

МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Лабораторный практикум

для студентов специальностей

- 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,
- 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»,
- 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»,
- 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство»,
- 1-70 07 01 «Строительство тепловых и атомных электростанций»,
- 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение
и охрана водных ресурсов»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области строительства и архитектуры*

УДК 624.131+624.15.04(076.5)(075.8)

ББК 38.112я7

М55

С о с т а в и т е л и:

*Т. М. Уласик, С. Н. Банников, Моради Сани Б.,
Ю. А. Ерохина, Т. В. Тронда, И. П. Крошнер*

Р е ц е н з е н т ы:

К. Э. Повколас, С. Н. Ковшар

Механика грунтов, основания и фундаменты: лабораторный практикум для студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью», 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство», 1-70 07 01 «Строительство тепловых и атомных электростанций», 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» / сост.: Т. М. Уласик [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – 57 с.
ISBN 978-985-583-213-4.

В лабораторном практикуме «Механика грунтов» приводится краткое изложение теоретических основ грунтоведения, механики грунтов и методы определения физических и механических свойств грунтов в соответствии с типовой учебной программой и действующими нормативными документами и государственными стандартами. В программе принята международная система единиц СИ.

УДК 624.131+624.15.04(076.5)(075.8)

ББК 38.112я7

ISBN 978-985-583-213-4

© Белорусский национальный
технический университет, 2021

Введение

Грунты представляют собой горные породы, залегающие в верхних слоях земной коры и используемые в строительстве как основание, среда или материал при возведении различного рода сооружений.

Дисперсные грунты состоят из частиц разной крупности минерального и органического происхождения (твердая фаза), воды различных категорий (жидкая фаза) и воздуха или газа (газообразная фаза). Они отличаются многообразием свойств из-за чрезвычайно широкого диапазона состава, сложения и связности. Однако оценка строительных свойств грунтов может быть произведена сравнительно небольшим числом физических и механических характеристик, которые в зависимости от их применения могут быть условно разделены на две группы:

1) используемые для отнесения грунтов к определенным классификационным группам: гранулометрический, минералогический и химический составы, пластичность и т. д.;

2) применяемые при расчетах: плотность, коэффициент пористости, модуль деформации, угол внутреннего трения, сцепление, показатель сжимаемости, коэффициент фильтрации и т. д.

К этим расчетам относятся определение прочности и деформации грунтов, устойчивости откосов, давления грунта на ограждения, горного давления на обделку подземных выработок, проектирование фундаментов, способов производства работ по устройству оснований и т. д.

Из приведенного перечня видно, что круг задач и вопросов, решаемых с помощью грунтовых характеристик, чрезвычайно широк. Поэтому изучение физико-механических показателей и выявление с их помощью строительных свойств грунта является необходимой предпосылкой к основанию курса «Механика грунтов, основания и фундаменты».

Цель лабораторных занятий – ознакомиться с основными показателями физико-механических свойств грунтов и обучение методам испытаний грунтов.

Лабораторная работа № 1

ОТБОР ПРОБ ГРУНТОВ НЕНАРУШЕННОГО И НАРУШЕННОГО СЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА

Отбор образцов грунтов, их упаковка, транспортировка и хранение для лабораторных исследований

Достоверность лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов в значительной степени зависит от способа отбора образцов, их упаковки, транспортировки и хранения.

Пробы грунтов отбираются согласно ГОСТ 12071-2014 в виде монолитов, т. е. образцов естественного сложения и влажности, или в виде образцов нарушенного сложения.

Монолиты связных грунтов вырезаются в форме параллелепипедов с размеров граней от 10 до 25 см, кусков керна или цилиндров (диаметром не менее 80 мм). Их отбирают из зачищенных стенок или забоев шурфов, котлованов, буровых скважин, затем обматывают марлей в несколько слоев и опускают на 1–2 минуты в расплавленный парафин.

Образцы нарушенного сложения помещают в мешочки из плотной ткани или полиэтиленовой пленки. Пробы грунтов для транспортировки упаковывают в прочные ящики. Грунты естественного отложения и влажности кладут во влажные опилки, мелкую стружку или солому для предохранения от разрушения и высыхания. Хранить образцы грунта желательно в помещениях с относительной влажностью воздуха 50–60 %. Срок хранения образцов должен быть не более 15–30 дней.

Каждая проба грунта должна сопровождаться этикеткой, в которой указывают номер, место и время отбора. Вскрытие монолита производится непосредственно перед анализом.

Ход работы

1. Ножом срезают марлю с верха монолита.
2. С этикетки переписывают все данные в лабораторную тетрадь.
3. Ножом срезают верхний разрушенный слой грунта толщиной 1–2 см. Отбирают из монолита кольцом (диаметр 50–70 мм, высота 15–20 мм) образцы для определения механических свойств грунтов.

4. Взвешивают кольцо на технических весах с точностью до 0,01 г, устанавливают его режущей кромкой на выровненную ножом площадку монолита и постепенно без перекоса вдавливают в грунт до тех пор, пока грунт не выступит из кольца на 1–1,5 см. Затем столбик грунта подрезают снизу, кольцо с грунтом отделяют от монолита, удалив лишний грунт и срезая его вровень с верхней и нижней кромками кольца.

5. Кольцо с грунтом взвешивают, помещают в футляр. На наружной стороне футляра мягким карандашом записывают номер группы, бригады, дату и хранят для последующих работ.

6. Образец грунта нарушенного сложения отбирают в мешочки. В мешочек вкладывают этикетку и прикрепляют бирку с указанием группы и бригады.

7. Данные записывают в табл. 1 (см. лабораторную тетрадь).

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА СИТОВЫМ МЕТОДОМ

Гранулометрический состав грунта, гранулометрические анализы

Нескальные грунты (крупнообломочные, песчаные и глинистые) состоят из отдельных обломков различной величины (от метров до тысячных долей миллиметра), формы и вещественного состава.

Относительное содержание частиц различной крупности, выраженное в процентах от массы сухого грунта, характеризует гранулометрический или механический состав грунта. Гранулометрический состав определяет многие свойства грунта, такие как пластичность, пористость, набухание, усадка, сжимаемость и др. По гранулометрическому составу дается наименование крупнообломочным и песчаным грунтам.

Определение гранулометрического состава производится соответствующими анализами согласно ГОСТ 12536-2014, для чего грунты разделяются на фракции (группы зерен, близкие по крупности).

Грунтовые частицы (главным образом глинистых грунтов) соединены между собой в агрегаты различной прочности. Поэтому,

чтобы получить правильное представление о гранулометрическом составе, необходимо перед анализом произвести подготовку грунта в целях разрушения агрегатов.

Способы подготовки грунта к гранулометрическому анализу можно разделить на три группы: механические, химические и физико-химические.

К механическим способам относятся: растирание грунта в ступке, взбалтывание суспензии грунта и кипячение.

Химическая подготовка состоит в разрушении карбонатов и органических веществ. Разрушение карбонатов обычно достигается обработкой соляной кислотой, а органических веществ – перекисью водорода.

Физико-химические методы заключаются в обработке грунта растворами солей натрия или аммония, для раздробления его высокодисперсной части.

При анализе грунта в строительных целях обычно ограничиваются механическими способами его подготовки: растиранием в ступке и кипячением.

Ситовый метод применяют для определения гранулометрического состава песчаных и крупнообломочных грунтов. Грунт с помощью специального набора сит рассеивают на отдельные фракции. Стандартный набор состоит из сит с отверстиями 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 мм. Сита собирают в колонку так, чтобы их отверстия уменьшались сверху вниз. Под нижнее сито подставляют поддон.

Ход работы

1. Из воздушно-сухого грунта отбирают среднюю пробу, величина которой зависит от однородности состава грунта. Чем менее однороден грунт, тем больше должна быть средняя проба.

Средняя проба берется следующий образом: на листе бумаги весь образец грунта тщательно перемешивают, разравнивают ножом или линейкой и разделяют на четыре части.

Две части, лежащие накрест, отбрасывают, а две другие соединяют, перемешивают, разравнивают, разделяют на четыре части и т. д. Эту операцию продолжают до тех пор, пока объем оставшегося грунта не будет примерно равен заданной величине средней пробы (величина средней пробы в данном случае берется равной 100 г).

Объем средней пробы для крупнообломочных грунтов – 600–3000 см³, для песчаных – 200–600 см³.

2. Пробу грунта взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г.

3. Взвешенный грунт помещают в колонку сит и встряхивают до тех пор, пока не будет достигнута полная отсортировка части.

4. Фракции, оставшиеся после просеивания на ситах и в поддоне, взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Суммарная масса всех фракций не должна отличаться более чем на 0,5 % от массы средней пробы, взятой для анализа.

5. Из суммарной массы навески вычисляют процентное содержание каждой фракции по формуле:

$$X = \frac{A \cdot 100 \%}{B},$$

где X – процентное содержание фракций в грунте;

A – масса фракции;

B – масса средней пробы.

Полученные данные записываются в табл. 2 (см. лабораторную тетрадь).

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА ПОЛЕВЫМ МЕТОДОМ (МЕТОД РУТКОВСКОГО)

Наибольшее распространение получил метод Рутковского, который применяется для массовых определений гранулометрического состава глинистых грунтов в поле. В основу метода положена способность глинистых фракций набухать в воде и различная скорость падения частиц в воде в зависимости от их размера.

Этим методом приближенно выделяют три основные группы фракций: глинистую, песчаную, пылеватую.

