометрического состава.

Для этих данных кривая имеет вид, показанный на рисунке 1.2. Суммарная кривая гранулометрического состава строится в полулогарифмической системе координат (рисунок 1.3).

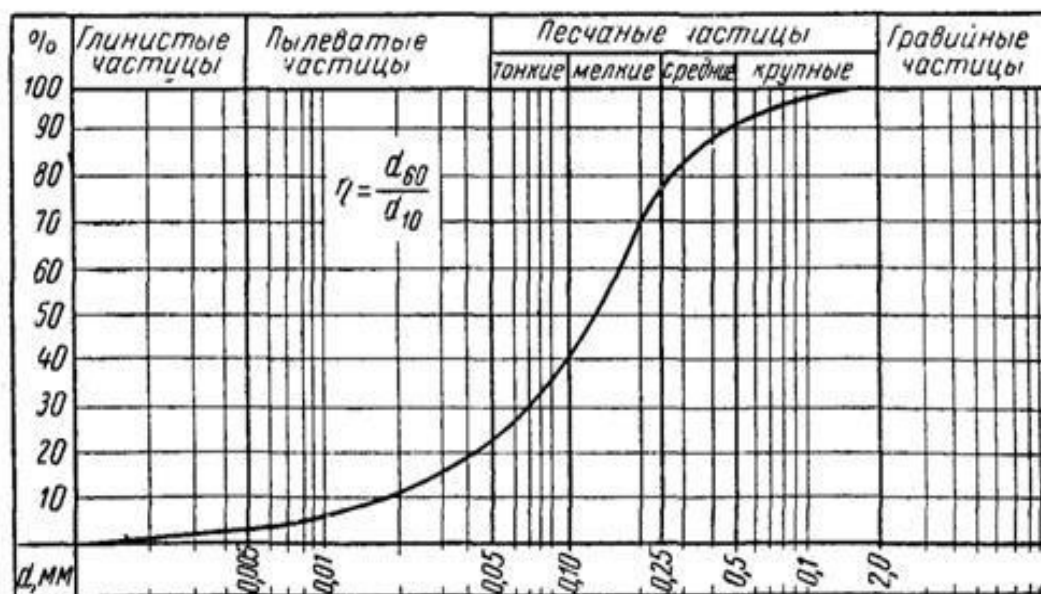


Рисунок 1.2 – Суммарная кривая гранулометрического состава

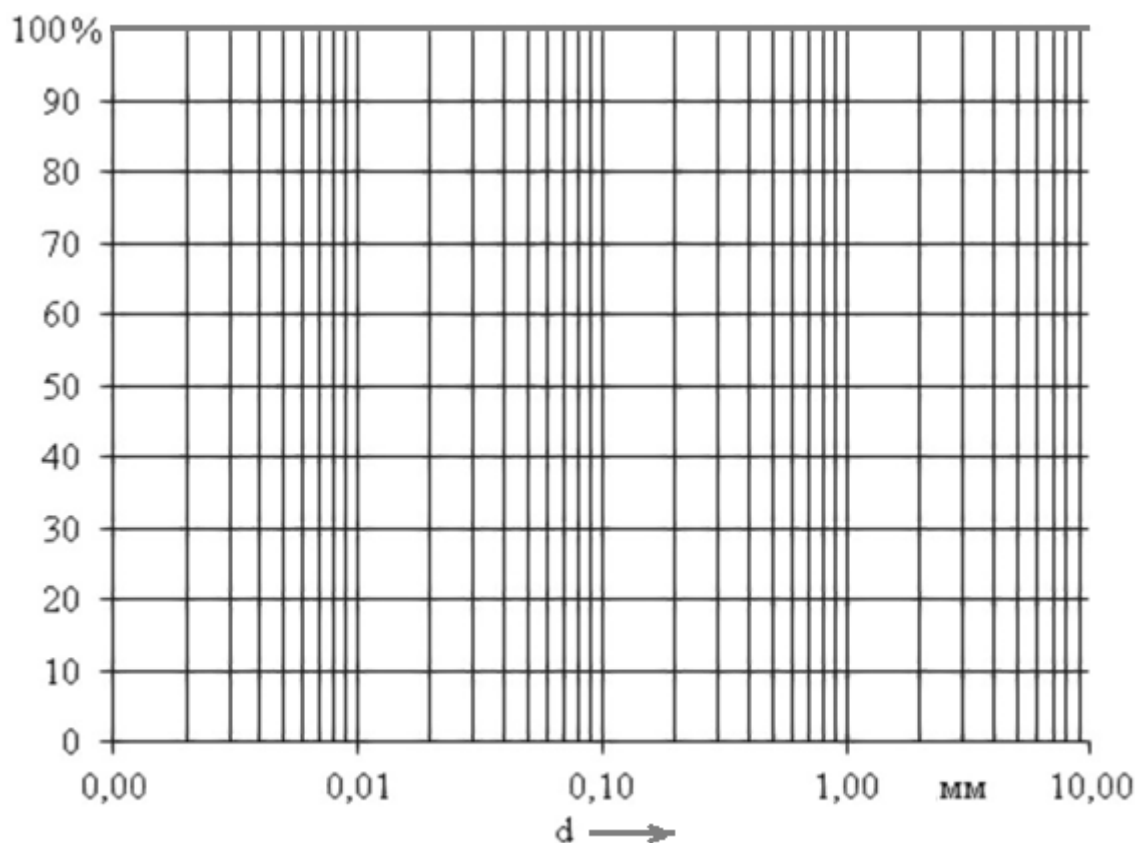


Рисунок 1.3 – Построение суммарной кривой гранулометрического состава

По кривой гранулометрического состава находят степень неоднородности U_{\max} по формуле [1, 2]

$$U_{\max} = d_{50} \frac{d_{95}}{d_5}, \quad (1.2)$$

где d_{95} , d_{50} , d_5 – диаметр частиц, мм, меньше которого в данном грунте содержится по массе соответственно 95 %, 50 % и 5 % частиц.

Таблица 1.2 – Результаты определения гранулометрического состава грунта

Показатель	Фракции грунта, мм				
	>2,0	2,0...0,5	0,5...0,25	0,25...0,1	< 0,1
Масса пробы грунта g_{ϕ} , г					
Масса фракции грунта g_i , г					
Содержание фракции A_i , %					
$\sum A_i$, %					

Песчаный грунт по показателю максимальной неоднородности подразделяют на:

- однородный ($U_{\max} < 4$);
- среднеоднородный ($4 \leq U_{\max} \leq 20$);
- неоднородный ($20 < U_{\max} \leq 40$);
- повышенной неоднородности ($U_{\max} > 40$).

Определяем d_{95} , d_{50} , d_5 , U_{\max} : $d_{95} = \dots$, $d_{50} = \dots$, $d_5 = \dots$, $U_{\max} = \dots$, следовательно грунт

4 Используя данные гранулометрического анализа, определяем наименование вида грунта по крупности, по первому удовлетворяющему показателю их расположения [1]:

- гравелистый – масса частиц крупнее 2 мм, более 25 %;
- крупный – масса частиц крупнее 0,5 мм, более 50 %;
- средней крупности – масса частиц крупнее 0,25 мм, более 50 %;
- мелкий – масса частиц крупнее 0,1 мм, более 75 %;
- пылеватый – масса частиц крупнее 0,1 мм, менее 75 %.

5 Во время лабораторной работы студенты определяют наименование двух образцов и заносят результаты исследования в журнал лабораторных работ (см. таблицу 1.2).

6 Формулируются выводы по работе.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Для чего проводят определение гранулометрического состава?
- 2 От чего зависит вес пробы, взятой для определения гранулометрического состава?
- 3 Как подразделяется песчаный грунт по показателю максимальной неоднородности?
- 4 Что такое гранулометрический состав?
- 5 Какие существуют методы определения гранулометрического состава?
- 6 Что такое прямые и косвенные методы определения гранулометрического состава?

- 7 Как проводят определение гранулометрического состава ситовым методом?
- 8 Как зависит метод определения гранулометрического состава от типа грунта?
- 9 Как подразделяется грунт по крупности?
- 10 Для каких грунтов используют ситовый метод?
- 11 На измерении каких параметров основан ареометрический метод?

2 Лабораторная работа № 2. Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы

Цель работы: определить влажность грунта стандартным методом по ГОСТ 5180–2015 *Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик* [3].

2.1 Влажность грунта

Под влажностью грунта понимают процентное содержание в образце грунта воды. Различают *весовую* и *объемную влажность*.

Весовой влажностью грунта W называют отношение веса воды, содержащейся в грунте, к весу грунта, высушенного при температуре 100 °С...105 °С до постоянного веса, выраженное в процентах.

Под *объемной влажностью* понимают отношение объема воды, заключенной в породе, к объему всей породы, выраженное в процентах.

Естественной влажностью грунта называют количество воды, содержащейся в порах грунта в естественных условиях его залегания. Величина естественной влажности является важной характеристикой физического состояния породы, определяющей прочность породы и поведение ее под сооружением. Особое значение влажность имеет для глинистых грунтов, резко меняющих свои свойства в зависимости от степени увлажнения.

Естественная влажность является важным косвенным показателем, необходимым для вычисления объемного веса грунта, пористости, степени влажности и др.

В настоящее время разработано несколько методов определения влажности. Из них наибольшее распространение получил весовой метод, ставший стандартным. Этим методом выполняются исследования грунтов для различных видов строительства на всех стадиях изысканий (кроме рекогносцировочных обследований), за исключением тех случаев, когда грунты содержат значительное количество растительных остатков.

Также влажность грунтов определяется обжигом проб грунтов и радиометрическим способом.

