

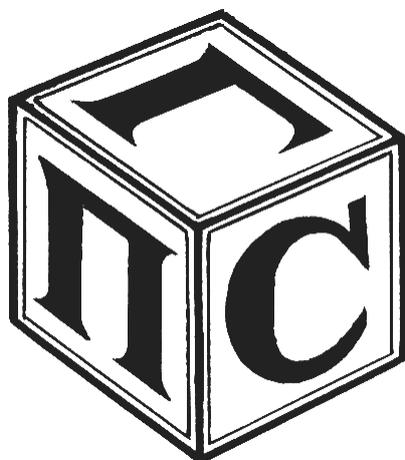
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

ДОРОЖНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИКА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»
очной и заочной форм обучения*

Часть 2



Могилёв 2020

УДК 624.15
ББК 78.74
Д69

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»
«20» марта 2020 г., протокол № 12

Составитель ст. преподаватель И. В. Гомелюк

Рецензент канд. техн. наук, доц. И. В. Лесковец

Методические рекомендации предназначены для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» к лабораторным работам по курсу «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна». Приведены таблицы и справочные данные, необходимые для выполнения лабораторных работ.

Учебно-методическое издание

ДОРОЖНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИКА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Часть 2

Ответственный за выпуск	С. Д. Макаревич
Корректор	Т. А. Рыжикова
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 31 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, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

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.....	10
3 Лабораторная работа № 3. Определение границы текучести и границы раскатывания глинистого грунта.....	12
4 Лабораторная работа № 4. Определение плотности грунта методом режущего кольца. Определение плотности сухого грунта расчетным методом	17
5 Лабораторная работа № 5. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом. Определение удельного веса частиц грунта	22
6 Лабораторная работа № 6. Определение угла естественного откоса сыпучих грунтов	25
7 Лабораторная работа № 7. Определение вида грунта визуальным методом.....	30
8 Лабораторная работа № 8. Определение свободного набухания грунтов.....	35
9 Лабораторная работа № 9. Компрессионные испытания грунта.....	38
10 Лабораторная работа № 10. Проведение испытаний на устройстве одноплоскостного среза.....	44
Список литературы.....	48

Введение

Лабораторные работы по второй части курса дисциплины «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна» 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 следует произвести обработку результатов испытаний и сделать необходимые выводы. Все записи делаются в журнале лабораторных работ четко и разборчиво. Работа выполняется бригадой в 4–6 человек. В конце каждого занятия студент оформляет свой отчет по работе.

Методики определений характеристик и свойств грунтов изложены по существующим ГОСТам в виде инструктивных указаний, единицы измерения физических величин приведены в системе СИ, наименования грунтов в соответствии с СТБ 943–2007 *Грунты. Классификация*.

Лабораторные работы по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна» выполняют студенты дневной и заочной форм обучения по специальности «Автомобильные дороги».

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 в соответствии с ГОСТ 12536–79 [2].

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, выраженное в процентах от общей массы грунта. 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, дающий приближенное представление о гранулометрическом составе грунтов. В основу метода положены различная скорость падения частиц в воде в зависимости от их размера и способность глинистых частиц набухать в воде. С по-

мощью 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 расसेве 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 (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) и микроагрегатный состав грунтов следует определять методами, предусмотренными в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Методы определения гранулометрического и микроагрегатного состава грунтов

Наименование грунтов		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		Гранулометрический (зерновой)	Ареометрический
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный составы	Пипеточный

Проведение работы

Для определения гранулометрического (зернового) состава песчаных грунтов ситовым методом необходимы следующие приборы и оборудование: набор сит (с поддоном и крышкой); сита с размером отверстий 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм; весы лабораторные; ступка фарфоровая; пестик с резиновым наконечником.

Подготовка к испытанию

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, 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.

Проведение испытаний

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.

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 в процентах вычисляют 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 пробы грунта, взятой для анализа, г.

2 Результаты анализа регистрируют в журнале (таблица 1.2).

Таблица 1.2– Результаты определения гранулометрического состава грунта

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

3 По полученным данным строится суммарная кривая гранулометрического состава. Для этих данных кривая имеет вид, показанный на рисунке 1.2.

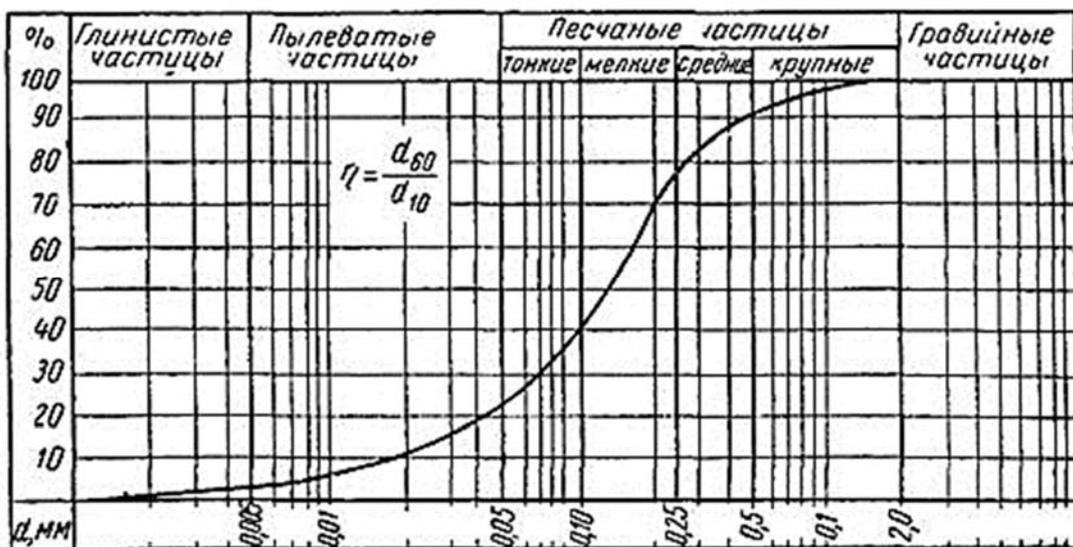


Рисунок 1.2 – Суммарная кривая гранулометрического состава

Суммарная кривая гранулометрического состава строится в полулогарифмической системе координат.