Ход работы

Определение содержания глинистых частиц (меньше 0,005 мм)

1. Из воздушно-сухого грунта, прошедшего через сито $d = 2$ мм, в мензурку емкостью 100 см^3 насыпают с уплотнением 5 см^3 грунта (V_0).

2. Грунт в мензурке разрыхляют, наливают $50\text{--}70 \text{ см}^3$ воды и тщательно размешивают стеклянной палочкой с резиновым накопчиком.

3. После размешивания к суспензии добавляют $2\text{--}3 \text{ см}^3$ пятипроцентного раствора хлорида кальция для ускорения коагуляции.

4. В мензурку доливают воды до 100 см^3 и оставляют суспензию отстаиваться на сутки.

5. Измеряют объем набухшего осадка V в мензурке и определяют приращение объема грунта K в результате его набухания по отношению к первоначальному объему V_0 :

$$K = \frac{V - V_0}{V_0}.$$

6. Определяют процентное содержание глинистой фракции по эмпирической формуле:

$$a = 23 \cdot K.$$

Определение содержания в грунте песчаных частиц (2...0,05 мм)

1. В мензурку емкостью 100 см^3 насыпают с уплотнением 10 см^3 грунта, прошедшего через сито $d = 2$ мм.

2. Грунт в мензурке разрыхляют, затем наливают 100 см^3 воды, тщательно размешивают содержимое стеклянной палочкой и отстаивают его в течение 90 с.

3. Через 90 с суспензию в объеме $70\text{--}75 \text{ см}^3$ сливают в банку.

4. Отмутнение в мензурке продолжают до тех пор, пока вода на сливаемую высоту по истечении 90 с не станет прозрачной.

5. Далее для контроля чистоты отмутнения в мензурку наливают воду до уровня 30 см^3 , взмучивают и через 30 с сливают весь слой жидкости, находящейся над осадком. Операцию повторяют до тех

пор, пока из осадка с водой не удалятся все взвешенные пылеватые и глинистые частицы.

6. Доливают в мензурку воды до 100 см³, дают отстояться и определяют объем осевшего на дно мензурки песка.

7. Принимая, что каждый кубический сантиметр осевшего песка соответствует 10 %, вычисляют его процентное содержание.

8. Если грунт содержит частицы крупнее 2 мм, то полученные результаты пересчитывают на всю пробу.

Определение содержания пылевой фракции (0,05...0,005 мм)

Процентное содержание пылевой фракции вычисляют по разности между 100 % грунта и суммой процентного содержания песчаной и глинистой фракции. Результаты анализа, вносят в табл. 3 лабораторной тетради.

Лабораторная работа № 4

ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИМЕНОВАНИЯ ГРУНТА

Для большей наглядности и удобства сравнения различных грунтов между собой гранулометрический состав обычно изображают графически, чаще в виде суммарной кривой гранулометрического состава или методом треугольных координат.

Ход работы

Кривая гранулометрического состава строится в системе прямоугольных координат в полулогарифмическом масштабе. Для построения графика последовательно суммируют содержание фракций, начиная с наиболее мелкой или крупной. Пример расчета результатов анализа по совокупности фракций приводится в табл. 1. После подсчета данных на оси ординат откладывают процентное содержание фракций из последней колонки табл. 1, на оси абсцисс – логарифмы диаметров частиц. Для данных табл. 1 кривая имеет вид, представленный на рис. 1.

Таблица 1

Диаметр частиц каждой фракции, мм	Содержание каждой фракции в грунте, %	Диаметр частиц по совокупности фракций, мм	Содержание по совокупности фракций, %
10,0–5,0	0,0	–	–
5,0–2,0	2,4	менее 5	100
2,0–1,0	8,2	3	97,6
1,0–0,5	32,4	1	89,4
0,5–0,1	48,5	0,5	57
менее 0,1	8,5	0,1	8,5

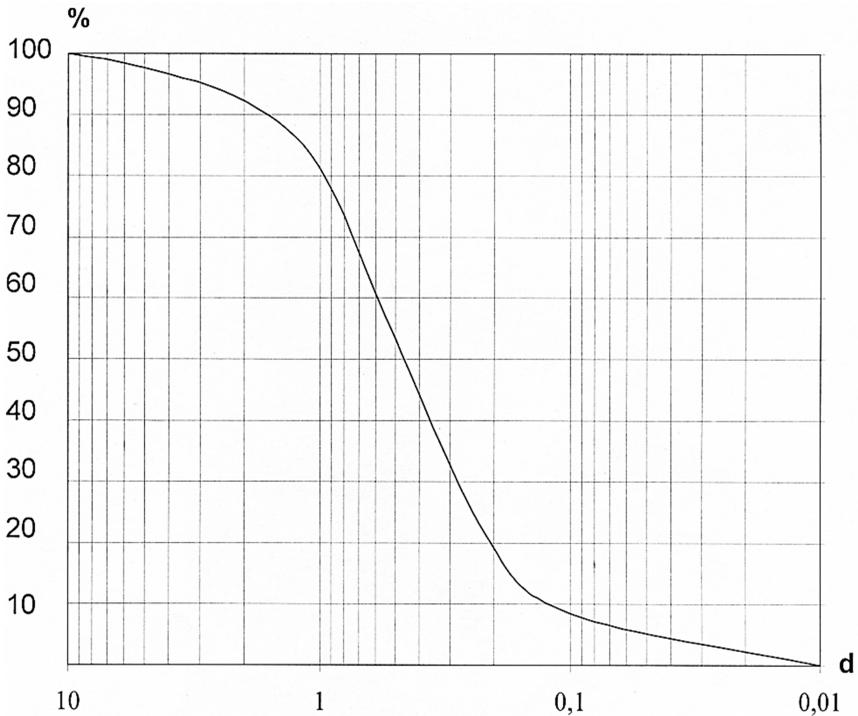


Рис. 1. Суммарная кривая гранулометрического состава

По кривой гранулометрического состава находят показатель максимальной неоднородности грунта U_{\max} (мера неоднородности гранулометрического состава песка) по формуле:

$$U_{\max} = d_{50} \frac{d_{95}}{d_5},$$

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

Для грунтов, гранулометрический состав которых определен в лабораторных работах № 2 и 3, строят кривые гранулометрического состава. Определяют наименование грунта, анализ которого сделан в лабораторной работе № 2, согласно табл. 4.2 классификации СТБ 943-2007 (прил. 1).

Наименование глинистому грунту, анализ которого проведен в лабораторной работе № 3, дают на основании упрощенной гранулометрической классификации (табл. 2).

Таблица 2

Наименование грунтов	Содержание глинистых частиц (диаметром меньше 0,005 мм) в % по весу
Глина	более 30
Суглинок	30–10
Супесь	10–3
Песок	менее 3

Все подсчеты производятся в табл. 5 лабораторной тетради.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Плотность грунтов

Плотность грунта равна отношению его массы, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему. Она зависит от влажности, пористости, минералогического состава и может меняться в значительных пределах. Максимального значения плотности грунт при данной пористости достигает при полном заполнении

пор водой. Плотность грунта используется в инженерно-технических расчетах оснований, земляных сооружений и среды для подземных конструкций, а также при установлении объема земляных работ.

Удельный вес грунта применяют для характеристики отношения веса грунта к занимаемому им объему в расчетах при определении природного давления, давления на подпорные стены. Зная плотность грунта, удельный вес находят по формуле:

$$\gamma = \rho \cdot g,$$

где γ – удельный вес, кН/м³;

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²;

ρ – плотность грунта, т/м³(г/см³);

Ход работы

Определение плотности грунта при плотном сложении

1. Взвесив металлический стакан (m_0), насыпают в него небольшую порцию песка в воздушно-сухом состоянии и производят уплотнение при помощи деревянной трамбовки.

2. После уплотнения первой порции песка насыпают в стакан вторую порцию и снова ее уплотняют. Операцию повторяют до тех пор, пока стакан не будет загружен полностью.

3. Удалив избыток песка линейкой, взвешивают стакан с песком (m_1).

4. Плотность грунта вычисляют по выражению:

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V}, \text{ г/см}^3,$$

где V – объем стакана, см³;

m_1 – масса стакана с песком, г;

m_0 – масса стакана, г.

Определение плотности в рыхлом состоянии

1. Песок высыпают на лист бумаги, а затем небольшой струей ссыпают в тот же металлический стакан, предварительно опустив туда спираль из проволоки (разрыхлитель). После этого разрыхли-

тель, медленно вращая, вынимают из стакана. Избыток песка удаляют линейкой, чтобы поверхность его была на одном уровне с краями сосуда.

2. Стакан с грунтом взвешивают (m_1) и определяют плотность песка по формуле:

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V}, \text{ г/см}^3.$$

Данные определений заносят в табл. 7 лабораторной тетради.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ РЕЖУЩЕГО КОЛЬЦА

Этот метод применяют для связных грунтов, легко поддающихся вырезке, а также песчаных грунтов ненарушенного сложения при естественной влажности.

Ход работы

1. Определяют размеры и внутренний объем кольца V .
2. Кольцо взвешивают на технических весах (m_0).
3. Зачистив поверхность грунта, ставят на нее кольцо острым режущим краем вниз. Придерживая кольцо рукой, острым ножом вырезают столбик грунта высотой 1–2 см и диаметром, равным внешнему диаметру кольца. Осторожно нажимая на верхний край кольца, насаживают его на столбик грунта. Вырезание столбика грунта и погружение кольца в грунт продолжается до полного его заполнения. В песчаные грунты, из которых не удастся вырезать столбик, кольцо вдавливают.
4. После заполнения кольца столбик грунта подрезают снизу ножом и отделяют кольцо с грунтом. Грунт, выступающий из кольца, срезают вровень с его краями.
5. Взвешивают кольцо с грунтом (m_1).
6. Определив массу грунта $m = m_1 - m_0$, вычисляют плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3,$$

где m – масса грунта, г;
 V – объем кольца, см³.