Обжиг грунта применяется, когда требуется срочно определить влажность. Пробу грунта помещают в фарфоровую чашечку, заливают спиртом, который за-

тем выжигают. По разности веса влажного и сухого грунта вычисляют влажность. Этот способ нельзя применять для грунтов, содержащих более 5 % органических остатков.

При радиометрическом способе влажность грунтов определяется по графику связи между влажностью и количеством импульсов, попавших в регистрирующий прибор. Измерения производят с помощью приборов типа НИВ (нейтронный измеритель влажности). Источником нейтронов служат плутоний + бериллий.

Кроме стандартного лабораторного способа, влажность грунта можно измерить с помощью специального устройства – влагомера (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Влагомер

Влагомер имеет рабочий щуп, который втыкается в землю, а результат измерения показывается на экране электронного устройства.

Порядок проведения лабораторной работы № 2

Для определения влажности необходимы следующие приборы и оборудование:

- весы лабораторные по ГОСТ 24104;
- стаканчики (бюксы) алюминиевые по ГОСТ 25336;
- сушильный шкаф;
- эксикатор с хлористым кальцием;
- шпатели металлические по ГОСТ 10778;
- тигельные щипцы.

Подготовка к испытанию.

Пробу грунта для определения влажности отбирают массой 15...50 г, помещают в заранее высушенный, взвешенный и пронумерованный стаканчик и плотно закрывают крышкой.

Пробы грунта для определения гигроскопической влажности грунта массой 10...20 г отбирают способом квартования из грунта в воздушно-сухом состоянии растертого, просеянного сквозь сито с сеткой № 1 и выдержанного открытым не менее 2 ч при данной температуре и влажности воздуха.

Проведение испытаний.

1 Пробу грунта в закрытом стаканчике взвешивают.

2 Стаканчик открывают и вместе с крышкой помещают в нагретый сушильный шкаф. Грунт высушивают до постоянной массы при температуре $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Загипсованные грунты высушивают при температуре $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

3 Песчаные грунты высушивают в течение 3 ч, а остальные – в течение 5 ч. Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1 ч, остальных – в течение 2 ч.

4 Загипсованные грунты высушивают в течение 8 ч. Последующие высушивания производят в течение 2 ч.

5 После каждого высушивания грунт в стаканчике охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием до температуры помещения и взвешивают.

Высушивание производят до получения разности масс грунта со стаканчиком при двух последующих взвешиваниях не более 0,02 г.

6 Если при повторном взвешивании грунта, содержащего органические вещества, наблюдается увеличение массы, то за результат взвешивания принимают наименьшую массу.

Обработка результатов.

1 Влажность грунта определяется по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \cdot 100 \%, \quad (2.1)$$

где m_1 – масса влажного грунта с бюксой, г;

m_0 – масса высушенного грунта с бюксой, г;

m – масса пустой бюксы, г.

Допускается выражать влажность в долях единицы.

2 Результаты испытаний записываются в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты определения влажности грунта

Номер стаканчика	Масса пустой бюксы m , г	Масса бюксы с влажным грунтом m_1 , г	Масса бюксы с сухим грунтом m_0 , г	Масса воды $m_1 - m_0$, г	Масса сухого грунта $m_0 - m$, г	Влажность грунта W , %	Средняя влажность W_{cp} , %

3 Формулируются выводы по работе.

Вопросы для самоконтроля

1 Что называется влажностью грунта?

2 Какое количество грунта берется для анализа?

3 Какой температурный режим сушки должен быть обеспечен?

4 Какая продолжительность сушки грунта?

- 5 Как определить влажность грунта?
- 6 Какими методами определяется влажность грунта?
- 7 Для чего определяется влажность грунта?
- 8 Как влияет на определение влажности наличие органических остатков?
- 9 На какие параметры грунта влияет влажность?

3 Лабораторная работа № 3. Определение границы текучести и границы раскатывания глинистого грунта

Цель работы: определить влажность на границе раскатывания и влажность на границе текучести по ГОСТ 5180–2015 *Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик* [3]. Определить тип грунта по числу пластичности и разновидность по показателю текучести.

3.1 Характерные влажности глинистого грунта

Влажностью грунта называют отношение веса воды, содержащейся в грунте, к весу сухих грунтовых частиц (скелета грунта) в том же объеме.

Влажность глинистых грунтов является важной характеристикой физического состояния грунтов. Она определяет их прочность и поведение под воздействием нагрузок.

В зависимости от степени увлажнения связные (глинистые) грунты могут находиться в твердом, пластичном или текучем состоянии. Влажности, соответствующие переходу грунта из одного состояния в другое, называют *характерными влажностями*. Наибольшее значение имеет определение влажности, соответствующее переходу грунта из твердого состояния в пластичное и из пластичного в текучее.

Пластичностью грунта называют способность его деформироваться под действием внешнего давления без разрыва сплошности массы и сохранять полученную форму после прекращения деформирующего усилия.

Переход грунта из твердой консистенции в пластичную или из пластичной в текучую происходит довольно резко при определенных, так называемых критических характерных влажностях, которые используются в качестве наиболее важных характеристик грунта.

Для установления способности грунта принимать пластическое состояние производят определение влажностей, характеризующих границы пластичного состояния грунта – текучести и раскатывания.

Граница текучести W_L характеризует влажность, при которой грунт из пластичного состояния переходит в полужидкое состояние – текучее. В этом случае сцепление между частицами становится незначительным и грунт теряет свою устойчивость.

Граница раскатывания W_P соответствует влажности, при которой грунт находится на границе перехода из пластичного состояния в твердое.

Разность между границей текучести и границей раскатывания грунта называется *числом пластичности*. Чем больше число пластичности, тем больше интервал влажности, в пределах которого грунт обладает пластичной консистенцией.

По числу пластичности определяют тип глинистых грунтов. Число пластичности связано с содержанием в грунтах тонкодисперсных фракций и характером глинистых частиц, входящих в состав грунта; по его величине можно судить о физико-механических свойствах грунта.

Порядок проведения лабораторной работы № 3

Для определения характерных влажностей необходимы следующие приборы и оборудование:

- весы лабораторные по ГОСТ 24104;
- металлические или стеклянные бюксы по ГОСТ 25336;
- сушильный шкаф;
- эксикатор с хлористым кальцием;
- шпатели металлические по ГОСТ 10778;
- тигельные щипцы;
- баланси́рный конус Васильева с цилиндрической чашкой;
- ступка с пестиком по ГОСТ 9147;
- сито с отверстием 1 мм по действующей нормативной документации;
- секундомер;
- вазелин;
- мелкая терка;
- стеклянная или пластмассовая пластинка.

Определение границы текучести.

Границу текучести следует определять как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой баланси́рный конус погружается под действием собственного веса за 5 с на глубину 10 мм.

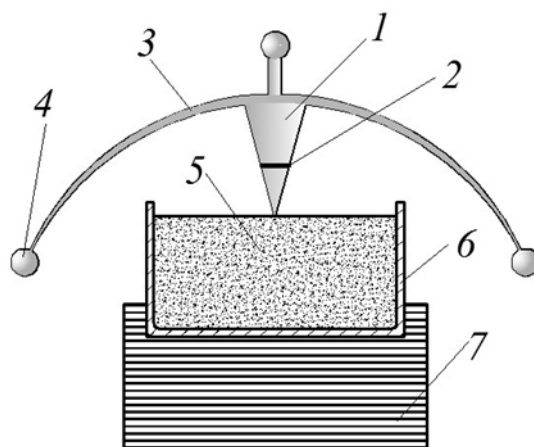
Баланси́рный конус представляет собой металлический пенетрационный конус (угол при вершине 30°) с двумя противовесами, жестко закрепленными на нем так, что центр тяжести устройства в рабочем положении опущен ниже вершины конуса для устойчивости при измерениях. Конус имеет кольцевую риску 10 мм от вершины и общую массу ($76 \pm 0,2$) г, комплектуется чашкой для грунтовой пасты и подставкой (рисунок 3.1).

Подготовка к испытанию.

1 Для определения границы текучести используют монолиты или образцы нарушенного сложения, для которых требуется сохранение природной влажности. Для грунтов, содержащих органические вещества, границу текучести определяют сразу после вскрытия образца. Для грунтов, не содержащих органических веществ, допускается использование образцов грунтов в воздушно-сухом состоянии.

2 Образец грунта природной влажности разминают шпателем в фарфоровой

чашке или нарезают ножом в виде тонкой стружки (с добавкой дистиллированной воды, если это требуется), удалив из него растительные остатки крупнее 1 мм. Из размельченного грунта методом квартования отбирают пробу массой около 300 г и протирают сквозь сито с сеткой № 1.



1 – конус с углом при вершине 30°; 2 – круговая метка; 3 – ручка; 4 – груз; 5 – стальной прут; 6 – цилиндрическая чашка; 7 – подставка

Рисунок 3.1 – Балансирный конус Васильева

Пробу выдерживают в закрытом стеклянном сосуде не менее 2 ч. Для тяжелых суглинков и глин время выдержки увеличивают до 6 ч.

3 Образец грунта в воздушно-сухом состоянии растирают в фарфоровой ступке или в растирочной машине, не допуская дробления частиц грунта и одновременно удаляя из него растительные остатки крупнее 1 мм, просеивают сквозь сито с сеткой № 1, увлажняют дистиллированной водой до состояния густой пасты, перемешивая шпателем, и выдерживают в закрытом стеклянном сосуде.

4 Для удаления избытка влаги из образцов ила производят обжатие грунтовой пасты, помещенной в хлопчатобумажную ткань между листами фильтровальной бумаги, под давлением (пресс, груз). Грунтовую пасту из ила не допускается выдерживать в закрытом стеклянном сосуде.

5 Добавлять сухой грунт в грунтовую пасту не допускается.

Проведение испытаний.