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

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

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

По показателю максимальной неоднородности песчаный грунт подразделяют на [1]:

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

5 Используя данные гранулометрического анализа, определяют 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 %;
- средний – 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 %.

6 Во время лабораторной работы студенты определяют наименование образцов грунта по крупности и неоднородности и заносят результаты исследования в таблицу 1.2.

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 Как проводят определение гранулометрического состава ситовым методом?
- 7 Как зависит метод определения гранулометрического состава от типа грунта?
- 8 Как подразделяется грунт по крупности?
- 9 Для каких грунтов используют ситовый метод?
- 10 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 (ГОСТ 5180–84 *Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик*).

2.1 Влажность грунта

Под влажностью грунта понимают содержание в нем того или иного количества воды.

Влажность грунтов, особенно в верхних горизонтах или зоне аэрации, обычно не постоянна и меняется в зависимости от различных условий, в которых находится грунт. Она изменяется по сезонам года, а также в зависимости от различных техногенных факторов. Влажность, которую грунт имеет в условиях естественного залегания на данный момент, называется *естественной влажностью* грунта.

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

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.

Влажность является важной характеристикой состояния грунта и должна учитываться при определении многих показателей свойств грунта (модуля упругости, плотности сложения, пластичности, липкости и др.).

Величина влажности определяет пластичность и текучесть глинистого грунта, указывает на его плотность и пористость, а эти характеристики показывают его несущую способность, способность к деформированию и т. д.

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, если требуется срочно определить влажность. Пробу грунта помещают в фарфоровую чашечку, заливают спиртом, который затем выжигают. По разности веса влажного и сухого грунта вычисляют влаж-

ность. 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 производятся с помощью приборов типа НИВ (нейтронный измеритель влажности).

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

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

Проведение работы

Для определения влажности необходимы следующие приборы и оборудование: весы лабораторные; стаканчики (бюксы) алюминиевые; сушильный шкаф; эксикатор с хлористым кальцием; шпатели металлические; тигельные щипцы.



Рисунок 2.1 – Влагомер

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.

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 $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$.
- 3 Песчаные грунты высушивают в течение 3 ч, а остальные грунты – в течение 5 ч. Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1 ч, остальных – в течение 2 ч.
- 4 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.

- 5 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

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100 \% ; \quad (2.1)$$

где m_1 – масса влажного грунта и бюксы с крышкой, г;
 m_2 – масса высушенного грунта и бюксы с крышкой, г;
 m_0 – масса бюксы с крышкой, г.

Допускается выразить влажность в долях единицы.

2 Данные опыта записываются в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты определения влажности грунта

Номер стаканчика	Масса стаканчика, m_0	Масса стаканчика с влажным грунтом, m_1	Масса стаканчика с сухим грунтом, m_2	Масса воды $m_1 - m_2$	Масса сухого грунта $m_2 - m_0$	Влажность грунта W , %	Средняя влажность W_{cp} , %

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 5180–84 [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 очень важной характеристикой физического состояния этих 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. Они используются в качестве наиболее важных характеристик глинистого грунта.

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

Глинистые грунты обладают пластичностью только в пределах определенной влажности; при меньшей влажности они становятся полутвердыми или твердыми, при большей – из пластичного состояния переходят в текучее.

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. При этой влажности связь между частицами нарушается благодаря наличию свободной воды, вследствие чего частицы грунта легко смещаются и разъединяются. В результате этого 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.

Границу текучести и границу раскатывания называют также верхним и нижним пределами пластичности.

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

Минеральный и зерновой составы грунта, форма частиц и содержание глинистых минералов (особенно монтмориллонитовой группы), а также состав обменных катионов существенно влияют на границы пластичности и число пластичности.

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.

Характеристикой состояния является консистенция, под которой понимается густота и в известной мере вязкость глинистых грунтов, обуславливающие их способность сопротивляться пластическому изменению формы. Числовой характеристикой консистенции является *показатель текучести* J_L . По показателю текучести оцениваются прочностные свойства грунтов, необходимые для возведения сооружения. От J_L зависит расчетное сопротивление грунта нагрузкам R .

Проведение работы

Для определения характерных влажностей необходимы следующие приборы и оборудование: весы лабораторные; стаканчики алюминиевые (бюксы); сушильный шкаф; эксикатор с хлористым кальцием; шпатели металлические; тигельные щипцы; балансирный конус Васильева; секундомер; стеклянная или пластмассовая пластинка.

Определение границы текучести

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

Подготовка к испытанию

1 Для определения границы текучести используют монолиты или образцы нарушенного сложения, для которых требуется сохранение природной влажности.

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, отбирают из размельченного грунта методом квартования пробу массой около 300 г и протирают сквозь сито с сеткой 2 мм.

Пробу выдерживают в закрытом стеклянном сосуде не менее 2 ч.

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

4 Добавлять сухой грунт в грунтовую пасту не допускается.