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Расхождение в результатах параллельных определений больше чем на 0,03 г/см³ не допускается. Данные определений записывают в табл. 8 лабораторной тетради.

Лабораторная работа № 7

МЕТОД ПАРАФИНИРОВАНИЯ

Этот метод применяют для связных грунтов, трудно поддающихся вырезке или склонных крошиться.

Ход работы

1. Берут пробу грунта не менее 30 см³, удалив по возможности при помощи ножа выступающие острые части, взвешивают его на технических весах (m).
2. Погружают образец, предварительно обвязав его ниткой, на 1–2 с в нагретый до 57–60 °С парафин.
3. Когда парафиновая оболочка остынет, образец взвешивают и определяют массу запарафинированного образца m_1 .
4. Определяют массу парафина $m_n = m_1 - m$.
5. Определяют объем парафиновой оболочки:

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

где 0,9 г/см³ – плотность парафина.

6. Подвесив запарафинированный образец грунта на крюк коромысла весов, погружают его в стакан с чистой водой и взвешивают (m_2). Взвешивание в воде производят на обычных технических весах, используя для этой цели специальную подставку.

7. Определяют объем запарафинированного образца по формуле:

$$V_1 = \frac{m_1 - m_2}{\rho_w},$$

где m_1 – масса запарафинированного образца, г;

m_2 – масса запарафинированного образца в воде, г;

$\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$ – плотность воды.

8. Вычисляют плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V_1 - V_n}, \text{ г/см}^3,$$

где m – масса образца, г;

V_1 – объем запарафинированного образца, см^3 ;

V_n – объем парафина, см^3 .

Данные определений заносят в табл. 9 лабораторной тетради.

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

Влажность грунта

Грунт естественного залегания всегда содержит то или иное количество воды. Величина естественной влажности является важнейшей характеристикой физического состояния грунта. Влажностью называется отношение массы воды, удаленной из образца высушиванием при температуре $105 \text{ }^\circ\text{C}$, к массе абсолютно сухого грунта. Влажность может быть выражена в процентах или в долях единицы.

Для внесения поправок в гранулометрические анализы и других целей определяется гигроскопическая влажность грунта, которая обусловлена его способностью адсорбировать парообразную воду из воздуха. Она практически равна влажности воздушно-сухого, т. е. высохшего на воздухе, грунта.

Ход работы

1. Взвешивают пустой бюкс с крышкой на технических весах с точностью до 0,01 г (m_0).

2. В бюкс помещают образец влажного грунта массой 10–20 г и взвешивают (m_1).

3. Сняв предварительно крышку, бюкс помещают в сушильный шкаф, где поддерживается постоянная температура около 105 °С. Выдерживают образец в шкафу не менее 6 ч, после остывания бюкса в эксикаторе с притертой крышкой его взвешивают (m_2).

4. Величину влажности грунта W в процентах вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100 \%,$$

где W – влажность грунта, %;

m_1 – масса бюкса с влажным грунтом, г;

m_2 – масса бюкса с сухим грунтом, г;

m_0 – масса бюкса, г.

5. Данные определения заносят в табл. 11 лабораторной тетради.

6. Для каждой пробы грунта следует делать два определения влажности. Расхождения между параллельными определениями допускаются до 2 %.

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ НЕЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ

Плотность частиц грунта

Плотностью частиц грунта называется отношение массы сухого грунта, исключая массу воды в его порах, к объему твердой части этого грунта:

$$\rho_s = \frac{m_c}{V_s},$$

где m_c – масса сухого грунта, г;

V_s – объем сухого грунта, см^3 .

Плотность частиц грунта обуславливается только минералогическим составом. В ориентировочных расчетах плотность песков принимают равной $2,66 \text{ г/см}^3$; супесей и суглинков – $2,7 \text{ г/см}^3$; глин – $2,75 \text{ г/см}^3$.

Для определения плотности частиц грунта применяют мерные сосуды (пикнометры) емкостью не менее 100 см^3 и используют для незасоленных грунтов дистиллированную воду, а для засоленных грунтов – керосин, толуол, ксилол. Зная плотность частиц грунта, находят удельный вес:

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g, \text{ кН/м}^3,$$

где γ_s – удельный вес частиц, кН/м^3 ;

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3 (т/м^3);

g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$;

Ход работы

1. Из воздушно-сухого грунта методом «квадратов» отбирают среднюю пробу массой $100\text{--}200 \text{ г}$, которую просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм . Остаток на сите дробят и затем просеивают через то же сито.

2. Из средней пробы берут навеску из расчета 15 г на каждые 100 см^3 емкости мерной колбы (пикнометра).

3. Взвешивают пикнометр (m_1).

4. Всыпают через воронку подготовленный грунт, определяют массу пикнометра с грунтом (m_2).

5. Определяют массу воздушно-сухого грунта $m = m_2 - m_1$ и абсолютно сухого грунта m_c (вносят поправку на гигроскопическую воду) по формуле:

$$m_c = \frac{m}{1 + W_r},$$

где W_r – гигроскопическая влажность, в долях единицы.

6. В пикнометр с грунтом, примерно на 1/3 его объема, наливают дистиллированную воду и кипятят на песочной бане 30 мин (пески и супеси) или 1 ч (суглинки и глины) для удаления адсорбированного воздуха и расчленения агрегатов.

7. В пикнометр доливают воду до мерной черты и охлаждают содержимое, поместив его в небольшой сосуд с водой.

8. Поправляют положение мениска путем добавки в пикнометр нескольких капель воды, тщательно обтирают его снаружи и шейку внутри (при помощи куска свернутой в трубочку фильтровальной бумаги), после чего взвешивают (m_3).

9. Освободив пикнометр от содержимого, тщательно ополаскивают его, наполняют дистиллированной водой, имеющей температуру суспензии, и взвешивают (m_4).

10. На основе полученных данных рассчитывают плотность частиц грунта по формуле:

$$\rho_s = \frac{m_c \cdot \rho_w}{m_c + m_4 - m_3},$$

где m_c – масса абсолютно сухого грунта, г;

m_3 – масса пикнометра с водой и грунтом, г;

m_4 – масса пикнометра с водой, г.

$\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$ – плотность воды.

Для каждого образца грунта производят два параллельных определения плотности частиц, которые не должны отличаться более чем на $0,02 \text{ г/см}^3$. За плотность частиц грунта принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений, выраженные с точностью до $0,01$. Данные записывают в табл. 10 лабораторной тетради.

Лабораторная работа № 10

ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ РАСЧЕТОМ (ПЛОТНОСТЬ СУХОГО ГРУНТА, ПОРИСТОСТЬ, КОЭФФИЦИЕНТ ПОРИСТОСТИ, СТЕПЕНЬ ПЛОТНОСТИ И СТЕПЕНЬ ВЛАЖНОСТИ)

Для выполнения данной работы по ранее определенным значениям основных характеристик (влажности W , плотности частиц ρ_s , плотности грунта ρ) подсчитываются производные (плотность сухого грунта ρ_d , пористость n , коэффициент пористости e , степень плотности I_d и степень влажности S_r) для песчаных грунтов.

Характеристики определяются расчетом согласно ГОСТ 5180-2015. Результаты вычислений заносят в табл. 12 лабораторной тетради.

Плотность сухого грунта ρ_d – отношение массы грунта за вычетом массы воды и льда в его порах к его первоначальному объему:

$$\rho_d = \frac{m_c}{V},$$

где m_c – масса сухого грунта, г;

V – объем образца, см^3 .

Плотность сухого грунта ρ_d в $\text{г}/\text{см}^3$ вычисляют по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 \cdot W},$$

где ρ – плотность грунта, $\text{г}/\text{см}^3$;

W – влажность грунта, %.

Пористость n – отношение объема пор к общему объему грунта. Пористость определяют по формулам:

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100 \%$$

или

$$n = \left[1 - \frac{\rho}{(1 + 0,01 \cdot W)} \right] \cdot 100 \%,$$

где ρ – плотность грунта, г/см³;

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³;

ρ_d – плотность сухого грунта, г/см³;

W – весовая влажность, %.

Коэффициент пористости e – отношение объема пор к объему твердых частиц грунта.

Коэффициент пористости e выражается в долях единицы и определяется по формулам:

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \quad \text{или} \quad e = \frac{n}{100 - n}.$$

Выделяют виды песчаных грунтов по плотности сложения (табл. 3).

Таблица 3

Виды песков	Плотность сложения песчаных грунтов в зависимости от коэффициента пористости		
	плотный	средней плотности	рыхлый
Песок гравелистый или средний	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,70$	$e > 0,70$
Песок мелкий	$e < 0,60$	$0,60 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Песок пылеватый	$e < 0,60$	$0,60 \leq e \leq 0,80$	$e > 0,80$

Для более общей характеристики песчаных грунтов по плотности находят относительную плотность или степень плотности.

Степень плотности I_d выражается в долях единицы и определяется по формуле:

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

где e – коэффициент пористости песка естественного сложения;

e_{\max} – коэффициент пористости песка при рыхлом сложении;

e_{\min} – коэффициент пористости песка при плотном сложении.