1 Подготовленную грунтовую пасту тщательно перемешивают шпателем и небольшими порциями плотно (без воздушных полостей) укладывают в цилиндрическую чашку к балансирному конусу. Поверхность пасты заглаживают шпателем вровень с краями чашки.

2 Балансирный конус (см. рисунок 3.1), смазанный тонким слоем вазелина, подводят к поверхности грунтовой пасты так, чтобы его острие касалось пасты. Затем плавно отпускают конус, позволяя ему погружаться в пасту под действием собственного веса.

3 Погружение конуса в пасту в течение 5 с на глубину 10 мм показывает, что грунт имеет влажность, соответствующую границе текучести.

4 При погружении конуса в течение 5 с на глубину менее 10 мм, грунтовую пасту извлекают из чашки, присоединяют к оставшейся пасте, добавляют немного дистиллированной воды, тщательно перемешивают и повторяют операции, указанные в пп. 1–3.

5 При погружении конуса за 5 с на глубину более 10 мм грунтовую пасту из чашки перекладывают в фарфоровую чашку, слегка подсушивают, непрерывно перемешивая шпателем, и повторяют операции, указанные в пп. 1–3.

6 По достижении границы текучести из грунтовой пасты отбирают пробу массой не менее 15 г и определяют влажность ее по методике лабораторной работы № 2.

7 Данные, полученные при определении влажности на границе текучести, заносят в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Определение влажности на границе текучести

Номер стаканчика	Масса пустой бюксы m , г	Масса бюксы с влажным грунтом m_1 , г	Масса бюксы с сухим грунтом m_0 , г	Масса воды $m_1 - m_0$, г	Масса сухого грунта $m_0 - m$, г	Влажность грунта на границе текучести W_L , %	Средняя влажность W_{Lcp} , %

Определение границы раскатывания.

Границу раскатывания (пластичности) определяют как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой паста, раскатываемая в жгут диаметром 3 мм, начинает распадаться на кусочки длиной 3...10 мм.

Подготовка к испытанию.

Подготовку грунта производят так же, как и для определения границы текучести.

Проведение испытаний.

1 Подготовленную грунтовую пасту тщательно перемешивают, берут небольшой кусочек и раскатывают ладонью на стеклянной или пластмассовой пластинке до образования жгута диаметром 3 мм. Если при этой толщине жгут сохраняет связность и пластичность, его собирают в комок и вновь раскатывают до образования жгута диаметром 3 мм. Раскатывать следует, слегка нажимая на жгут, длина жгута не должна превышать ширины ладони. Раскатывание продолжают до тех пор, пока жгут не начинает распадаться по поперечным трещинам на кусочки длиной 3...10 мм.

2 Кусочки распадающегося жгута собирают в стаканчики, накрываемые крышками. Когда масса грунта в стаканчиках достигнет 10...15 г, определяют влажность в соответствии с порядком, рассмотренным в лабораторной работе № 2.

3 Данные, полученные при определении влажности на границе раскатывания, заносят в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Определение влажности на границе раскатывания

Номер стаканчика	Масса пустой бюксы m , г	Масса бюксы с влажным грунтом m_1 , г	Масса бюксы с сухим грунтом m_0 , г	Масса воды $m_1 - m_0$, г	Масса сухого грунта $m_0 - m$, г	Влажность грунта на границе раскатывания W_p , %	Средняя влажность $W_{p,ср}$, %

Обработка результатов.

1 Влажность грунта определяется по формуле (2.1).

2 После определения влажности на границе текучести и границе раскатывания находят число пластичности I_p в соответствии с [1, 3] по формуле

$$I_p = W_L - W_p. \quad (3.1)$$

3 Тип пылевато-глинистых грунтов устанавливают по числу пластичности (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Разновидности пылевато-глинистых грунтов по числу пластичности I_p

Тип пылевато-глинистых грунтов	Число пластичности
Супесь	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$

4 Разновидность по консистенции определяют по заданным границам текучести, раскатывания и природной влажности по формуле

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}. \quad (3.2)$$

Значение W определяют по данным лабораторной работы № 2.

Согласно [1], глинистые грунты подразделяют по показателю текучести I_L (консистенции) (таблица 3.4).

5 По результатам вычислений определяют наименование глинистого грунта и его консистенцию.

6 Формулируют выводы по работе.

Таблица 3.4 – Разновидности пылевато-глинистых грунтов по показателю текучести [1]

Вид пылевато-глинистого грунта	Разновидность пылевато-глинистого грунта по показателю текучести	Показатель текучести
Супесь	Твердая	$I_L < 0$
	Пластичная	$0 \leq I_L \leq 1$
	Текучая	$I_L > 1$
Суглинок и глина	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	$0,75 < I_L \leq 1$
	Текучие	$I_L > 1$

Вопросы для самоконтроля

- 1 Как должен подготавливаться грунт к проведению анализа?
- 2 Что характеризует граница текучести?
- 3 Какую консистенцию должна иметь грунтовая паста при раскатывании в жгут?
- 4 Как определить влажность грунта, соответствующую границе раскатывания?
- 5 Какое количество грунта должно быть помещено в бюксе для определения влажности границы раскатывания?
- 6 Как определить тип пылевато-глинистого грунта?
- 7 Что такое характерные влажности?
- 8 Что такое число пластичности и для чего оно определяется?
- 9 Для чего определяется показатель текучести?
- 10 Что такое пластичность?
- 11 Что характеризует граница раскатывания?
- 12 Как определить влажность грунта, соответствующую границе текучести?

4 Лабораторная работа № 4. Определение плотности грунта методом режущего кольца. Определение плотности сухого грунта расчетным методом

Цель работы: определить плотность грунта методом режущего кольца, а также рассчитать плотность сухого грунта в соответствии с ГОСТ 5180–2015 *Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик* [3].

4.1 Плотность грунта

Плотность определяется отношением массы вещества к занимаемому им объёму. В инженерной геологии для характеристики плотности грунтов используют несколько показателей: плотность твёрдых частиц грунта ρ_s , плотность грунта ρ , плотность скелета грунта ρ_d . Единицами измерения показателей плотности являются кг/м^3 или г/см^3 .

Под *плотностью твёрдых частиц* ρ_s (твёрдого компонента, твёрдой фазы) грунта понимается средняя плотность минералов, органических и органоминеральных веществ, составляющих грунт. Численно она равна отношению массы твёрдых частиц грунта к их объёму, т. е. массе единицы объёма твёрдого компонента грунта.

Плотность твёрдого компонента грунта зависит от его минерального состава и содержания органического вещества. С увеличением содержания тяжёлых элементов этот показатель повышается, а присутствие органических веществ резко снижает его величину.

Плотность твёрдых частиц отдельных типов дисперсных грунтов является величиной достаточно постоянной, поэтому в расчётах часто используют её средние значения: для песков – $2,66 \text{ г/см}^3$; супесей – $2,70 \text{ г/см}^3$; суглинков – $2,71 \text{ г/см}^3$; глин – $2,74 \text{ г/см}^3$.

Плотность грунта ρ (или плотность влажного грунта, объёмная масса грунта) – масса единицы объёма грунта с естественной влажностью и природным (ненарушенным) сложением.

Величина плотности грунта зависит от минерального состава, влажности и характера сложения (пористости) грунтов. С повышением содержания тяжёлых минералов она увеличивается, а при повышении содержания органических веществ уменьшается. С увеличением влажности плотность возрастает; максимальной при данной пористости она будет в случае полного заполнения пор водой. С увеличением пористости плотность грунта уменьшается. Плотность дисперсных грунтов колеблется обычно от $1,30$ до $2,20 \text{ г/см}^3$.

Грунты, характеризующиеся наличием жёстких кристаллизационных и цементационных связей между частицами, обладают большей плотностью, которая при малой пористости приближается к значению плотности твёрдых частиц.

Плотность скелета грунта ρ_d – масса твёрдого компонента (скелета или «сухого» грунта) в единице объёма грунта при естественной (ненарушенной)

структуре. Этот показатель зависит от минерального состава и сложения (пористости) грунта. Чем ниже пористость и выше содержание тяжёлых минералов в грунте, тем выше плотность его скелета. В дисперсных грунтах, не содержащих значительных примесей органических веществ, плотность скелета грунта практически зависит только от характера его сложения.

Для большинства грунтов, кроме расплывающихся и сыпучих, используют самый простой способ определения плотности – метод режущего кольца.

Для грунтов с повышенной сыпучестью или имеющих каменистые включения используют так называемый метод «шурфиков». Он применяется во всех случаях, когда режущим кольцом снять пробу не представляется возможным. В месте определения плотности грунта следует вырыть небольшой шурф. Выбранный грунт собирают в тару и взвешивают. Над шурфиком устанавливают жестяной конус с мерным сосудом. Далее засыпают шурфик и конус сухим песком и определяют объем шурфика. Недостаток способа – невысокая точность.

Самые распространенные на сегодняшний день экспресс-методы определения плотности грунтов оснований на строительных объектах – *пенетрационные*. Они основаны на силе реакционного сопротивления грунта при погружении рабочего наконечника плотномера под статической или динамической нагрузкой.

При использовании метода пенетрации осуществляют забивание в грунт специального стержня (штампа) при помощи механического молота. При этом считают число ударов, необходимых для углубления стержня на глубину 10 см. Плотность грунта определяют по специальной таблице, отражающей зависимость между количеством ударов, затраченных на погружения штампа, и характеристиками грунта.

Радиометрический метод определения плотности грунта основан на способности грунтов поглощать или рассеивать радиоактивное излучение. Чем плотнее грунт, тем больше он поглощает и рассеивает излучение.

В некоторых случаях для определения плотности грунтов с ненарушенной структурой используют *метод гидростатического взвешивания*.