Проведение испытаний

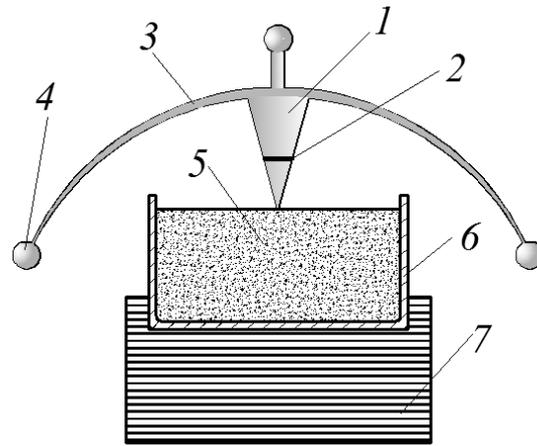
1 Подготовленную грунтовую пасту тщательно перемешивают шпателем и небольшими порциями плотно (без воздушных полостей) укладывают в цилиндрическую чашку к балансирному конусу. Поверхность пасты заглаживают шпателем вровень с краями чашки.

2 Балансирный конус (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 ее 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.



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

Рисунок 3.1 – Балансирный конус Васильева

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

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

Таблица 3.1 – Определение влажности на границе текучести

Номер стаканчика	Масса пустого стаканчика m_0 , г	Масса стаканчика с влажным грунтом m_1 , г	Масса стаканчика с сухим грунтом m_2 , г	Влажность грунта на границе текучести W_L , %	Средняя влажность $W_{L, cp}$, %

Определение границы раскатывания

Границу раскатывания (пластичности) следует определять 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 лабораторной работой № 2.

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

Таблица 3.2 – Определение влажности на границе раскатывания

Номер стаканчика	Масса пустого стаканчика m_0 , г	Масса стаканчика с влажным грунтом m_1 , г	Масса стаканчика с сухим грунтом m_2 , г	Влажность грунта на границе текучести W_P , %	Средняя влажность $W_{P, cp}$, %

Обработка результатов

1 Влажность грунта определяется по формуле (2.1).

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

$$J_P = W_L - W_P, \quad (3.1)$$

где W_L – влажность на границе текучести;

W_P – влажность на границе раскатывания.

По числу пластичности определяют тип пылевато-глинистого грунта (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Тип пылевато-глинистого грунта

Тип пылевато-глинистого грунта	Число пластичности J_P
Супесь	$1 \leq J_P \leq 7$
Суглинок	$7 < J_P \leq 17$
Глина	$J_P > 17$

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

$$J_P = \frac{W - W_P}{W_L - W_P} = \frac{W - W_P}{J_P}. \quad (3.2)$$

Значение W берется по данным лабораторной работы № 2.

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

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

Таблица 3.4 – Консистенция глинистых грунтов

Глинистый грунт	Консистенция	Значение показателя текучести
Супесь	Твердая	$J_L < 0$
	Пластичная	$0 \leq J_L \leq 1$
	Текучая	$J_L > 1$
Суглинки и глины	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	$J_L > 1$

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 Какое количество грунта должно быть помещено в бюксе для определения влажности границы раскатывания?
- 5 Как определить тип пылевато-глинистого грунта?
- 6 Что такое характерные влажности?
- 7 Что такое число пластичности и для чего оно определяется?
- 8 Для чего определяется показатель текучести?
- 9 Что такое пластичность?
- 10 Как определить влажность грунта, соответствующую границе текучести?
- 11 Что характеризует граница раскатывания?

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 5180–84 [3].

4.1 Плотность грунта

Плотность определяются отношением массы вещества к занимаемому им объёму. В дорожном грунтоведении для характеристики плотности грунтов используют несколько показателей: плотность грунта ρ , плотность твёрдых ча-

стиц грунта ρ_s , плотность скелета грунта (сухого грунта) ρ_d . Единицами измерения показателей плотности являются килограмм на кубический метр или грамм на кубический сантиметр.

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 увеличением содержания тяжёлых минералов она увеличивается, а при увеличении 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 г/см³.

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 (плотность сухого грунта) – 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 зависит только от характера его сложения.

Для большинства грунтов, кроме расплывающихся и сыпучих, используется самый простой метод 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 методы. Они основаны на силе реакционного сопротивления грунта при погружении рабочего наконечника плотномера под статической или динамической нагрузкой.

При использовании метода пенетрации осуществляется забивание в грунт специального стержня (штампа) при помощи механического молота. При этом следует сосчитать 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 (метод взвешивания в воде).

Необходимая плотность грунта в сооружениях обычно бывает указана в проекте. Если же плотность грунтов в насыпных земляных сооружениях в проекте не указана, то ее принимают для суглинков и глин не менее $1,6 \text{ г/см}^3$, для супесей, песчаных и гравелисто-песчаных грунтов не менее $1,65 \text{ г/см}^3$.

Плотность используется как прямой расчетный показатель при вычислении бытового давления, давления на подпорную стенку, при расчете устойчивости оползневых склонов и откосов, осадки сооружений, распределения напряжений в грунтах основания под фундаментами, при определении объема земляных работ и др. Лабораторные методы определения характеристик плотности грунтов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Методы определения характеристик плотности грунтов

Характеристика грунта	Метод определения	Грунт (область применимости метода)
Плотность грунта	Режущим кольцом	Легко поддающиеся вырезке или не сохраняющие свою форму без кольца, сыпучемерзлые и с массивной криогенной текстурой
	Взвешивание в воле парафинированных образцов	Пылевато-глинистые немерзлые, склонные к крошению или трудно поддающиеся вырезке
	Взвешивание в нейтральной жидкости	Мерзлые
	Объемные методы	Мерзлые, скальные и крупнообломочные грунты
	Гамма-лучевые методы	Все грунты
Плотность сухого грунта	Расчетный	Все грунты
Плотность частиц грунта	Пикнометрический с водой	Все грунты, кроме засоленных и набухающих
	То же с нейтральной жидкостью	Засоленные и набухающие
	Метод двух пикнометров	Засоленные

Проведения работы

Для определения плотности грунта методом режущего кольца необходимы следующие приборы и оборудование: весы технические; режущее кольцо диаметром не менее 40...70 мм; нож; бюксы; сушильный шкаф; стеклянные пластинки.