Обычно песчаные грунты в зависимости от степени плотности подразделяются на следующие категории:

рыхлые – $I_d \leq \frac{1}{3}$;

средней плотности – $\frac{1}{3} < I_d \leq \frac{2}{3}$;

плотные – $\frac{2}{3} < I_d \leq 1$.

Степень влажности S_r (коэффициент водонасыщения) – степень заполнения объема пор водой, выраженная в долях единицы.

Степень влажности S_r определяется по формуле:

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

где W – природная влажность, доли единицы;

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³;

e – коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности;

ρ_w – плотность воды, г/см³.

По степени влажности S_r согласно СТБ 943-2007 выделяют разновидности крупнообломочных и песчаных грунтов:

маловлажные – $0 < S_r \leq 0,5$;

влажные – $0,5 < S_r \leq 0,8$;

насыщенные водой – $0,8 < S_r \leq 1$.

Лабораторная работа № 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИМЕНОВАНИЯ, КОНСИСТЕНЦИИ И ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ГРУНТА

Глинистые грунты, согласно СТБ 943-2007, подразделяются на типы в зависимости от числа пластичности I_p .

Под пластичностью грунта понимают его способность в определенном интервале влажности изменять свою форму без разрыва

сплошности под воздействием внешнего давления и сохранять ее, когда внешнее воздействие прекращается.

В зависимости от влажности глинистые грунты могут иметь твердую, пластичную, текучую консистенцию (степень подвижности слагающих грунт частиц при механическом воздействии) и переходные консистенции (полутвердую, тугопластичную, мягкопластичную, текучепластичную).

Глинистые грунты становятся пластичными при определенном содержании воды. С увеличением содержания воды они переходят в текучее состояние, а с уменьшением – в твердое.

Влажность грунта, при которой грунт находится на границе пластичного и текучего состояний, называют **влажностью на границе текучести W_L (верхний предел пластичности)**.

Влажность, при которой грунт находится на границе твердого и пластичного состояний, называют **влажностью на границе раскатывания W_p (нижний предел пластичности)**.

Эти величины называют характерными влажностями, их определяют по ГОСТ 5180-2015 и применяют для классификации глинистых грунтов. Разность значений влажности, соответствующих границе текучести и границе раскатывания (пластичности), называется **числом пластичности I_p** :

$$I_p = W_L - W_p.$$

По числу пластичности выделяют, %:

супеси – $1 \leq I_p \leq 7$;

суглинки – $7 < I_p \leq 17$;

глины – $I_p > 17$.

Зная характерные влажности W_L и W_p и естественную влажность W , можно оценить консистенцию грунта, измеряемую величиной показателя текучести I_L .

Показатель текучести (консистенция) I_L – отношение разности значений влажности, соответствующих двум состояниям грунта, естественному и на границе раскатывания, к числу пластичности:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}.$$

По консистенции, характеризуемой показателем текучести, выделяют разновидности глинистых грунтов:

супеси:

твердые – $I_L < 0$;

пластичные – $0 \leq I_L \leq 1$;

текучие – $I_L > 1$;

суглинки и глины:

твердые – $I_L < 0$;

полутвердые – $0 \leq I_L \leq 0,25$;

тугопластичные – $0,25 < I_L \leq 0,5$;

мягкопластичные – $0,5 < I_L \leq 0,75$;

текучепластичные – $0,75 \leq I_L \leq 1$;

текучие – $I_L > 1$.

Определение границы текучести (W_L)

Граница текучести характеризуется влажностью (в процентах) пасты, приготовленной из грунта и воды, в которую балансирный конус погружается под действием собственной массы (76 г) за 5 с на глубину 10 мм (рис. 2).

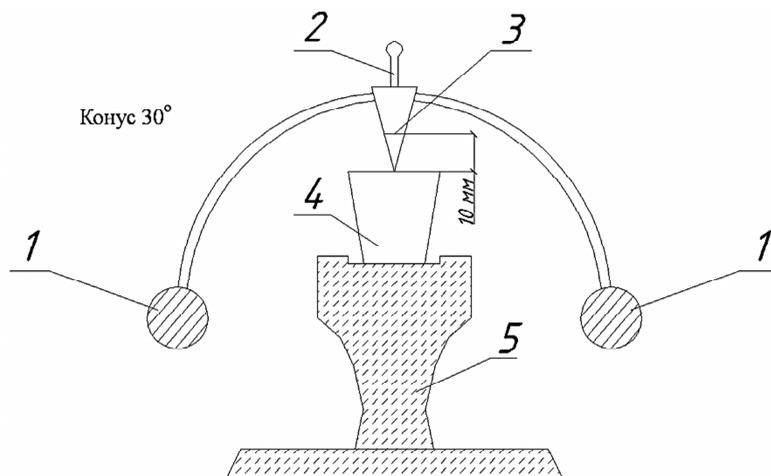


Рис. 2. Прибор для определения границы текучести:

1 – балансирные шарики; 2 – конус; 3 – отметка погружения в грунт;
4 – стаканчик с грунтовой пастой; 5 – подставка под стаканчик

Ход работы

1. Из сухого грунта, прошедшего через сито с отверстиями 1 мм, с добавлением небольшого количества воды готовится грунтовая паста, которую выдерживают не менее 24 ч в закрытом стеклянном сосуде.

2. Грунтовую пасту тщательно перемешивают и укладывают в стаканчик прибора, заполняя его без пустот. Поверхность пасты сглаживают до одного уровня с краями стаканчика.

3. К поверхности грунтовой пасты, находящейся в стаканчике, подносят конус (см. рис. 2) и наблюдают за его свободным погружением в течение 5 с.

4. Погружение конуса за 5 с на глубину менее 10 мм показывает, что влажность пасты еще не достигла искомой границы текучести. В этом случае грунтовую пасту вынимают из стаканчика, добавляют в него немного воды, тщательно перемешивают и повторяют операции согласно пп. 2 и 3.

При погружении конуса на глубину более 10 мм грунтовую пасту вынимают из стаканчика, кладут на стекло, перемешивают шпателем, давая ей немного подсохнуть, и повторяют операции согласно пп. 2 и 3.

Погружение конуса в пасту в течение 5 с на глубину 10 мм указывает на достижение искомой границы текучести.

5. Отбирают из испытываемой пасты пробу массой 15 г и производят определение влажности (см. лабораторную работу № 8).

Производят не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах замеров свыше 2 % не допускается.

6. Результаты заносят в табл. 13 лабораторной тетради.

Определение границы раскатывания (W_p)

Границе раскатывания W_p соответствует влажность в процентах, при которой паста из грунта и воды, раскатанная в жгут толщиной 3 мм, начинает распадаться на отдельные кусочки длиной 3–10 мм.

Ход работы

1. Грунтовую пасту, оставшуюся от определения границы текучести, подсушивают до тех пор, пока она при раскатывании не перестанет прилипать к ладоням рук.

2. Из подсушенной пасты берут небольшие кусочки и раскатывают их на стекле или кальке до образования жгута диаметром 3 мм.

3. Если при такой толщине грунтовый жгут начинает крошиться, то считают, что предел раскатывания достигнут.

4. Набрав не менее 10–15 г жгута грунта в предварительно взвешенный бюкс, определяют его влажность (см. лабораторную работу № 8). Если жгут начинает крошиться, не достигнув толщины 3 мм, то добавляют несколько капель воды, его вновь перемешивают и раскатывают. Если при толщине 3 мм жгут сохраняет эластичность и не крошится, его переминают руками, а затем снова раскатывают до толщины 3 мм.

5. Для каждого образца грунта производят не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах должно быть не более 2 %, в противном случае испытание повторяют. Данные опыта заносят в табл. 14, лабораторной тетради.

6. По влажностям границы текучести и границы раскатывания определяют число пластичности, согласно которому дают наименование глинистому грунту. Показатель консистенции устанавливают, используя значение влажности для грунта естественного сложения, определенное в лабораторной работе № 8.

Лабораторная работа № 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБУХАНИЯ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

Набуханием грунта называется увеличение объема глинистых грунтов при водонасыщении. Набухание определяет водоустойчивость глинистых грунтов и характеризуется приращением объема грунта в процессе насыщения его водой, влажностью набухания, силой набухания.

Набухание определяется для оценки устойчивости и деформируемости оснований сооружений, откосов, подземных сооружений, земляного полотна дорог.

Испытания проводят согласно ГОСТ 12248.6-2020.

Относительное набухание без нагрузки рассчитывают по формуле с точностью 0,001:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{\Delta h}{h},$$

где Δh – приращение высоты образца, мм;

h – начальная высота образца природной влажности, мм.

По относительному набуханию без нагрузки согласно СТБ 943-2007 выделяют следующие разновидности глинистых грунтов:

ненабухающие – $\varepsilon_{sw} < 0,04$;

слабонабухающие – $0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$;

средненабухающие – $0,08 < \varepsilon_{sw} \leq 0,12$;

сильнонабухающие – $\varepsilon_{sw} > 0,12$.

Ход работы

Характеристики набухания определяют по результатам испытаний образцов в приборе свободного набухания грунтов (ПНГ) (рис. 3), который состоит из режущего кольца 5, обоймы 3 с винтом 2, в отверстие которого устанавливается индикатор 1, а также из перфорированного поддона 6, поршня 4 и ванночки 7.