Плотность используется как прямой расчетный показатель при вычислении бытового давления, давления на подпорную стенку, при расчете устойчивости оползневых склонов и откосов, осадки зданий и сооружений, распределения напряжений в грунтах основания под фундаментами, при определении объема земляных работ и др.

Порядок проведения лабораторной работы № 4

Для определения плотности грунта методом режущего кольца необходимы следующие приборы и оборудование:

- кольцо-пробоотборник;
- кольцо-насадка;
- лабораторные весы по ГОСТ 24104;
- штангенциркуль по ГОСТ 166;
- нож;
- винтовой пресс;

- пластинки с гладкой поверхностью (из стекла, металла и т. д.);
- плоская лопатка;
- вазелин или консистентная смазка;
- сушильный шкаф.

Подготовка к испытаниям.

Плотность грунта определяется отношением массы образца грунта к его объему.

1 Согласно требованиям таблицы 4.1, выбирают режущее кольцо-пробоотборник. Кольца-пробоотборники изготавливают из стали с антикоррозионным покрытием или из других материалов, не уступающих по твердости и коррозионной стойкости (рисунок 4.1).

Таблица 4.1 – Выбор режущего кольца в зависимости от вида грунта

Наименование и состояние грунтов	Размер кольца-пробоотборника			
	Толщина стенки, мм	Внутренний диаметр d , мм	Высота h , мм	Угол заточки наружного режущего края
Немерзлые глинистые грунты	1,5...2,0	50	$0,8 d > h > 0,3d$	Не более 30°
Немерзлые и сыпучемерзлые песчаные грунты	2,0...4,0	70	$d > h > 0,3d$	Не более 30°
Мерзлые глинистые грунты	3,0...4,0	80	$h = d$	45°



Рисунок 4.1 – Режущие кольца-пробоотборники

2 Кольца нумеруют, измеряют внутренний диаметр и высоту с погрешностью не более 0,1 мм и взвешивают. По результатам измерений вычисляют объем кольца с точностью до $0,1 \text{ см}^3$.

3 Пластинки с гладкой поверхностью (из стекла, металла и т. д.) нумеруют и взвешивают.

Проведение испытаний.

1 Кольцо-пробоотборник смазывают с внутренней стороны тонким слоем вазелина или консистентной смазки.

2 Верхнюю зачищенную плоскость образца грунта выравнивают, срезая излишки грунта ножом, устанавливают на ней режущий край кольца и винтовым прессом или вручную через насадку слегка вдавливают кольцо в грунт, фиксируя границу образца для испытаний.

Затем грунт снаружи кольца обрезают на глубину 5...10 мм ниже режущего края кольца, формируя столбик диаметром на 1...2 мм больше наружного диаметра кольца. Периодически, по мере срезания грунта, легким нажимом пресса или насадки насаживают кольцо на столбик грунта, не допуская перекосов. После заполнения кольца грунт подрезают на 8...10 мм ниже режущего края кольца и отделяют его.

Грунт, выступающий за края кольца, срезают ножом, зачищают поверхность грунта вровень с краями кольца и закрывают торцы пластинками.

При пластичном или сыпучем грунте кольцо плавно, без перекосов, вдавливают в него и удаляют грунт вокруг кольца. Затем зачищают поверхность грунта, накрывают кольцо пластинкой и подхватывают его снизу плоской лопаткой.

3 Кольцо с грунтом и пластинками взвешивают.

4 Для определения плотности сухого грунта необходимо определить влажность грунта методом высушивания (лабораторная работа № 2).

Обработка результатов.

1 Определяют объем режущего кольца V по формуле

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h, \quad (4.1)$$

где h, d – высота и диаметр режущего кольца соответственно.

2 Плотность грунта ρ , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m_1 - (m_0 + m_2)}{V}, \quad (4.2)$$

где m_1 – масса кольца с грунтом и пластинками, г;

m_2 – масса пластинок, г;

m_0 – масса кольца, г;

V – внутренний объем кольца, см³.

3 Находят удельный вес грунта по формуле

$$\gamma = \rho \cdot g, \quad (4.3)$$

где g – ускорение свободного падения, $g \approx 9,81 \approx 10$ м/с².

4 Плотность сухого грунта определим расчетом по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}, \quad (4.4)$$

где W – влажность грунта.

5 Удельный вес сухого грунта

$$\gamma_d = \rho_d \cdot g, \quad (4.5)$$

где g – ускорение свободного падения, $g \approx 9,81 \approx 10 \text{ м/с}^2$.

6 Результаты заносятся в таблицы 4.2 и 4.3.

7 Формулируют выводы по работе.

Таблица 4.2 – Результаты определения влажности грунта

Номер стаканчика	Масса пустой бюксы m , г	Масса бюксы с влажным грунтом m_1 , г	Масса бюксы с сухим грунтом m_0 , г	Масса воды $m_1 - m_0$, г	Масса сухого грунта $m_0 - m$, г	Влажность грунта W , %	Средняя влажность W_{cp} , %

Таблица 4.3 – Результаты определения плотности грунта

Номер кольца	Масса кольца m_0 , г	Объем кольца V , см ³	Масса кольца с грунтом и пластинками m_1 , г	Масса пластинок (верхней и нижней) m_2 , г	Плотность грунта ρ , г/см ³	Удельный вес грунта γ , кН/м ³	Влажность грунта W , %	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Удельный вес сухого грунта γ_d , кН/м ³

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что называется плотностью грунта?
- 2 Как зависит плотность грунта от влажности?
- 3 В каких пределах определяется плотность дисперсных грунтов?
- 4 Какими методами можно определить в лаборатории плотность грунта?
- 5 Что называется плотностью сухого грунта?
- 6 От чего зависит плотность сухого грунта?
- 7 Как зависит плотность грунта от наличия органических включений?
- 8 Для чего определяется плотность грунта?

5 Лабораторная работа № 5. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом. Определение удельного веса частиц грунта

Цель работы: определить плотность частиц грунта ρ_s пикнометрическим методом в соответствии с ГОСТ 5180–2015 *Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик* [3]. Определить удельный вес частиц грунта.

5.1 Плотность частиц грунта

Под *плотностью твёрдых частиц* ρ_s (твёрдого компонента, твёрдой фазы) грунта понимается средняя плотность минералов, органических и органоминеральных веществ, составляющих грунт.

Плотность частиц грунта ρ_s численно равна отношению массы твёрдых частиц грунта (исключая массу воды в его порах) к их объёму.

Величина плотности частиц грунта определяется их минералогическим составом и содержанием органического вещества, колеблется в пределах 2,6...2,8 г/см³. Меньшее значение имеют грунты, содержащие органические вещества, большее – грунты, содержащие тяжёлые минералы.

Плотность твёрдых частиц отдельных типов дисперсных грунтов является величиной достаточно постоянной, и поэтому в расчётах часто используют её средние значения: песчаные грунты – 2,66 г/см³; супеси – 2,70 г/см³; суглинки – 2,71 г/см³; глины – 2,74 г/см³; торф – 1,65 г/см³.

Значение ρ_s необходимо для расчета коэффициента пористости e . Коэффициент пористости e влияет на степень влажности S_r и модуль деформации E_0 . Вариации плотности частиц весьма небольшие, им соответствуют такие же небольшие изменения зависимых величин. Плотность частиц грунта является важным качественным показателем для определения нормативных значений прочностных и деформационных характеристик, которые, в свою очередь, позволяют оценить несущую способность грунтов и возможность их дальнейшего использования в качестве оснований фундаментов.

Удельный вес частиц грунта γ_s – отношение веса сухого грунта к объёму его твёрдой части. В грунтах, не содержащих водорастворимых веществ и органических остатков, удельный вес дисперсных грунтов является величиной довольно постоянной.

Плотность частиц грунта в лабораторных условиях определяется *пикнометрическим методом*.

В основу способа положено определение объёма частиц грунта по массе вытесненной ими воды. Для этого определяют массу сосуда (пикнометра) с водой и с водой и грунтом. Объём пикнометра определяется по массе вошедшей в него дистиллированной воды.

Порядок проведения лабораторной работы № 5

Для определения плотности частиц грунта пикнометрическим методом необходимы следующие приборы и оборудование:

- пикнометры емкостью 100 и 200 см³ по ГОСТ 2252 (рисунок 5.1);
- сушильный шкаф;
- баня песчаная;
- металлические или стеклянные бюксы по ГОСТ 25336;
- дистиллированная вода по ГОСТ 6709;
- ступка с пестиком по ГОСТ 9147;
- сито с отверстием 2 мм по действующей нормативной документации;
- воронка;
- эксикатор;
- термометр;
- щипцы тигельные;
- весы лабораторные;
- пипетка.



Рисунок 5.1 – Пикнометры

Подготовка к испытаниям.

1 Образец грунта в воздушно-сухом состоянии размельчают в фарфоровой ступке, отбирают методом квартования среднюю пробу массой 100...200 г и просеивают сквозь сито с сеткой № 2 (2 мм), остаток на сите растирают в ступке и просеивают сквозь то же сито.

2 Из перемешанной средней пробы берут навеску грунта из расчета 15 г на каждые 100 мл емкости пикнометра и высушивают до постоянной массы. Навеску заторфованного грунта или торфа следует отбирать из средней пробы из расчета 5 г сухого грунта на каждые 100 мл емкости пикнометра, которая в этом случае должна быть не менее 200 мл.

Допускается использовать грунт в воздушно-сухом состоянии, определив его гигроскопическую влажность.

3 Дистиллированную воду следует прокипятить в течение 1 ч и хранить в закупоренной бутылки.

Проведение испытаний.

1 Пикнометр, наполненный на 1/3 дистиллированной водой, взвешивают. Затем через воронку всыпают в него высушенную пробу грунта и снова взвешивают.