Подготовка к испытаниям

Плотность грунта определяется отношением массы образца грунта к его объему.

1 Согласно требованиям таблицы 4.2 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 4.2 – Выбор режущего кольца в зависимости от вида грунта.

Наименование и состояние грунтов	Размеры кольца-пробоотборника		
	Толщина стенки, мм	Диаметр внутренний d , мм	Высота h , мм
Немерзлые пылевато-глинистые грунты	1,5...2,0	50	$0,8 d > h > 0,3 d$
Немерзлые и сыпучемерзлые песчаные грунты	2,0...4,0	70	$d > h > 0,3 d$
Мерзлые пылевато-глинистые грунты	3,0...4,0	80	$h = d$



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 см³.

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 и 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 Определяют 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 рассчитывают по формуле

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

где W – влажность грунта (определенная в соответствии с лабораторной работой № 2).

5 Удельный вес сухого грунта

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

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

6 Данные определения заносятся в таблицы 4.3 и 4.4.

Таблица 4.3 – Результаты определения влажности грунта

Номер стаканчика	Масса стаканчика, m_0	Масса стаканчика с влажным грунтом, m_1	Масса стаканчика с сухим грунтом, m_2	Масса воды $m_1 - m_2$	Масса сухого грунта $m_2 - m_0$	Влажность грунта $W, \%$	Средняя влажность $W_{cp}, \%$

Таблица 4.4 – Результаты определения плотности грунта

Номер кольца	Масса кольца $m_0, \text{г}$	Объем кольца $V, \text{см}^3$	Масса кольца с грунтом и пластинками $m_1, \text{г}$	Масса пластинок (верхней и нижней) $m_2, \text{г}$	Плотность грунта $\rho, \text{г/см}^3$	Удельный вес грунта $\gamma, \text{кН/м}^3$	Влажность грунта $W, \%$	Плотность сухого грунта $\rho_d, \text{г/см}^3$	Удельный вес сухого грунта $\gamma_d, \text{кН/м}^3$

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 5180–84 [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. Численно она равна отношению массы твёрдых частиц грунта (исключая массу воды в его порах) 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, 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. Плотность частиц грунта в лабораторных условиях определяется пикнометрическим методом.

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 объему его твердой части. В грунтах, не содержащих водорастворимых веществ и органических остатков, удельный вес дисперсных грунтов является величиной довольно постоянной.

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

Проведение работы

Для определения плотности частиц грунта пикнометрическим методом необходимы следующие приборы и оборудование: пикнометр (рисунок 5.1); баня песчаная; воронка; эксикатор; термометр; щипцы тигельные; весы лабораторные; ступка фарфоровая; набор сит; 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, 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.

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 – 0,5 ч, 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 $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

4 После охлаждения пикнометра следует поправить положение мениска воды в нем, добавляя из капельницы дистиллированную воду. В пикнометре с мерной рисккой 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. Затем выполняют операции, указанные в п. 4, и взвешивают пикнометр с водой.

Обработка результатов

1 Определить плотность частиц грунта по формуле

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

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 (таблица 5.2).

2 Определить 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 определения занести в таблицу 5.3.

Таблица 5.2 – Плотность воды при различных температурах

Температура, °С	Плотность, г/см ³
0...14	0,999
14...20	0,998
20...24	0,997
24...28	0,996
28...32	0,995
32...34	0,994
34...38	0,993
38...40	0,992
40...42	0,991
42...44	0,990

Таблица 5.3 – 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 Зачем 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

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 предельного 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.

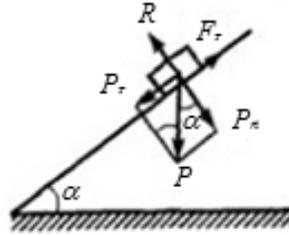


Рисунок 6.1 – Схема к расчету угла естественного откоса и коэффициента трения

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} — коэффициента трения;

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

α — угол естественного откоса.

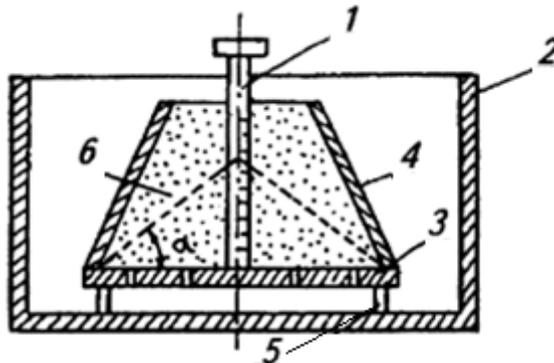
Таким образом, угол естественного откоса зависит от коэффициента трения между кусками породы и поверхностью, по которой возможно ее скольжение. Так как угол естественного откоса связан с коэффициентом трения, то он зависит от шероховатости зерен, степени их увлажнения, гранулометрического состава и формы, 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 $30...40^\circ$, для водонасыщенного грунта — $24...33^\circ$. Значение угла естественного откоса для сухих и водонасыщенных песчаных грунтов в рыхлом состоянии почти 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, и 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. 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.