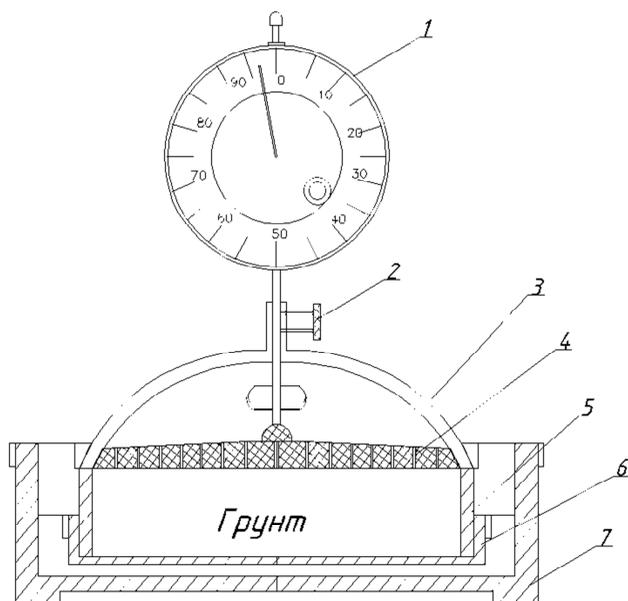


Рис. 3. Прибор ПНГ для определения величины набухания:

1 – индикатор; 2 – винт; 3 – обойма; 4 – поршень; 5 – режущее кольцо;
6 – перфорированный поддон; 7 – ванночка

1. Перед началом опыта прибор разбирают. С помощью кольца производят отбор пробы из монолита. Для этой цели на срезанную горизонтальную поверхность монолита устанавливают кольцо, которое острым краем вниз вдавливают в грунт. По мере погружения кольца грунт с внешней стороны обрезают. Кольцо вдавливают до появления над верхним краем слоя грунта высотой 1–1,5 см, аккуратно срезают его вровень с краями кольца.

2. Прибор собирают в следующем порядке: в углубление диска кладут бумажный фильтр, ставят кольцо с грунтом, поверх него кладут второй бумажный фильтр, на который устанавливают поршень. Собранный прибор устанавливают на дно ванночки.

3. Индикатор укрепляют в обойме так, чтобы его ножка касалась головки поршня.

4. Отмечают первоначальное показание по индикатору.

5. Ванночку с установленным в ней прибором заполняют водой и отмечают время заливки.

Следя за показаниями индикатора, записывают их через определенные промежутки времени до тех пор, пока набухание грунта полностью не прекратится.

6. Относительное набухание определяют по формуле:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{\Delta h}{h},$$

где Δh – приращение высоты образца по показаниям индикатора, мм;

h – начальная высота грунта в кольце, мм.

Данные записывают в табл. 15 лабораторной тетради.

7. Строят график скорости набухания грунта: на горизонтальной оси откладывают время, на вертикальной – величину относительного набухания.

8. После опыта прибор разбирают, извлекают образец и 1/4 часть помещают в бюкс для определения влажности (см. лабораторную работу № 8). После высушивания устанавливают влажность набухания.

Лабораторная работа № 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСАДКИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

Усадкой называется уменьшение объема образца при его высыхании. При высыхании влажного грунта удаляется свободная и капиллярная вода, уменьшается толщина пленок связанной воды, окружающих грунтовые частицы, максимальная усадка соответствует полному удалению воды из грунта. Усадка характеризуется величиной линейной L_y или объемной V_y усадки. Усадка определяется по формулам:

$$L_y = \frac{L_H - L_K}{L_H} \cdot 100,$$

где L_y – линейная усадка, см;

L_H – начальная длина диагонали образца, см;

L_K – длина диагонали образца при достижении предела усадки, см;

$$V_y = \frac{V_H - V_K}{V_H} \cdot 100,$$

где V_y – объемная усадка, см³;

V_H – первоначальный объем влажного грунта, см³;

V_K – объем грунта при достижении предела усадки, см³.

Ход работы

1. Приготавливают грунтовую массу с влажностью, соответствующей влажности на границе текучести.

2. Металлическую прямоугольную форму размером 5×3×2 см заполняют грунтовой массой. Избыток массы срезают ножом. На торцевой поверхности грунтовой массы проводят диагонали, длину которых измеряют.

3. Формочку с грунтовой массой выставляют на сквозняке. После сушки на воздухе до затвердевания образец высушивают до постоянного веса при температуре 105 °С.

4. Измеряют длину диагоналей формы высохшего образца, методом парафинирования определяют объем высохшего образца.

5. По вышеприведенным формулам рассчитывают линейную и объемную усадку. Результаты определений заносят в табл. 16 лабораторной тетради.

Лабораторная работа № 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И ХАРАКТЕРА РАЗМОКАНИЯ

Под размоканием понимается способность глинистых грунтов при впитывании воды терять связность и превращаться в рыхлую массу с полной потерей несущей способности.

Размокаемость грунтов зависит от их состава, характера связи между частицами и начальной влажности.

Величина размокания используется при оценке явлений переработки берегов водохранилищ, устойчивости откосов каналов, стенок котлованов и других земляных сооружений.

Показателями размокания являются:

а) время, в течение которого образец грунта, помещенный в воду, теряет связность и распадается;

б) характер распада (крупные или мелкие комочки, пыль и т. д.).

Определение степени размокания производится на образцах с нарушенной и ненарушенной структурой в зависимости от целевого назначения работ.

Размокание определяют в приборе ПРГ-1 (рис. 4). Корпус изготовлен из прозрачного оргстекла, на котором нанесена шкала 10 с делениями от 0 до 25. На две опоры 2 устанавливается свободно качающаяся ось 3. На оси с помощью гайки 4 укреплены стрелка 5 и рычаг 6. К дуговой части рычага подвешена с помощью гибкой связи 7 сетка 8, на которую устанавливается образец грунта.

Ход работы

1. Производят подготовку образца, вырезая кольцом из монолита грунта цилиндры, равные 3 см по диаметру и высоте.

2. Убедившись, что стрелка прибора занимает нулевое положение, приподнимают сетку левой рукой, ставят ее на край правой

стенки корпуса прибора и осторожно устанавливают образец. Придерживая рычаг, плавно погружают сетку с образцом в воду.

3. После погружения образца грунта в воду записывают первоначальную числовую отметку.

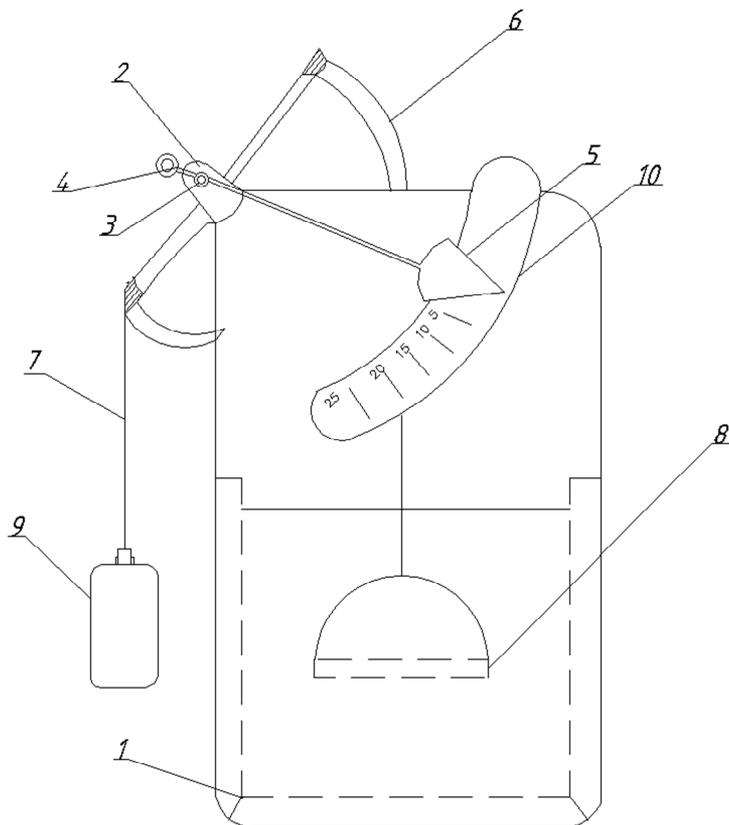


Рис. 4. Прибор ПРГ-1 для определения размокания грунтов:
 1 – корпус; 2 – опора; 3 – качающаяся ось; 4 – гайка; 5 – стрелка;
 6 – скобообразный рычаг; 7 – гибкая связь; 8 – сетка;
 9 – противовес; 10 – шкала

4. Числовые отметки фиксируются через определенные промежутки времени (2, 5, 10, 15, 20, 30 мин и т. д.) распада образца. Все количественные и качественные изменения, происходящие с грунтом, заносятся в таблицу.

5. Опыт считается законченным, когда грунт полностью пройдет сквозь сетку на дно корпуса и стрелка вновь займет нулевое положение.

6. Определяют числовую характеристику скорости распада грунта под водой. Процент распада вычисляется по формуле:

$$\Pi = \frac{\Gamma - P}{\Gamma} \cdot 100 \%,$$

где Π – распад грунта, %;

Γ – начальная числовая отметка;

P – числовая отметка в процессе размокания.

Результаты определений записывают в табл. 17 лабораторной тетради.

7. Строят график скорости размокания грунта. На оси абсцисс откладывают время, на оси ординат – распад грунта в %.