2 Пикнометр с водой и грунтом взбалтывают и ставят кипятить на песчаную баню. Продолжительность спокойного кипячения (с момента начала кипения) должна составлять:

- для песков и супесей – 30 мин;
- для суглинков и глин – 1 ч.

3 После кипячения пикнометр следует охладить до комнатной температуры и долить дистиллированной водой до мерной риски на горлышке. Определить термометром температуру пикнометра с точностью до $\pm 0,5$ °С.

4 После охлаждения пикнометра следует поправить положение мениска воды в нем, добавляя из капельницы дистиллированную воду. В пикнометре с мерной риской низ мениска должен совпадать с ней. Возможные капли воды выше риски удаляют фильтровальной бумагой. Пикнометр вытирают снаружи и взвешивают.

5 Далее выливают содержимое пикнометра, ополаскивают его, наливают в него дистиллированную воду и выдерживают в ванне с водой при той же температуре. Затем выполняют операции, указанные в п. 4, и взвешивают пикнометр с водой.

Обработка результатов.

1 Определяют плотность частиц грунта по формуле

$$\rho_s = \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1} \cdot \rho_w, \quad (5.1)$$

где m_0 – масса сухого грунта, г;

m_1 – масса пикнометра с водой и грунтом после кипячения при температуре испытания, г;

m_2 – масса пикнометра с водой, г;

ρ_w – плотность воды при той же температуре (принимают по таблице 5.1).

Таблица 5.1 – Плотность воды при различных температурах

Температура, °С	Плотность, г/см ³
0...12	1,000
12...18	0,999
19...23	0,998
24...27	0,997
28...30	0,996
31...33	0,995

2 Определяют удельный вес частиц грунта по формуле

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g, \quad (5.2)$$

где g – ускорение свободного падения, $g \approx 9,8 \approx 10 \text{ м/с}^2$.

3 Данные испытаний и расчетов заносят в таблицу 5.2.

4 Сформулировать выводы по работе.

Таблица 5.2 – Результаты определения плотности грунтов

Номер испытаний	Масса, г					Температура воды, °С	Плотность, г/см ³		Удельный вес частиц грунта, кН/м ³
	пикнометра с водой на 1/3 емкости	пикнометра с водой на 1/3 емкости и грунтом	пикнометра с водой и грунтом	пикнометра с водой	сухого грунта		воды	частиц грунта	

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что называется плотностью частиц грунта?
- 2 Чем определяется значение плотности частиц грунта?
- 3 В каких пределах изменяется плотность частиц грунта?
- 4 Каким методом можно определить плотность частиц грунта в лаборатории?
- 5 Зачем кипячение при определении плотности частиц грунта?
- 6 Как изменяется плотность частиц грунта при наличии органики?
- 7 Как плотность частиц грунта связана с минеральным составом?

6 Лабораторная работа № 6. Определение угла естественного откоса сыпучих грунтов полевым методом

Цель работы: определить угол естественного откоса песчаного грунта в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии.

6.1 Угол естественного откоса грунтов

Угол естественного откоса – это наибольший угол, который может быть образован откосом свободно насыпанного грунта в состоянии равновесия с горизонтальной плоскостью.

Угол естественного откоса α – максимальный угол, образуемый свободной поверхностью рыхлой раздробленной породы с горизонтальной плоскостью. Частицы породы, находящиеся на этой поверхности, испытывают состояние пре-

дельного равновесия. Если вес частицы P (рисунок 6.1), то в состоянии предельного равновесия на свободной поверхности на частицу действуют силы: P_{\perp} – сила нормального давления, прижимающая частицу к свободной поверхности; P_{\parallel} – сила, стремящаяся сдвинуть частицу вниз; F_T – сила трения, зависящая от P_{\perp} и коэффициента трения f_{mp} ; R – реакция опоры.

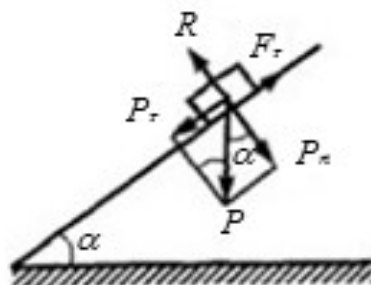


Рисунок 6.1 – Схема к расчету угла естественного откоса и коэффициента трения

Поскольку частица находится в равновесии, имеем

$$P_{\parallel} - F_T = 0; \quad (6.1)$$

$$P \cdot \sin \alpha - P \cdot \cos \alpha \cdot f_{mp} = 0, \quad (6.2)$$

следовательно,

$$\operatorname{tg} \alpha = f_{mp}, \quad (6.3)$$

где P – вес частицы грунта;

F_T – сила трения;

f_{mp} – коэффициент трения;

P_{\parallel} – сила, стремящаяся сдвинуть частицу вниз;

α – угол естественного откоса.

Таким образом, угол естественного откоса зависит от коэффициента трения между кусками породы и поверхностью, по которой возможно ее скольжение. Так как угол естественного откоса связан с коэффициентом трения, то он зависит от шероховатости зерен, степени их увлажнения, гранулометрического состава и формы, а также от удельного веса материала. С уменьшением размера зерен угол естественного откоса становится положе.

В воздушно-сухом состоянии угол естественного откоса песчаного грунта равен $30^{\circ} \dots 40^{\circ}$, для водонасыщенного грунта – $24^{\circ} \dots 33^{\circ}$.

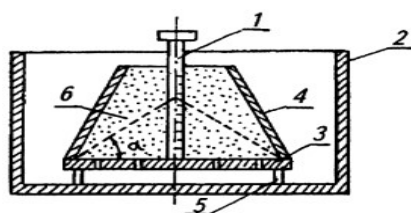
Значение угла естественного откоса для сухих и водонасыщенных песчаных грунтов в рыхлом состоянии практически совпадает с углом внутреннего трения, но определяется значительно проще последнего.

Уменьшение угла естественного откоса несвязного грунта под водой можно объяснить действием двух основных факторов: уменьшением веса частиц в воде в результате взвешивания, что облегчает их выход из зацепления и скатывание, а также смазочным действием воды. Последний фактор особенно ощутим для

грунтов, обогащенных мусковитом, и грунтов, частицы которых покрыты пленками органических коллоидов.

Сотрясения, которым подвергается водонасыщенный песчаный откос, приводят к разжижению и перемещению подчас огромных масс грунта, в результате чего откос становится положе (угол откоса в тонких песках часто не превышает 5°). Причиной разжижения и оплывания откоса при динамическом воздействии на него является уплотнение песка и, как результат, увеличение гидродинамического давления воды, взвешивающей песчинки и увлекающей их в сторону понижений. Общими чертами всех аварий, связанных с нарушением устойчивости затопленных откосов, являются: малая плотность песка, подводное его залегание, динамические воздействия. Дренажная пригрузка откоса значительно повышает его динамическую устойчивость. Понижению динамической устойчивости песков способствуют следующие факторы: мелкозернистость, тонкозернистость, пылеватость и однородность, окатанность частиц, наличие слюдястых частиц и органических коллоидов.

Для определения угла естественного откоса песчаного грунта в воздушно-сухом состоянии используют прибор УВТ (рисунок 6.2) или прибор УВТ малый (рисунок 6.3).



1 – шкала; 2 – резервуар; 3 – перфорированная подставка; 4 – обойма; 5 – градуированная опора; 6 – образец песка

Рисунок 6.2 – Прибор УВТ-2

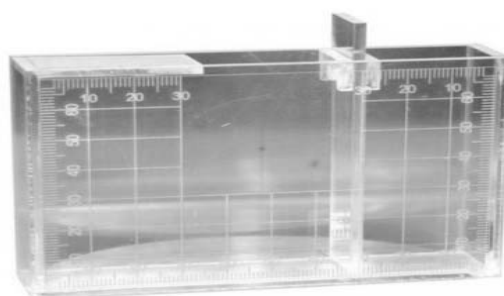


Рисунок 6.3 – Прибор УВТ малый

Порядок проведения лабораторной работы № 6

Для определения угла естественного откоса песчаного грунта необходимы следующие приборы и оборудование:

– ступка с пестиком по ГОСТ 9147;

- сито с отверстием 2 мм по действующей нормативной документации;
- прибор для определения угла естественного откоса.

Подготовка к испытаниям.

Образец грунта в воздушно-сухом состоянии размельчают в фарфоровой ступке и просеивают сквозь сито с сеткой № 2 (2 мм), остаток на сите растирают в ступке и просеивают сквозь то же сито.

Проведение испытаний.

При определении угла естественного откоса могут применяться разные приборы. В лабораторной работе для определения угла естественного откоса в сухом состоянии применяется прибор УВТ-2, в водонасыщенном состоянии – УВТ малый.

Определение угла естественного откоса прибором УВТ-2 песка в воздушно-сухом состоянии.

1 Собрать прибор и постепенно заполнить песком до краев конуса. Избыток песка удалить с помощью линейки.

2 Коническую часть прибора плавно приподнять на 1...2 мм над подставкой так, чтобы песок очень медленно посыпался из прибора в резервуар. После того как песок перестанет осыпаться, конус приподнять вверх и снять с прибора.

3 Оставшийся на подставке песок образует конус с минимальным углом естественного откоса для данного песка. Значение угла естественного откоса определяют по шкале на стойке прибора.

4 Опыт повторить трижды.

Определение угла естественного откоса водонасыщенного песка с помощью прибора УВТ малый.

1 Прибор ставится на горизонтальную плоскость. Выдвижная створка при этом опущена до дна.

2 В малое отделение насыпают доверху воздушно-сухой песок.

3 В большее отделение доверху наливают воду.

4 Поднимают выдвижную створку на несколько миллиметров, чтобы вода могла проникнуть в малое отделение. Грунт должен весь пропитаться водой. При необходимости воду доливают.