По углам естественного откоса определяются максимально допустимые углы откосов уступов и бортов карьеров, насыпей, отвалов и штабелей.

Для определения угла естественного откоса песчаного грунта в воздушно-сухом состоянии используют прибор УВТ-2 (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

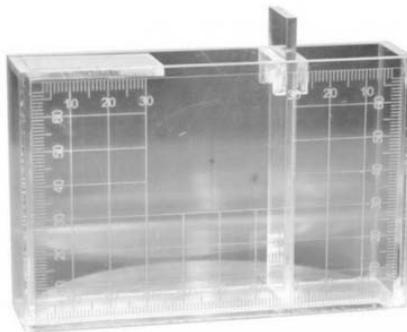


Рисунок 6.3 – Прибор УВТ малый

Проведение работы

Для определения угла естественного откоса песчаного грунта необходимы следующие приборы и оборудование: приборы для определения угла естественного откоса УВТ-2 и УВТ малый; сито с сеткой № 2; фарфоровая ступка.

Подготовка к испытаниям

Образец грунта в воздушно-сухом состоянии размельчают в фарфоровой ступке и просеивают сквозь сито с сеткой № 2.

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 воды.

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 – 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 повторить опыт и вычислить среднее значение для угла естественного откоса.

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

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

где h – высота осыпавшейся части грунта;

L – длина осыпавшейся части грунта.

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

Таблица 6.1 – Величина тангенсов для вычисления угла естественного откоса

α°	$\text{tg}\alpha$	α°	$\text{tg}\alpha$	α°	$\text{tg}\alpha$	α°	$\text{tg}\alpha$
16	0,287	26	0,488	36	0,727		
17	0,306	27	0,510	37	0,754	46	1,036
18	0,325	28	0,532	38	0,781	47	1,072
19	0,344	29	0,554	39	0,810	48	1,111
20	0,364	30	0,577	40	0,839	49	1,150
21	0,384	31	0,601	41	0,869	50	1,192
22	0,404	32	0,625	42	0,900	51	1,235
23	0,424	33	0,649	43	0,932	52	1,280
24	0,445	34	0,675	44	0,966		
25	0,466	35	0,700	45	1,000		

Таблица 6.2 – Результаты определения угла естественного откоса

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

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.

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, песчинок не ощущается, 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.

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

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

Для супесей существует три формы консистенции:

- твердая – грунт при этом рассыпается, не образуя катышей;
- пластичная – грунт образует катыши;
- текучая – грунт растекается по наклонной плоскости.

Проведение работы

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.

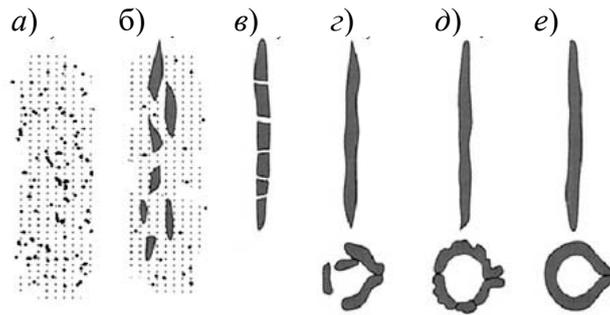
Таблица 7.1 – Признаки, определяющие тип грунта

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 видимых песчаных частиц	Шнур не образуется	В шарик не скатывается	Состоит почти целиком из песчаных частиц	Сыпучее	Не пластичное	Песчаный
То же, но ощущается большое количество пыли	Шнур не образуется	В шарик не скатывается	Среди зерен песка видны мелкие комковатые частицы	Сыпучее	Не пластичное	Песчаный пылеватый

Окончание таблицы 7.1

1	2	3	4	5	6	7
Ощущение песчано-пылевой 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 пылевато-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	Пльвунное	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
Пылевато-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
Среди пылевато-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 (все разновидности)

2 Скатывание в шнур. Грунт увлажняют до такой влажности, чтобы он приобрел связность, способность формироваться, 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.

Кроме минеральных частиц, грунт может содержать различные органические остатки.

Количественные отношения принимаются на глаз, судя по той картине, которая видна в поле зрения лупы. Результаты раздавливания сопоставляют с таблицей 7.1.

Обработка результатов

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

Полное наименование грунта определяют 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.

Таблица 7.3 – Результаты визуального определения вида грунта

Лабораторный номер грунта	Признаки, определяющие вид грунта						Название грунта
	Ощущение при растирании на ладони	Скатывание в шнур	Скатывание в шарик	Вид в лупу растертой массы грунта	Состояние сухого грунта	Состояние влажного грунта	

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. Определение свободного набухания грунтов

Цель работы: определить характеристики набухания глинистого грунта природного и нарушенного сложения по ГОСТ 12248–2010.

8.1 Понятие о набухаемости грунтов

Под *набухаемостью* понимается способность дисперсных грунтов увеличивать объем в процессе взаимодействия с водой или растворами. Это свойство связано с гидрофильным характером тонкодисперсной части связных грунтов и большой их удельной поверхностью. Оно обусловлено в основном образованием в грунте слабосвязанной воды.

Грунт набухающий – грунт, который при замачивании водой или другой жидкостью увеличивается в объеме и имеет относительную деформацию набухания (в условиях свободного набухания) не менее 0,04. Набухающие грунты обладают способностью набухать при увеличении влажности.

К набухающим грунтам относят глинистые грунты с большим содержанием гидрофильных глинистых минералов (монтмориллонит, каолинит, гидрослюда) и малой влажностью в природном состоянии. Также этой способностью обладают некоторые виды шлаков.