Лабораторная работа № 15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И ВЫСОТЫ КАПИЛЛЯРНОГО ПОДНЯТИЯ

Капиллярное поднятие

Грунты способны поднимать и удерживать на определенной высоте влагу благодаря капиллярным силам, действующим в порах.

Высота капиллярного поднятия воды в грунте зависит от его гранулометрического состава и пористости. Чем тонкозернистее грунт и меньше его поры, тем выше капиллярное поднятие (H_K). Капиллярное поднятие может быть определено в шурфах и обнажениях путем непосредственного замера мощности капиллярной каймы, а также на образцах грунта нарушенного и ненарушенного строения (капилляриметрах, трубках). Капиллярное поднятие устанавливают для оценки воздействия воды на подземные части сооружений, а капиллярное давление – на несущую способность грунтов.

Ход работы

1. Один конец градуированной стеклянной трубки обвязывают марлей и через воронку наполняют воздушно-сухим песком. Напол-

нение производят небольшими порциями с уплотнением посредством сотрясений.

2. Наполненную песком трубку ставят в стеклянную банку на подставку и укрепляют на штативе.

3. В банку наливают воду на 0,5 см выше нижнего конца трубки, и этот уровень поддерживают в течение опыта.

4. Замерив время погружения трубки в воду, по изменению окраски песка (потемнение) следят за скоростью поднятия воды.

5. Поднятие уровня отмечают через 1, 2, 3, 5, 10, 20 и 30 мин, затем через 1, 2 и 24 часа.

6. Данные записывают в табл. 18 лабораторной тетради.

7. Согласно данным таблицы строят график скорости капиллярного поднятия воды в песке: на оси абсцисс откладывают продолжительность наблюдения в минутах, а на оси ординат – высоту капиллярного поднятия в миллиметрах.

Лабораторная работа № 16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Водопроницаемость грунтов

Водопроницаемостью грунтов называют их способность пропускать (фильтровать) через поры воду.

Показателем водопроницаемости является коэффициент фильтрации (K), который представляет собой скорость фильтрации при гидравлическом градиенте, равном единице.

Для определения коэффициента фильтрации грунтов существует ряд методов, которые могут быть подразделены на три основные группы:

1) полевые определения с помощью опытных откачек, опытных наливов и др.;

2) лабораторное определение в приборах;

3) косвенное определение путем вычисления по данным гранулометрических анализов и пористости грунта.

Коэффициент фильтрации в лабораторных условиях определяется с помощью приборов, которые могут быть разделены на две

группы. Первую группу представляют компрессионно-фильтрационные приборы, позволяющие учесть влияние нагрузки при определении коэффициента фильтрации. Вторую – приборы, где коэффициент фильтрации определяется без учета влияния нагрузки.

Коэффициент фильтрации является основным расчетным показателем для вычисления возможного притока воды в строительные котлованы, проектировании дренажных устройств, определения потерь на фильтрацию в гидротехническом строительстве и т. п.

Коэффициент фильтрации (K) имеет размерность скорости: см/с, м/сут и т. д.

Ориентировочные значения коэффициента фильтрации приведены в табл. 4.

Таблица 4

Наименование грунта	Скорость, м/сут	Наименование грунта	Скорость, м/сут
Песок крупный	30–60	Супесь	1–2
Песок средней крупности	10–30	Суглинок	0,1–1
Песок мелкий	5–10	Глина	0,1
Песок пылеватый	2–5		

В приборе КФ-00 определяется коэффициент фильтрации песчаных грунтов нарушенного и ненарушенного сложения при напорных градиентах от 0 до 1.

Прибор (рис. 5) состоит из фильтрационной трубки и внешнего стакана, позволяющего насыщать грунт и регулировать напор воды.

Фильтрационная трубка состоит из основного металлического цилиндра 4 с заостренным краем, дна 5, которое надевается на нижнюю часть цилиндра и сетки 3, вставляемой в дно. На верхней части цилиндра устанавливается муфта 2 с сеткой 3 и со стеклянным баллоном 1 (мерный сосуд), на одной стороне которого нанесена шкала. Внешний стакан 6 состоит из упорного дна 5 винта 8, шкалы 9. На шкале 9 нанесены деления напорного градиента от 0 до 1 с целой деления 0,02.

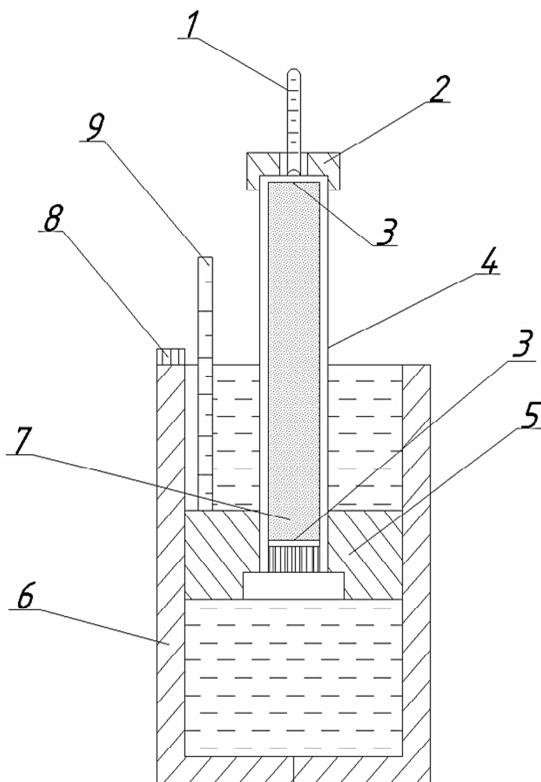


Рис. 5. Прибор КФ-00:

1 – мерный баллон; 2 – муфта; 3 – латунные сетки; 4 – фильтрационная трубка;
5 – упорное дно; 6 – внешний стакан; 7 – образец грунта; 8 – винт для вертикального
перемещения фильтрационной трубки; 9 – шкала напорного градиента

Ход работы

1. Из корпуса прибора извлекают фильтрационную трубку 4, снимают муфту 2 с сеткой 3 и мерным баллоном 1.

2. Заполняют трубку испытуемым грунтом.

3. Во внешний стакан 6 наливают воду и вращением винта 8 поднимают упорное дно 5 до совмещения отметки на шкале 9 напорного градиента 1 с верхним краем крышки.

4. На упорное дно 5 устанавливают фильтрационную трубку с грунтом. Вращением винта 8 медленно погружают фильтрацион-

ную трубку с грунтом до отметки напорного градиента 0,8. В таком положении оставляют прибор до момента появления влаги на поверхности грунта. Площадь поперечного сечения трубки равна 25 см².

5. На грунт помещают сетку 3, на трубку надевают муфту 2 и вращением винта 8 опускают фильтрационную трубку в крайнее нижнее положение.

6. Заполняют мерный баллон 1 водой, зажимают его отверстие большим пальцем и, быстро опрокинув, вставляют в муфту фильтрационной трубки так, чтобы горлышко баллона соприкасалось с сеткой. В таком виде мерный баллон поддерживает над грунтом постоянный уровень воды в 1–2 мм.

7. Устанавливают шкалу 9 на заданный градиент I и доливают воду во внешний стакан 6 до верхнего края.

8. Отмечают по шкале уровень воды в мерном баллоне 1, пускают секундомер и по истечении определенного времени (50–100 с для среднезернистых грунтов, 250–500 с для пылеватых песков) замечают уровень воды в мерном баллоне 1. Это позволяет определить расход воды, профильтровавшейся через грунт за время T , с.

9. По данным опыта производят расчет коэффициента фильтрации по формуле:

$$K_{10} = \frac{Q \cdot 864}{T \cdot F \cdot I \cdot r},$$

где K_{10} – коэффициент фильтрации при температуре 10 °С, м/сут;

Q – объем воды, см³;

F – площадь поперечного сечения металлического цилиндра, равная 25 см²;

T – время, с;

I – напорный градиент;

r – температурная поправка (0,7 + 0,03 t);

t – температура воды при опыте, °С;

864 – переводной коэффициент, см/с в м/сут.

10. Повторяют опыт при различных значениях градиента напора.

11. Все данные наблюдений заносят в табл. 19 лабораторной тетради и вычисляют по ним среднее значение коэффициента фильтрации.

Лабораторная работа № 17

КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ

Механические характеристики грунтов

Механические характеристики грунтов используются для оценки поведения грунтов под воздействием внешних усилий (веса сооружений, вышележащей толщи и др.). Поведение грунтов зависит от их вида и состояния, типа приложенной нагрузки (статическая, динамическая), длительности ее воздействия. Механические характеристики грунтов подразделяют на деформационные и прочностные.

Деформации грунтов определяются от нагрузок, которые не превышают критических и не приводят к разрушению грунтов.

Деформируемость оценивают показателями сжимаемости, к которым относятся коэффициент сжимаемости, модуль общей деформации, коэффициент бокового расширения, коэффициент консолидации.

Прочностные характеристики описывают поведение грунтов при критических нагрузках, после которых происходит разрушение или потеря устойчивости оснований и откосов.

Критерием прочности грунтов является их сопротивляемость сдвигу.

Поведение грунтов под нагрузкой изучается в лабораторных и полевых условиях.

Сжимаемость грунтов

Сжимаемость грунтов – это их способность уменьшаться в объеме, давая осадку под действием внешней нагрузки.