5 Постепенно поднимают выдвижную створку, следя, чтобы не было толчков; при этом прибор придерживают рукой. Песок частично пересыпается в другое отделение, пока наступает положение равновесия.

6 По делениям на боковой стенке отсчитывают высоту h , по делениям на днище – длину осыпавшейся части грунта L . Отсчеты ведут с точностью до 1 мм.

7 Опыт повторить трижды.

Обработка результатов.

1 При определении угла естественного откоса приборами УВТ-2 и УВТ малый трижды повторяют опыт и определяют среднее значение для угла естественного откоса.

2 Определяют $\operatorname{tg}\alpha$ по формуле

$$\operatorname{tg}\alpha = h / L, \quad (6.4)$$

где α – угол естественного откоса;

h – высота откоса, мм;

L – длина осыпавшейся части грунта, мм.

3 По таблице 6.1 определяют величину α . Расхождение в определении угла естественного откоса не должно превышать 1° . Результаты сводят в таблицу 6.2.

Таблица 6.1 – Величина тангенсов для вычисления угла естественного откоса

α , град	$\operatorname{tg}\alpha$	α , град	$\operatorname{tg}\alpha$	α , град	$\operatorname{tg}\alpha$	α , град	$\operatorname{tg}\alpha$
0	0,000	16	0,287	32	0,625	48	1,111
1	0,017	17	0,306	33	0,649	49	1,150
2	0,035	18	0,325	34	0,675	50	1,192
3	0,052	19	0,344	35	0,700	51	1,235
4	0,070	20	0,364	36	0,727	52	1,280
5	0,087	21	0,384	37	0,754	53	1,327
6	0,105	22	0,404	38	0,781	54	1,375
7	0,123	23	0,424	39	0,810	55	1,428
8	0,141	24	0,445	40	0,839	56	1,483
9	0,158	25	0,466	41	0,869	57	1,540
10	0,176	26	0,488	42	0,900	58	1,600
11	0,194	27	0,510	43	0,932	59	1,664
12	0,212	28	0,532	44	0,966	60	1,732
13	0,231	29	0,554	45	1,000		
14	0,249	30	0,577	46	1,036		
15	0,268	31	0,301	47	1,072		

Таблица 6.2 – Результаты определения угла естественного откоса

Воздушно-сухой песок			Водонасыщенный песок		
Номер опыта	Угол естественного откоса, град	Среднее значение угла, град	Номер опыта	Угол естественного откоса, град	Среднее значение угла, град
1			1		
2			2		
3			3		

4 Сформулировать выводы по работе.

Вопросы для самоконтроля

1 Что называют углом естественного откоса?

2 При помощи каких приборов можно определить угол естественного откоса?

3 Для каких грунтов определяют угол естественного откоса?

4 Для какого состояния грунтов определяют угол естественного откоса?

5 От чего зависит угол естественного откоса?

6 Зачем определяют угол естественного откоса для сухого и водонасыщенного грунта?

7 Как угол естественного откоса связан с коэффициентом трения?

8 Как влияет изменение влажности на угол естественного откоса?

7 Лабораторная работа № 7. Определение вида грунта визуальным методом

Цель работы: определить вид песчаного или глинистого грунта визуальным методом.

7.1 Определение вида грунта визуальным методом

Выполнение испытаний в стационарных лабораториях связано с большими потерями времени на транспортировку образцов и проб, поэтому определение объемного веса и естественной влажности следует производить на месте, в процессе полевых работ. В полевых условиях определение показателей производят визуально с применением простейших лабораторных испытаний.

Визуальный метод определения заключается в фиксировании зрительных впечатлений (о цвете, структуре и характере залегания грунта) и ощущений, возникающих при растирании грунта на ладонях рук, а также наблюдений за деформациями, возникающими при скатывании шнуров, сжатии и раскалывании кусков породы.

Для определения вида грунта визуальным методом проводят следующий комплекс испытаний:

- растирание на ладони;
- скатывание в шнур;
- скатывание в шарик;
- рассматривание в лупу.

Зерновой состав песков в смысле отнесения их к существующим номенклатурным разностям при достаточном опыте легко устанавливается по зрительным впечатлениям и осязанию на ощупь. В сомнительных случаях используют обычную миллиметровую бумагу или шаблон для определения крупности зерна.

Пластичность глинистых грунтов в полевых условиях определяется по способности их во влажном состоянии раскрываться на шнуры различной длины и диаметров.

При этом сухие грунты обязательно смачивают водой. Выделение основных типов грунтов производят при наличии следующих признаков.

Глина при растирании в ладонях рук скатывается в шнур диаметром до 0,5 мм, песчинки не ощущаются, остатки глинистой массы втираются в кожу. Прилипший к ладоням грунт после высыхания при встряхивании не осыпается.

Суглинок при растирании на ладонях скатывается в шнур диаметром не менее 1...2 мм; ощущается присутствие песчинок, которые при рассматривании в лупу не всегда заметны. Прилипший к ладоням грунт после высыхания при встряхивании частично осыпается.

Супесь при растирании на ладонях рук образует короткие, толстые катыши или рассыпается; ощущается большое количество песчинок, которые явно различимы в лупу. Прилипший к ладоням грунт после высыхания почти полностью осыпается.

Консистенция определяется по деформациям, происходящим в грунте при ударах молотком, сжатии ладонями рук, вдавливании пальцев и ногтей, а также скорости растекания грунта в водонасыщенном состоянии по наклонной плоскости.

Для определения консистенции глин и суглинков руководствуются следующими признаками.

Твердая консистенция – порода по ощущениям сухая, при ударе молотком разбивается на куски, которые при сжатии рассыпаются, при растирании грунт выделяет пыль. Ноготь большого пальца вдавливается в породу с трудом.

Полутвердая консистенция – порода по ощущению слабо влажная, при ударах молотком и растирании кусков рассыпается. Ноготь большого пальца вдавливается в породу без особого труда.

Тугопластичная консистенция – порода влажная, большие куски разминаются с трудом, вырезанный из нее брусочек до излома заметно изгибается, палец при легком усилии оставляет заметный отпечаток, но вдавливается лишь при сильном нажатии.

Мягкопластичная консистенция – порода сильно влажная, куски разминаются легко; при лепке принимает любые формы, но сохраняет их непродолжительное время; палец вдавливается легко на глубину нескольких сантиметров.

Текучепластичная консистенция – порода мокрая, разминается от легкого прикосновения пальцев, при лепке не держит приданную ей форму, сильно прилипает к рукам, не раскатывается в шнур без подсыпки.

Текучая консистенция – порода водонасыщенная, способна течь по наклонной поверхности толстым слоем (языком).

Для супесей существует три формы консистенции.

Твердая консистенция – грунт при этом рассыпается, не образуя катышей.

Пластичная консистенция – грунт образует катыши.

Текучая консистенция – грунт растекается по наклонной плоскости.

Порядок проведения лабораторной работы № 7

Для определения вида грунта визуальным методом необходимы следующие приборы и оборудование: лупа.

Проведение испытаний.

1 *Растирание на ладони.* Исследуемый грунт с ненарушенной структурой берут на сухую ладонь руки и растирают указательным пальцем другой руки. Результаты растирания сопоставляют с таблицей 7.1.

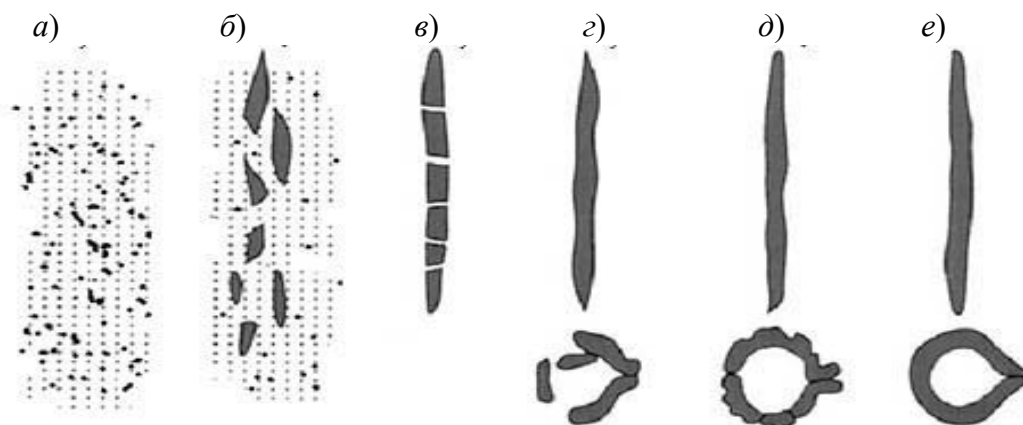
Таблица 7.1 – Признаки, определяющие вид грунта

Ощущение при растирании на ладони	Скатывание в шнур	Скатывание в шарик	Вид в лупу растертой массы грунта	Состояние сухого грунта	Состояние влажного грунта	Название грунта
1	2	3	4	5	6	7
Ощущаются в большом количестве видимые песчаные частицы	Шнур не обрывается	В шарик не скатывается	Состоит почти целиком из песчаных частиц	Сыпучее	Не пластичное	Песчаный
То же, но ощущается большое количество пыли	Шнур не обрывается	В шарик не скатывается	Среди зерен песка видны мелкие комковатые частицы	Сыпучее	Не пластичное	Песчаный пылеватый
Ощущение песчано-пылеватой массы, в которой ясно чувствуется присутствие песка	Трудно скатывается в шнур диаметром 3 мм	Шарик имеет шероховатую поверхность, при надавливании рассыпается	Песчаные частицы преобладают над глинистыми	Комки легко рассыпаются от давления рукой	Мало-пластичное	Супесчаный легкий
Ощущение мучнистой массы, песчаные частицы почти не ощущаются	Трудно скатывается в шнур диаметром 3 мм	Шарик при сотрясении растекается в лепешку	Преобладают мелкие непрозрачные комочки пыли	Связности почти нет	Плывунное	Супесчаный пылеватый и тяжелый пылеватый
Явное ощущение связности, ощущаются песчаные частицы	Шнур скатывается хорошо	В шарик скатывается с гладкой поверхностью	На фоне тонкого порошка ясно видны прозрачные зерна	Комки раздавливаются рукой	Слегка липкое и пластичное	Суглинистый легкий и легкий пылеватый
Глинистые частицы заметно преобладают над песчаными	При раскатывании дает длинный шнур диаметром 2...3 мм	Хорошо скатывается в шарик, который при раздавливании дает лепешку с трещинами по краям	На фоне тонкого порошка видны зерна и комья пыли	Комковатый, комки давятся рукой, но с трудом	Липкое и пластичное	Суглинистый тяжелый