Поступающая в набухающие грунты влага адсорбируется поверхностью глинистых частиц, образуя гидратные оболочки. При первоначальном относительно близком расположении частиц под действием гидратных оболочек они раздвигаются, вызывая увеличение объема грунта. Часть воды проникает внутрь кристаллов глинистых минералов, также приводя к увеличению объема грунта. При уменьшении влажности набухающих грунтов возникает их усадка, приводящая к объемным деформациям. Таким образом, набухающие грунты отличаются набуханием (увеличением объема) при увлажнении и усадкой (уменьшением объема) при высыхании.

В процессе набухания не только увеличивается объем грунта, но и уменьшается его связанность благодаря значительному ослаблению сцепления между отдельными грунтовыми частицами. Набухание грунтов может привести к их разрушению под действием воды – обусловить размокание грунта.

Пески и супеси или совсем не проявляют набухания, или набухают очень слабо. Набухание суглинков и глин возрастает в соответствии с увеличением содержания в них глинистых и особенно коллоидных частиц.

Основания, сложенные набухающими грунтами, должны проектироваться с учетом способности таких грунтов при повышении влажности увеличиваться в объеме – набухать. При последующем понижении влажности у набухающих грунтов происходит обратный процесс – усадка.

Критерием набухания глинистых грунтов служит величина относительного набухания, определяемая по формуле

$$\varepsilon_{sw} = (h' - h) / h, \quad (8.1)$$

где h и h' – высота образца грунта соответственно до и после замачивания при компрессионном сжатии под нагрузкой интенсивностью p .

По относительному набуханию ε_{sw} , определенному для необжатого образца (свободное набухание), т. е. при $p = 0$ в условиях невозможности бокового расширения, глинистые грунты классифицируются как:

- ненабухающие при $\varepsilon_{sw} \leq 0,04$;
- слабонабухающие при $0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$;
- средненабухающие при $0,08 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,12$;
- сильнонабухающие при $\varepsilon_{sw} \geq 0,12$.

Давление набухания p_{sw} соответствует нагрузке, которую необходимо приложить к образцу грунта в условиях компрессионного сжатия, чтобы исключить деформации набухания при его замачивании. Давление набухания можно измерять только жестким динамометром, фиксируя деформацию набухания образца на нулевой отметке.

Испытания проводят для определения показателей, характеризующих изменение объема глинистых грунтов при водонасыщении (набухание) или высыхании (усадка). Определяют следующие характеристики набухания: свободное набухание ε_{sw0} , набухание под нагрузкой ε_{sw} , давление набухания p_{sw} , влажность грунта после набухания w_{sw} и характеристики усадки: усадка по высоте ε_h , диаметру ε_d и объему ε_v , влажность на пределе усадки w_y .

Характеристики набухания определяют по результатам испытаний образцов в приборах свободного набухания грунтов (ПНГ) и в компрессионных приборах при насыщении грунта водой или химическим раствором. Усадку грунта определяют в условиях свободной трехосной деформации образца при высыхании грунта.

Проведение работы

Для определения относительного набухания используется следующее оборудование: прибор свободного набухания ГТ 1.1.6 (рисунок 8.1).



Рисунок 8.1 – Прибор свободного набухания ГТ 1.1.6.

Проведение испытаний

1 Подготовить образец грунта для испытания. Для испытаний используют образцы ненарушенного сложения с природной влажностью или образцы нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности.

Образец грунта для определения свободного набухания должен иметь форму цилиндра диаметром не менее 50 мм и соотношение начального диаметра и высоты от 2,5 до 3,0. Не допускается использовать для испытаний глинистые грунты, содержащие крупнообломочные включения размерами зерен более 5 мм.

2 Образец грунта в рабочем кольце покрывают с двух сторон фильтрами и помещают в ПНГ.

3 Устанавливают устройства для измерения вертикальных деформаций образцов. Записывают начальные показания устройств.

4 Образцы при испытании на набухание следует заливать грунтовой водой, взятой с места отбора грунта, водной вытяжкой или водой питьевого качества. В случаях, определяемых программой исследований, допускается применение дистиллированной воды и искусственно приготовленных растворов заданного химического состава.

5 Испытание для определения характеристик набухания проводят до прекращения поглощения образцом грунта воды (или раствора). Свободное набухание определяют испытанием одиночного образца грунта.

6 При определении свободного набухания в ПНГ подают жидкость снизу образца и регистрируют развитие деформаций во времени по показаниям индикаторов деформаций.

7 После замачивания образцов регистрируют деформации s через 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 60, 90 мин до достижения условной стабилизации деформаций (полученные данные заносят в таблицу 8.1).

Таблица 8.1 – Результаты измерений

t , мин	1	2	3	5	10	20	30	60	90
s									

В случае отсутствия набухания замачивание проводят в течение трех суток.

8 После завершения набухания образца необходимо слить жидкость из прибора, кольцо с влажным грунтом (без фильтров) взвесить, провести контрольное измерение высоты образца грунта в кольце и определить влажность грунта.

Обработка результатов

По результатам испытаний грунта в ПНГ:

- строят график зависимости деформации от времени $s = f(t)$;
- определяют относительную деформацию образца ε_{sw} с точностью 0,001 по формуле (8.1);
- по значению ε_{sw} классифицируют глинистый грунт по набуханию.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что такое набухаемость?
- 2 Что такое набухающий грунт?
- 3 Какие грунты относятся к набухающим?
- 4 Из-за чего происходит процесс набухания?
- 5 Что такое свободное набухание?
- 6 Для чего проводятся испытания на набухание под давлением?
- 7 Какие характеристики набухания определяются?
- 8 Как классифицируются грунты по ε_{sw} ?