Объем грунта сжимается в направлении большего из действующих напряжений и расширяется в перпендикулярных направлениях. Расширению препятствует сопротивление окружающего грунта. Следовательно, сжатие происходит при ограниченном боковом расширении. Однако в лабораторных условиях изучение сжимаемости чаще производят в условиях одноосного сжатия без возможности бокового расширения грунта, для чего применяют компрессионные приборы различных систем. В этих приборах на образец, находящийся в кольце, прикладывают нагрузку и измеряют деформацию

с точностью до 0,01 мм. По результатам испытаний строятся компрессионные кривые (рис. 6), которые показывают зависимость между изменениями коэффициента пористости и давлениями.

Коэффициент пористости вычисляют по формуле:

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

где e_0 – начальный коэффициент пористости;

Δh – деформация образца грунта для каждой ступени давления;

h_n – начальная высота образца грунта, мм.

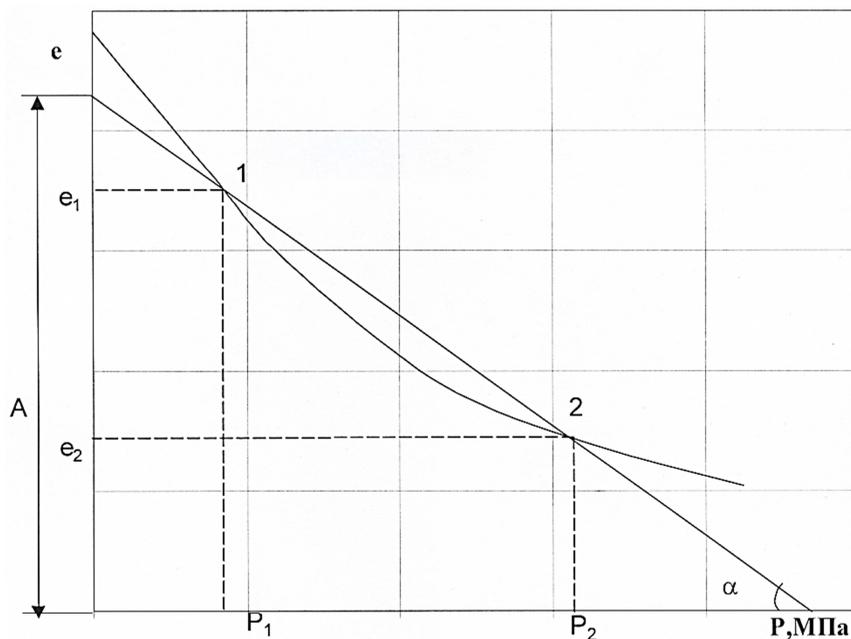


Рис. 6. Компрессионная кривая (зависимость коэффициента пористости e от приложенной нагрузки P)

По компрессионной кривой находят такие важные характеристики деформационных свойств грунтов, как коэффициент сжимаемости m , модуль общей деформации E , модуль осадки. Коэффициент

сжимаемости (уплотнения) представляет собой тангенс угла наклона компрессионной кривой к горизонтальной оси. При изменении нагрузки в небольших пределах кривая с достаточной точностью может быть заменена прямой. Следовательно, при изменении нагрузки в небольших пределах коэффициент уплотнения m подсчитывается по выражению:

$$m = \frac{e_n - e_{n+1}}{p_{n+1} - p_n},$$

где p_{n+1}, p_n – расчетный интервал нагрузки, МПа;

e_n, e_{n+1} – коэффициенты пористости при заданных нагрузках.

Зависимость степени сжимаемости грунтов от величины коэффициента уплотнения m представлена в табл. 5.

Таблица 5

Коэффициент уплотнения m , МПа ⁻¹	Сжимаемость грунта
0,01	практически несжимаемый
0,01–0,05	слабая
0,05–0,1	средняя
0,1–1,0	повышенная
1,0	сильная

Модуль общей деформации в определенных интервалах нагрузки вычисляется по формуле:

$$E = \frac{\beta}{m_V}, \text{ МПа,}$$

где $\beta = 1 - \frac{2\xi}{1 + \xi} = 1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu}$;

ξ – коэффициент бокового давления для данного грунта;

μ – коэффициент Пуассона;

$m_V = \frac{m}{1 + e_0}$ – коэффициент сжимаемости (компрессии), МПа⁻¹;

e_0 – начальный коэффициент пористости;

β – коэффициент стеснения поперечной деформации (для песчаных грунтов $\beta = 0,8$, для супесей – $\beta = 0,74$, для суглинков – $\beta = 0,62$, для глин – $\beta = 0,4$).

При компрессионных испытаниях размеры образца должны быть такими, чтобы диаметр образца превышал его высоту не менее чем в четыре раза, а сама высота была не менее 1 см. Передачу давления на образец производят с помощью рычажного пресса. Начальная и предельная величины давления устанавливаются заданием.

Каждое сообщаемое образцу давление выдерживают до условной стабилизации деформации, за которую принимают величину сжатия грунта, не превышающую 0,01 мм для песчаных грунтов – за 30 мин, супесей – за 3 ч, суглинков и глин – за 12 ч.

Регистрация деформаций образца в приборе производится непосредственным измерением осадки штампов прибора при помощи индикатора с ценой деления 0,01 мм. Принципиальная схема прибора изображена на рис. 7.

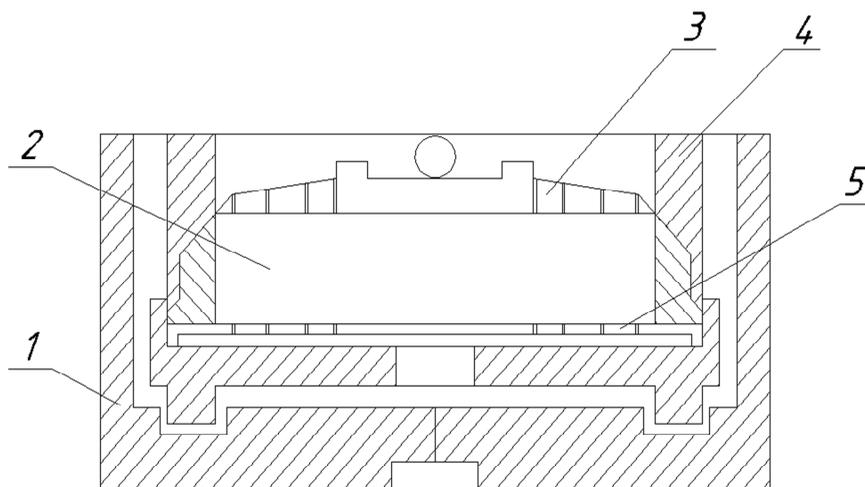


Рис. 7. Схематический разрез компрессионной части прибора КП:
1 – ванна; 2 – грунтоотборочное кольцо с грунтом; 3 – перфорированный поршень;
4 – обойма; 5 – перфорированный диск

Ход работы

1. На технических весах взвешивают кольцо прибора, измеряют его высоту h , диаметр d , вычисляют площадь A и объем V .

2. Заполняют кольцо грунтом методом режущего кольца (см. лабораторную работу № 6).

3. Кольцо с грунтом взвешивают и помещают в стакан, на дне которого находится пористая прокладка, покрытая фильтровальной бумагой.

4. Поверхность образца накрывают кружком фильтровальной бумаги и устанавливают поршень.

5. Закрепляют индикатор и делают первый отсчет при отсутствии нагрузки.

6. После записи начального показания индикатора дается первая ступень нагрузки на образец. Груз для каждой ступени давления определяется из выражения:

$$G = \frac{P \cdot A}{N}, \text{ МН,}$$

где A – площадь образца, м^2 ;

N – передаточное число системы рычагов;

P – ступень давления, МПа.

7. Ожидается условная стабилизация деформации.

8. После стабилизации производится запись показания индикатора и добавляется нагрузка следующей ступени.

9. Аналогичным способом производятся наблюдения для следующих ступеней нагрузки.

10. По данным вычисляются коэффициенты пористости и модуль осадки при соответствующих нагрузках, данные заносятся в табл. 17 лабораторной тетради.

11. По произведенным подсчетам строят компрессионную кривую, откладывают на оси абсцисс в принятом масштабе давление P , а на оси ординат – соответствующие коэффициенты пористости (см. рис. 6).

12. Подсчитывается коэффициент сжимаемости и модуль общей деформации, дается оценка сжимаемости грунта.

Лабораторная работа № 18

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСОЛИДАЦИИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

Осадка грунта во времени (консолидация)

Испытание грунта на консолидацию проводится для изучения процесса его сжатия постоянным давлением в зависимости от времени. В песчаных и глинистых грунтах твердой консистенции осадка заканчивается быстро, а в водонасыщенных глинистых грунтах может протекать длительное время.

Зависимость между величиной осадки и временем при постоянной нагрузке графически можно представить при помощи кривой консолидации, по которой определяют степень консолидации для любого значения времени, коэффициент консолидации и коэффициент фильтрации.

Степень консолидации для значения деформаций, полученных в процессе испытания, определяют по формуле:

$$Q = \frac{\Delta h_i}{\Delta h} \cdot 100 \%,$$

где Δh_i – деформация образца за отрезок времени, для которого определяется консолидация, мм;

Δh – конечная стабилизированная деформация образца, мм.

Строят кривую консолидации в полулогарифмическом масштабе в системе координат «деформация Δh_i – время t » (рис. 8).

На кривой выделяют участки первичной (фильтрационной) и вторичной (пластичной) консолидации. Деформация образца на участке первичной консолидации нарастает за счет выжимания воды из пор грунта, а ее скорость определяется водопроницаемостью грунта.

На участке вторичной консолидации деформация увеличивается за счет ползучести грунтового скелета вследствие сдвига связанной воды.