Окончание таблицы 7.1

1	2	3	4	5	6	7
Среди глинистой массы чувствуются песчаные частицы	При раскатывании дает длинный шнур диаметром 1...2 мм	Хорошо скатывается в шарик, который при раздавливании дает лепешку с трещинами по краям	На фоне тонкого порошка видны песчаные зерна	Комки давятся с трудом	Липкое и пластичное	Суглинистый тяжелый пылеватый
При растирании ощущается тонкая однородная масса, песчаных частиц не чувствуется	Раскатывается в прочный длинный шнур диаметром 0,5...1 мм	Шарик при сдавливании в лепешку по краям не растрескивается	Тонкий сплошной порошок, крупные зерна почти отсутствуют	Твердые комки не рассыпаются в порошок при ударе молотком	Сильно пластичное, липкое и мажущее	Глинистый (всех разновидностей)

2 Скатывание в шнур. Грунт увлажняют до такой влажности, чтобы он приобрел связность, способность формоваться, но к рукам не прилипал (если такого состояния достигнуть нельзя, то констатируют, что шнур не получился). Из подготовленной таким образом пробы грунта скатывают шарик диаметром 1...2 см. Шарик этот раскатывают на ладони ребром кисти руки в шнур. Раскатывание ведут так, чтобы получить как можно большую длину шнура до тех пор, пока он не начнет распадаться (рисунок 7.1). После этого результаты сопоставляют с таблицей 7.1.



а – шнур не образуется (песок); *б* – зачатки шнура (супесь); *в* – шнур, дробящийся при раскатывании (легкий суглинок); *г* – шнур сплошной, кольцо, распадающееся при свертывании (средний суглинок); *д* – шнур сплошной, кольцо с трещинами (тяжелый суглинок); *е* – шнур сплошной, кольцо стойкое (глина)

Рисунок 7.1 – Раскатывание грунта в шнур

3 Скатывание в шарик. Из увлажненного грунта скатывают шарик диаметром 2...3 см, который затем раздавливают между ладонями. Результаты раздавливания сопоставляют с таблицей 7.1.

4 *Рассматривание в лупу.* Предварительно растертый сухой рукой до исчезновения комьев образец грунта рассыпают тонким слоем на бумаге и рассматривают в лупу.

Песчаные зерна видны как более или менее остроугольные неправильной формы частицы.

Пылеватые частицы видны как комочки и хлопья сероватого или слегка окрашенного вещества; непрозрачные мелкие и крупные.

Глинистые частицы представляются в виде тонкого порошка. Количественные отношения принимаются на глаз, судя по той картине, которая видна в поле зрения лупы. Результаты раздавливания сопоставляют с таблицей 7.1.

Обработка результатов.

1 После отбора образцов (проб) грунта необходимо выполнить следующие манипуляции и эксперименты.

Взять немного грунта из образца и, изучив его визуально и на ощупь, предварительно отнести его либо к песчаным, либо к глинистым, используя таблицу 7.2.

Таблица 7.2 – Определение вида грунта

Вид грунта	Растирание на ладони	Визуальные признаки
Глина	При растирании в сыром состоянии песчаных частиц не чувствуется. Комочки раздавливаются с трудом. Во влажном состоянии сильно липнет	Однородный тонкий порошок, частиц песка почти нет
Суглинок	Песчаные частицы при растирании присутствуют, но ощущаются мало. Комочки раздавливаются легче	Преобладают тонкие глинистые частицы мелких песчаных частиц 15 %...30 %
Супесь	Преобладают мелкие песчаные частицы, для пылеватой супеси может появиться впечатление сухой муки. Комочки раздавливаются легко	Преобладают мелкие частицы песка с небольшой примесью глинистых частиц
Песок	Отчетливо ощущаются отдельные песчинки. Комочки почти не образует	Состоит почти полностью из частиц песка

2 Полное наименование грунта определяют по результатам испытаний и по таблице 7.1. Если по результатам получается несколько наименований, то выбирают грунт с наибольшим количеством совпадений. Полученные данные заносят в таблицу 7.3.

3 Сформулировать выводы по работе.

Таблица 7.3 – Результаты визуального определения вида грунта

Лабораторный номер грунта	Признак, определяющий вид грунта						Наименование грунта
	Ощущение при растирании на ладони	Скатывание в шнур	Скатывание в шарик	Вид в лупу растертой массы грунта	Состояние сухого грунта	Состояние влажного грунта	
1							
2							
3							

Вопросы для самоконтроля

- 1 В каких случаях проводят определение вида грунта визуальным методом?
- 2 Какой комплекс испытаний проводят для определения вида грунта визуальным методом?
- 3 Как проводят определение вида грунта при скатывании в шнур?
- 4 Как выглядят различные частицы грунта при рассматривании в лупу?
- 5 От чего зависит точность визуального определения грунта?
- 6 Как визуально определить вид грунта?
- 7 Как выглядит и ощущается песчаный грунт?
- 8 Как выглядит и ощущается супесчаный грунт?
- 9 Как выглядит и ощущается суглинистый грунт?
- 10 Как выглядит и ощущается глинистый грунт?

8 Лабораторная работа № 8. Компрессионные испытания грунта

Цель работы: обеспечить в пробах соответствие между давлением и плотностью глинистых грунтов перед их испытанием на сдвиг; определить коэффициент сжимаемости и вычислить модуль деформации в соответствии с ГОСТ 12248–2010 *Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости* [4].

8.1 Метод компрессионного испытания грунтов

Механические свойства грунта отражают его способность сопротивляться механическим воздействиям. Такие свойства разделяют на деформационные и прочностные.

Деформативностью грунта называют его способность деформироваться под нагрузкой без разрушения (без образования в нем поверхностей скольжения).

Зависимость деформаций ϵ от напряжений σ в грунте криволинейная, но при небольших напряжениях ее можно считать линейной. Рассматривая работу

грунта в условиях возрастающей нагрузки, выделяют фазы напряженного состояния грунта. Расчеты деформаций основания производятся, как правило, только для первой фазы, когда деформации можно считать линейными. На это ориентированы нормативные документы по расчету оснований.

Деформация грунтового массива – процесс, слагающийся из уплотнения грунта за счет уменьшения пористости, пластических сдвигов, за счет взаимного смещения частиц в отдельных точках грунта, деформаций самих частиц вместе с водными пленками, выдавливания через поры грунта воды и воздуха.

В отличие от твердых конструкционных материалов, деформирующихся почти без изменения объема, грунт под действием нагрузок существенно сжимается, т. е. уменьшает свою пористость и, соответственно, объем.

Для грунта, уплотняемого статической нагрузкой, каждому давлению соответствует (после затухания деформаций) определенный коэффициент пористости. Для водонасыщенных грунтов, поры которых полностью заполнены водой ($S_r = 1$), вместо коэффициента пористости e можно рассматривать влажность W , поскольку в этих случаях объем пор равен объему воды (влажность становится пропорциональной коэффициенту пористости).

Сжимаемость грунта зависит от его пористости, гранулометрического и минералогического составов, природы внутренних структурных связей и характера нагрузки.

Сжимаемость грунтов обуславливается следующими причинами:

- уменьшением пористости грунтов под воздействием внешних нагрузок вследствие переупаковки твердых частиц;
- уменьшением толщины водно-коллоидных оболочек минеральных частиц под влиянием увеличивающегося внешнего давления;
- изменением физического состояния.

Сжатие грунтов под нагрузкой вызывает вертикальную деформацию грунтов, которая называется *осадкой*.

При действии внешней нагрузки грунт уплотняется вследствие переупаковки частиц с уменьшением объема пор. Уплотняемость грунта за счет уменьшения пористости оценивается *коэффициентом сжимаемости* m_0 , вычисляемым по результатам испытаний образцов грунта на сжатие в условиях невозможности бокового расширения.

Испытание грунтов на сжатие производится следующими видами:

- *одноосное* сжатие образцов;
- *двухосное (компрессионное)* сжатие образцов;
- *трехосное* сжатие образцов.

Основными характеристиками сжимаемости грунтов являются *модуль общей деформации* E_0 , *коэффициент относительной сжимаемости* m_v , *коэффициент поперечного расширения (коэффициент Пуассона)* ν и *коэффициент бокового давления* ξ грунта.

Для установления основных показателей сжимаемости грунтов производятся их испытания на уплотнение под нагрузкой, когда деформации грунта могут развиваться только в одном направлении и никакие другие силы, кроме внешней нагрузки, не действуют.

Связь между напряжением и деформацией устанавливается согласно известному из сопротивления материалов закону Гука:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E, \quad (8.1)$$

где E – модуль упругости грунта;
 ε – относительная деформация.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}, \quad (8.2)$$

где l – длина после деформации;
 l_0 – первоначальная длина.

Модуль деформации определяется в лабораторных условиях с помощью компрессионного прибора (одометра) или прибора трехосного сжатия (стабилометра) в полевых условиях путем испытания грунта штампом, прессиометром и статическим зондированием.