9 Лабораторная работа № 9. 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 12248–96 [4].

9.1 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. Н. М. Герсеванов в 1930 г., рассматривая работу грунта в условиях возрастающей нагрузки, выделил три 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, состоящий 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 во-

дой ($S_r = 1$), вместо коэффициента пористости e можно рассматривать влажность W , ибо 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 называется *осадкой*, или деформацией грунтов.

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

Испытание грунтов на сжатие производится следующими видами:

– одноосное сжатие образцов;

– двухосное (компрессионное);

– трехосное.

Основными характеристиками сжимаемости грунтов являются модуль общей деформации E , 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

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (9.1)$$

где E – модуль упругости грунта:

ε – относительная деформация,

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}, \quad (9.2)$$

где l – длина после деформации;

l_0 – первоначальная длина.

Модуль деформации определяется в лабораторных условиях с помощью компрессионного прибора (одеметра) или прибора трехосного сжатия (стаби-

лометра) в полевых условиях путем испытания грунта штампом, прессиомером 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 – средней сжимаемости;
- $m_0 > 1,0$ МПа⁻¹ – 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 (одомерах).

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

$$\sigma = F/A, \quad (9.3)$$

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 среднерастворимые 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.

Проведение работы

Для проведения испытаний используется следующее оборудование: автоматизированный испытательный комплекс АСИС (рисунок 9.1); одомер в составе комплекса АСИС, предназначенный для испытания образцов грунта в условиях компрессионного сжатия по ГОСТ 12248–96 (рисунок 9.2); программа управления испытаниями GEOTEK ASIS, предназначенная для проведения лабораторных испытаний образцов песчаных и глинистых грунтов в соответствии с ГОСТ 12248–96; нож; фильтрующая бумага.



Рисунок 9.1 – Автоматизированный испытательный комплекс АСИС

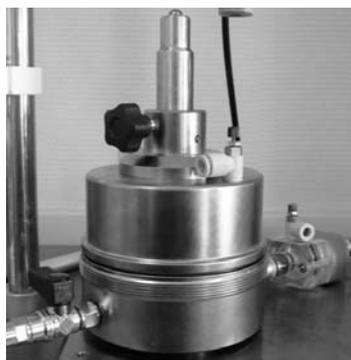


Рисунок 9.2 – Одомер

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 рисккой 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 одомер надеть металлическое кольцо и за-

крутить 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 9.3).



Рисунок 9.3 – Собранный одометр

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

6 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.

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

8 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 сообще-

нии, необходимо в нижнем левом углу нажать кнопку «Открыть протокол». Для того чтобы пересохранить данные испытания, нажать «В проводнике» и данные сохранить в любую папку.

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

10 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 9.1 и 9.2) и графиков.

Таблица 9.1 – 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

Таблица 9.2 – Журнал наблюдений

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

2 По данным таблицы 9.2 строят компрессионные кривые $\varepsilon = f(\sigma)$ и $e = f(\sigma)$.

3 Определяется (по заданию преподавателя) характеристика деформируемости грунта m_0 в одном из интервалов изменения давления. По значению m_0 оцениваем сжимаемость.

$$m_0 = \Delta e / \Delta \sigma = (e_1 - e_2) / (\sigma_2 - \sigma_1), \quad (9.4)$$

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

e_1 и e_2 – соответствующие значения коэффициентов пористости.

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

$$m_v = m_0 / (1 + e_0); \quad (9.5)$$

$$E_{oed} = \beta / m_v, \quad (9.6)$$

где β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в приборе и назначаемый в зависимости от коэффициента Пуассона ν (таблица 9.3).

Таблица 9.3 – 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

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 деформативные характеристики?

10 Лабораторная работа № 10. Проведение испытаний на устройстве одноплоскостного среза

Цель работы: испытать грунт методом одноплоскостного среза для определения угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c для песков (кроме гравелистых и крупных), глинистых и органоминеральных грунтов.

10.1 Сопротивление грунта сдвигу

Сопротивление грунта сдвигающим усилиям характеризуется проявлением внутренних сил в грунте – сил внутреннего трения и сцепления.

Сопротивление сдвигу грунтов очень сильно зависит от их плотности, влажности, гранулометрического и минерального состава, напряженного состояния. Характеристики сопротивления сдвигу грунтов рассматриваются как прочностные показатели и всегда определяются экспериментально.

Закон сдвига Кулона для сыпучих грунтов: *предельное сопротивление сыпучих грунтов сдвигу прямо пропорционально нормальному напряжению.*

Закон сдвига Кулона для сыпучих грунтов описывается формулой

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (10.1)$$

где τ – сопротивление сдвигу;

σ – нормальное напряжение (давление);

φ – угол внутреннего трения грунта, определяет прочность грунта (для сыпучих грунтов совпадает с углом естественного откоса).

Графическая зависимость показана на рисунке 10.1.

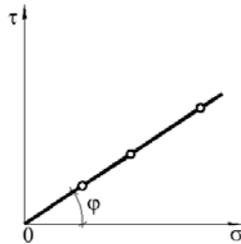


Рисунок 10.1 – График сопротивления сдвигу сыпучего грунта

Закон сдвига Кулона для пылевато-глинистых грунтов: *предельное сопротивление связных грунтов сдвигу при завершённой их консолидации есть функция первой степени нормального напряжения.*

Закон сдвига Кулона для пылевато-глинистых грунтов описывается формулой

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (10.2)$$

где c – удельное сцепление грунта.

Графическая зависимость показана на рисунке 10.2.

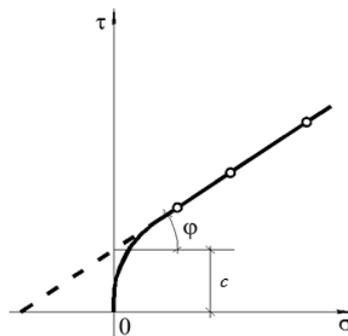


Рисунок 10.2 – График сопротивления сдвигу связного грунта

Для определения характеристик прочности необходимо провести испытание на сдвиг нескольких образцов одного и того же грунта при разной величине вертикальных сжимающих напряжений, но одной и той же плотности. Образцы грунта одной и той же плотности получают после предварительного их уплотнения в специальных приборах, которые называют приборами для уплотнения грунтов перед сдвигом.

Проведение работы

Для проведения испытаний используется следующее оборудование: автоматизированный испытательный комплекс АСИС (см. рисунок 9.1); механизм срезной ГТ 2.2.3 (рисунок 10.3) в составе комплекса АСИС, предназначенный для испытания образцов грунта в условиях одноплоскостного среза; прибор предварительного уплотнения ГТ 1.2.5 (рисунок 10.4).



Рисунок 10.3 – Механизм срезной ГТ 2.2.3



Рисунок 10.4 – Прибор предварительного уплотнения ГТ 1.2.5

Подготовка к испытаниям

1 Перед испытаниями для образцов определяют влажность W , плотность грунта ρ , плотность частиц грунта ρ_s , пористость n , коэффициент пористости e , влажность на границе раскатывания w_p и на границе текучести w_L , число пластичности I_p и показатель текучести I_L .

2 Предварительное уплотнение образца грунта в приборе уплотнения ГТ 1.2.5 проводится в соответствии с ГОСТ 12248–2010.

Проведение испытаний

1 Помещают в прибор кольцо с грунтом (автоматизированный испытательный комплекс АСИС для проведения работ подготавливается заранее).

2 Методы испытаний запрограммированы в приборе (при проведении лабораторных работ испытания проводятся по схеме неконсолидированно-недренированные).

3 В окне «Новое испытание» нажать кнопку «Старт» и запустить испытание – открывается окно испытания.

Далее в соответствии с заложенной в программу АСИС 3.3 схемой будет проводиться испытание.

4 По завершении испытания устройство одноплоскостного среза 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. Для того чтобы сразу провести расчет по данным испытания, нажать кнопку «В программе просмотра» и открывшиеся данные испытания скопировать в соответствующий excel шаблон.

Обработка результатов

1 По измеренным в процессе испытания значениям горизонтальной срезающей и нормальной нагрузок вычисляют касательные и нормальные напряжения τ и σ , МПа, по формулам:

$$\tau = 10 \frac{Q}{A}, \quad (10.1)$$

$$\sigma = 10 \frac{F}{A}, \quad (10.2)$$

где Q и F – горизонтальная срезающая и нормальная сила к плоскости среза соответственно, кН;

A – площадь образца, см².

2 Результаты испытания грунта оформляют в виде графика $\tau = f(\sigma)$.

3 Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c определяют как параметры линейной зависимости

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + c, \quad (10.3)$$

где τ и σ определяют по формулам (10.1) и (10.2).

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c , МПа, определяют по графику $\tau = f(\sigma)$, проводя прямую наилучшего приближения к экспериментальным точкам. Результаты определений τ и c по графику необходимо выразить с точностью до 0,01 кгс/см², а φ – с точностью до 1°.

4 При выполнении лабораторных испытаний студенты заносят результат в таблицы 10.1 и 10.2, строят график зависимости $\tau = f(\sigma)$ (данные для построения графика берутся по нескольким проведенным испытаниям).

Таблица 10.1 – Физические характеристики грунта

Номер испытаний	w	w_L	w_p	I_p	I_L	ρ	ρ_d	ρ_s	e
	%					г/см ³			

Таблица 10.2 – Результаты испытаний

$\sigma, 10^5 \text{ Па}$	$\tau, 10^5 \text{ Па}$	$\text{tg } \varphi$	φ	$c, \text{ кПа}$

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какова цель работы по испытанию грунта на срез?
- 2 Как называются математические параметры уравнения, выражающие закон сдвига (закон Кулона)?
- 3 Каков вид графиков зависимости Кулона для песчаных грунтов?
- 4 Каков вид графиков зависимости Кулона для глинистых грунтов?
- 5 Закон Кулона для сыпучих грунтов.
- 6 Закон Кулона для связных грунтов.
- 7 Каково влияние фактора времени на величину характеристик прочности несвязных и связных грунтов?
- 8 В каких расчетах используются прочностные характеристики грунтов?
- 9 Какие способы определения прочностных характеристик грунтов известны Вам помимо испытаний грунта в срезных приборах?

Список литературы

- 1 **СТБ 943–2007.** Грунты. Классификация. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2007. – 18 с.
- 2 **ГОСТ 12536–79.** Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – Москва: Стандартиформ, 2008. – 18 с.
- 3 **ГОСТ 5180–84.** Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик – Москва: Стандартиформ, 2005. – 19 с.
- 4 **ГОСТ 12248–96.** Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – Москва: Изд-во стандартов, 2005. – 58 с.
- 5 **СТБ 21.302–12.** Инженерно-геологические изыскания для строительства. – Минск, 1999. – 36 с.
- 8 **Бабаскин, Ю. Г.** Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог / Ю. Г. Бабаскин. – Минск: БНТУ, 2002. – 197 с.