Коэффициент сжимаемости – расчетная характеристика деформируемости грунтов, которая используется при определении осадок сооружений. С помощью этого коэффициента можно производить качественную оценку грунта, как основания зданий и сооружений:

- при $m_0 < 0,1$ МПа⁻¹ – грунт мало сжимаемый;
- $0,1 < m_0 < 1,0$ МПа⁻¹ – грунт средней сжимаемости;
- $m_0 > 1,0$ МПа⁻¹ – грунт сильно сжимаемый.

Компрессионные испытания – наиболее распространенный вид лабораторных исследований для определения деформационных характеристик (свойств) грунтов.

Компрессия – это процесс сжатия грунта без возможности бокового расширения ($\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$), т. е. уплотнение образца без его разрушения.

Компрессионные испытания грунтов в лабораторных условиях проводятся в компрессионных приборах (одометрах).

Одометр – прибор, служащий для определения сжимаемости грунта. Деформации в одометре возможны только в вертикальном направлении, горизонтальные деформации отсутствуют. Вертикальное напряжение изменяется ступенями и является известным, боковые напряжения реактивные и остаются неизвестными. Конструкции их бывают различные, в зависимости от способа приложения нагрузки и целей исследования.

На компрессионное сжатие образец грунта испытывается в металлическом кольце, и на него через жесткий штамп передается сила F , вызывающая в образце сжимающее напряжение:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (8.3)$$

где A – площадь поперечного сечения образца;

F – сила, передающаяся через жесткий штамп.

Таким образом, под действием вертикальной нагрузки происходит вертикальное перемещение штампа, вызывающее осадку образца.

Испытание грунта методом компрессионного сжатия проводят для определения следующих характеристик деформируемости: коэффициента сжимаемости m_0 , модуля деформации E , структурной прочности на сжатие p_{str} , коэффициентов фильтрационной и вторичной консолидации c_v и c_α для песков мелких и пылеватых, глинистых грунтов с показателем текучести $I_L > 0,25$, органоминеральных и органических грунтов, относительного суффозионного сжатия ε_{sf} и начального давления суффозионного сжатия p_{sf} для засоленных (содержащих легко- и средне-растворимые соли) песков (кроме гравелистых), супесей и суглинков.

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

Для испытаний используют образцы грунта ненарушенного сложения с природной влажностью или водонасыщенные или образцы нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности.

Порядок проведения лабораторной работы № 8

Для проведения испытаний используется следующее оборудование:

- автоматизированный испытательный комплекс АСИС (рисунок 8.1);
- одомер в составе комплекса АСИС, предназначенный для испытания образцов грунта в условиях компрессионного сжатия по ГОСТ 12248–2010 *Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости* (рисунок 8.2);
- программа управления испытаниями GEOTEK ASIS, предназначенная для проведения лабораторных испытаний образцов песчаных и глинистых грунтов в соответствии с ГОСТ 12248–2010;
- нож;
- фильтрующая бумага.



Рисунок 8.1 – Автоматизированный испытательный комплекс АСИС



Рисунок 8.2 – Одометр

Проведение испытаний.

1 В основании одометра уложить металлический фильтр.

Подготовленный образец в кольце с торцов покрыть влажными бумажными фильтрами и установить кольцо с грунтом на основание одометра.

Кольцо с грунтом устанавливается крышкой вверх.

2 На собранную часть одометра сверху надеть крышку одометра. Если крышка установлена без перекосов, то между основанием одометра и крышкой должен остаться зазор 1...2 мм. На одометр надеть металлическое кольцо и закрутить его, соединяя верхнюю и нижнюю часть одометра. Чем туже будет затянута гайка, тем герметичнее будет одометр.

3 В держатель датчика перемещения вставить датчик деформации и зафиксировать его в держателе винтом.

Держатель датчика перемещения вместе с датчиком надеть на шток штампа. Держатель датчика перемещения опустить вниз по штоку до упора и зафиксировать винтом.

4 Собранный одометр установить по центру нагрузочной рамы. Между винтом датчика силы и шариком на штоке одометра должен быть создан зазор не менее 3 мм (рисунок 8.3).

4 После настройки датчиков нажать на экране кнопку «Закончить настройку датчиков» и выбрать из списка методов испытаний «Компрессионное сжатие неводонасыщенного грунта ГТ 7.1.1».

5 В открывшемся окне настройки датчиков проверить, чтобы ни на одном из датчиков не было ошибки в работе канала. Во вкладке «Параметры образца» проверить и при необходимости задать размеры образца. Для одометра ГТ 2.1.1 высота образца – 25 мм, диаметр образца – 87 мм.

6 В окне «Новое испытание» нажать кнопку «Старт» и запустить испытание. Далее в соответствии с заложенной в программу АСИС 3.3 схемой будет проводиться испытание образца.

7 По завершении испытания устройство компрессионного сжатия будет автоматически разгружено, и в окне испытания появится сообщение «Нажмите «ОК» для завершения испытания». Не нажимая кнопку «ОК» в этом сообщении, необходимо в нижнем левом углу нажать кнопку «Открыть протокол». Для того

чтобы пересохранить данные испытания, нажать «В проводнике» и данные сохранить в любую папку.

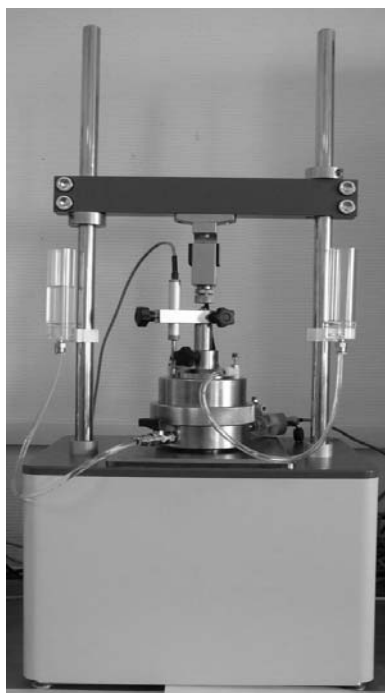


Рисунок 8.3 – Собранный одомер

8 Для того чтобы сразу провести расчет по данным испытания, нажать кнопку «В программе просмотра» и открывшиеся данные испытания скопировать в соответствующий *Excel* шаблон.

9 Все части одометра освободить от грунта, при необходимости промыть водой. Верхний перфорированный штамп и металлический фильтр промыть и продуть сжатым воздухом – при помощи пневмопистолета. В основании одометра открыть кран дренажа и продуть его сжатым воздухом.

Обработка результатов.

1 Результаты испытаний представить в виде таблиц (таблицы 8.1 и 8.2) и графиков.

Таблица 8.1 – Характеристики грунта

$W, \%$	$\rho, \text{г/см}^3$	$\rho_d, \text{г/см}^3$	$\rho_s, \text{г/см}^3$	$n, \%$	e	S_r	I_p	I_L	B

2 По данным таблицы 8.2 построить компрессионные кривые $\varepsilon = f(\sigma)$ и $e = f(\sigma)$.

3 Определить (по заданию преподавателя) характеристику деформируемо-

сти грунта m_0 в одном из интервалов изменения давления. По значению m_0 оценить сжимаемость.

$$m_0 = \Delta e / \Delta \sigma = (e_1 - e_2) / (\sigma_2 - \sigma_1), \quad (8.4)$$

где σ_1, σ_2 – границы интервала изменения главного вертикального напряжения, причем $\sigma_2 > \sigma_1$;

e_1, e_2 – соответствующие значения коэффициентов пористости.

Таблица 8.2 – Журнал наблюдений

Время от начала испытания, с	Нагрузка, МПа	Деформация, мм	Относительная деформация	Модуль деформации, МПа	Коэффициент пористости	Коэффициент уплотнения

4 Используя значения коэффициента уплотнения (сжимаемости) грунтов m_0 , вычислить коэффициент относительного уплотнения m_v и модуль деформации E_{0ed} :

$$m_v = m_0 / (1 + e_0); \quad (8.5)$$

$$E_{0ed} = \beta / m_v, \quad (8.6)$$

где β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в приборе и назначаемый в зависимости от коэффициента Пуассона ν (таблица 8.3).

Таблица 8.3 – Среднее значение коэффициента Пуассона ν и коэффициента β

Грунт	Коэффициент Пуассона ν	Коэффициент $\beta = 1 - 2\nu^2 / (1 - \nu)$
Песок и супесь	0,30	0,74
Суглинок	0,35	0,62
Глина	0,42	0,40

5 Сформулировать выводы по работе.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какова цель компрессионных испытаний грунта?
- 2 Чем вызывается необходимость длительной выдержки образца на каждой ступени давления?
- 3 Что такое коэффициент сжимаемости?
- 4 Что такое компрессионное сжатие?

- 5 Как проводится нагружение при испытаниях?
- 6 Какие характеристики определяются при компрессионных испытаниях?
- 7 Для чего нужны характеристики, определяемые при компрессионных испытаниях?
- 8 Для каких грунтов проводят компрессионные испытания?
- 9 Что такое деформируемость грунта?
- 10 Чем обусловлена сжимаемость грунта?
- 11 Как можно определить деформационные характеристики?

Список литературы

- 1 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава : ГОСТ 12536–2014. – Введ. 01.07.2015. – М. : Стандартинформ, 2019. – 20 с.
- 2 Классификация грунтов : СП 5.01.04–2025. – Введ. 10.02.2025. – Мн. : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2025. – 46 с.
- 3 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик : ГОСТ 5180–2015. – Введ. 01.04.2016. – М. : Стандартинформ, 2019. – 23 с.
- 4 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости : ГОСТ 12248–2010. – Введ. 19.04.2011. – М. : Стандартинформ, 2012. – 82 с.