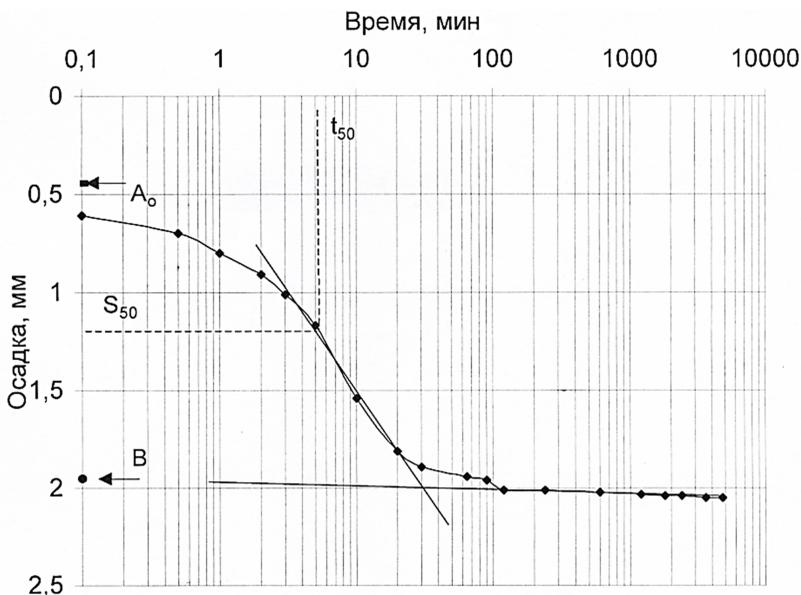


Рис. 8. Кривая консолидации грунта в полулогарифмическом масштабе

Когда грунт содержит большое количество связанной воды, значительная часть процесса консолидации или даже весь процесс может протекать в виде вторичной консолидации.

Степень консолидации показывает, какая часть конечной деформации (в долях единицы или процентах) имеет место за соответствующее время.

Для определения начала участка первичной консолидации на оси ординат откладывают величину деформации, а на оси абсцисс – значение корня квадратного из времени и строят начальный участок кривой консолидации (рис. 9).

Продолжение прямолинейного участка кривой консолидации до пересечения с осью ординат даст точку А, которую приблизительно можно рассматривать как начало участка первичной консолидации. Конец участка первичной консолидации характеризуется точкой В (см. рис. 8). Его определяют, продолжая прямолинейные участки кривой консолидации в полулогарифмическом масштабе до их пересечения. Путем построения, представленного на рис. 8, находят по кривой консолидации время $t_{0,5}$ для степени консолидации $Q = 0,5$.

Это время используют при определении коэффициента консолидации, который находят по формуле:

$$c_k = 0,2 \frac{(0,5 \cdot h)^2}{t_{0,5}}, \text{ см}^2/\text{с},$$

где h – высота образца, см;

$t_{0,5}$ – время для $Q = 0,5$;

0,2 – коэффициент, представляющий собой фактор времени T_v для $Q = 0,5$.

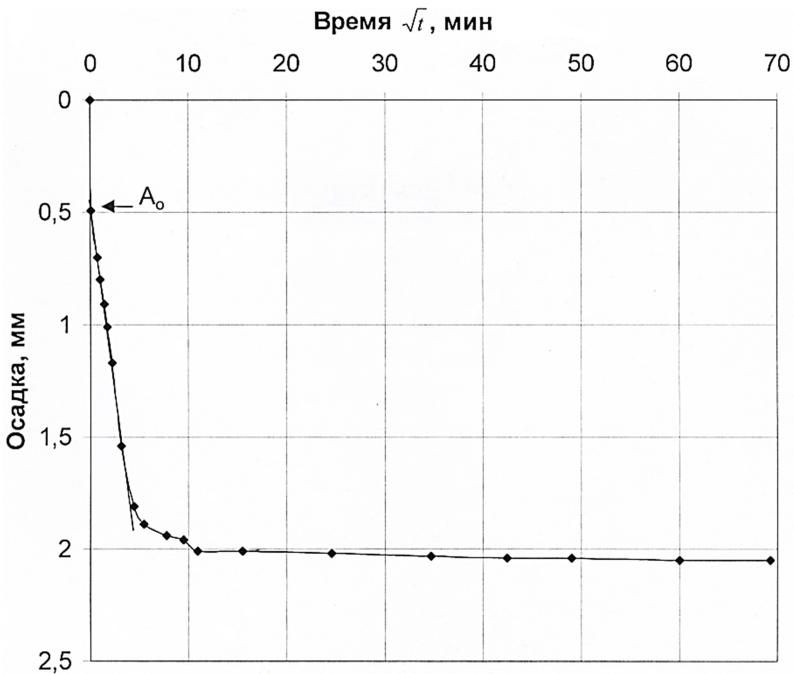


Рис. 9. Нахождение точки, соответствующей началу участка фильтрационной консолидации

Коэффициент фильтрации определяют по формулам:

$$K = \frac{0,1 \cdot c_k \cdot \rho_B}{m_V}, \text{ см/с}, \text{ или } K = \frac{86,4 \cdot c_k \cdot \rho_B}{m_V}, \text{ м/сут},$$

где c_k – коэффициент консолидации, $\text{см}^2/\text{с}$;
 ρ_v – плотность воды, равная $0,001 \text{ кг}/\text{см}^3$.

Ход работы

1. Испытание грунтов проводится в компрессионном приборе. Способ укладки образца в прибор и приложение нагрузки такие же, как и при компрессионных испытаниях грунта (см. лабораторную работу № 17).

2. Прикладывают постоянную нагрузку (например $0,1 \text{ МПа}$) и заменяют деформацию от начала опыта через $0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40$ мин и т. д. Данные опыты заносятся в табл. 18 лабораторной тетради.

3. Строят кривые консолидации, как на рис. 8. Определяют начало и конец фильтрационной консолидации.

4. Вычисляют степень консолидации.

5. Подсчитывают коэффициенты консолидации и фильтрации.

Лабораторная работа № 19

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА СРЕЗУ В ОДНОПЛОСКОСТНОМ СДВИГОВОМ ПРИБОРЕ

Сопротивление грунтов сдвигу

Разрушение оснований и земляных сооружений происходит под действием нагрузки в виде сдвига по некоторым площадкам. Сдвиг по площадке, по теории прочности Кулона-Мора, возникает при определенном для каждого грунта соотношении между касательными (τ) и нормальными (p) напряжениями. В то же время сопротивление сдвигу возрастает с увеличением нормальных напряжений. Эта зависимость установлена в 1773 г. Кулоном. Она формулируется так: сопротивление сыпучих грунтов срезу есть сопротивление трению, пропорциональное нормальному давлению. Для несвязных грунтов:

$$\tau = p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где φ – угол внутреннего трения.

В глинистых грунтах (связных):

$$\tau = p \cdot \operatorname{tg}\varphi + c,$$

где c – удельное сопротивление, кПа.

Сопротивление связных грунтов сдвигу зависит от влажности, плотности, пластичности и других характеристик.

Сцепление грунтов по Маслову:

$$c = c_c + c_w,$$

где c_c – жесткое структурное сцепление с характером необратимых связей, кПа;

c_w – связанность грунта водно-коллоидной природы обратимого характера.

Разграничение сопротивления сдвигу на трение и сцепление является условным, особенно для глинистых грунтов.

Прочностные характеристики φ и c используют при расчетах устойчивости массивов, определении несущей способности оснований и др.

Показатели прочности определяют путем испытаний грунтов в приборах плоскостного сдвига, в стабилометрах, в приборах одноплоскостного сжатия.

При определении сопротивления сдвигу глинистых грунтов применяют различные методы испытаний:

1. Неконсолидированно-недренированный сдвиг, когда водонасыщенный грунт загружают быстро. Консолидация за счет отжатия воды из образца не происходит. Опыт выполняют 2–3 мин (быстрый сдвиг).

2. Консолидированно-недренированный сдвиг, когда после полной консолидации от обжимающей нагрузки быстро сдвигают грунт (консолидированно-быстрый сдвиг).

3. Консолидированно-дренированный сдвиг, когда после полной консолидации от обжимающей нагрузки медленно прикладывают возрастающее сдвигающее усилие (консолидированно-медленный сдвиг). Сопротивление сдвигу в этих условиях представляет наибольшую величину, которая обычно достигается к конечному моменту уплотнения грунта в основании сооружения.

Лабораторную работу можно выполнять на приборах ГПП-30 Гидропроекта, Н. М. Маслова и др. Для построения зависимости

необходимо иметь несколько точек, поэтому испытания проводят на нескольких образцах, взятых из одного монолита.

На рис. 10 представлена схема одноплоскостного прибора ГПП-30. Прибор имеет две загрузочные системы – одну для создания вертикального давления на грунт, постоянного на все время опыта, и другую – для получения горизонтальной сдвигающей нагрузки, которая возрастает в процессе опыта. Рабочий цилиндр прибора состоит из подвижной верхней обоймы 11 и неподвижной нижней 12. Обоймы соединяются установочными винтами 9. Для создания зазора между нижней 12 и верхней 11 обоймами нужно сделать небольшой поворот гайкой зазора 6. Вертикальная нагрузка на образец передается через штамп 7. Снизу и сверху на грунт 4 укладывают перфорированные диски 3 и 5, устанавливают два индикатора: один для контроля вертикальных деформаций, другой для замера деформаций сдвига.

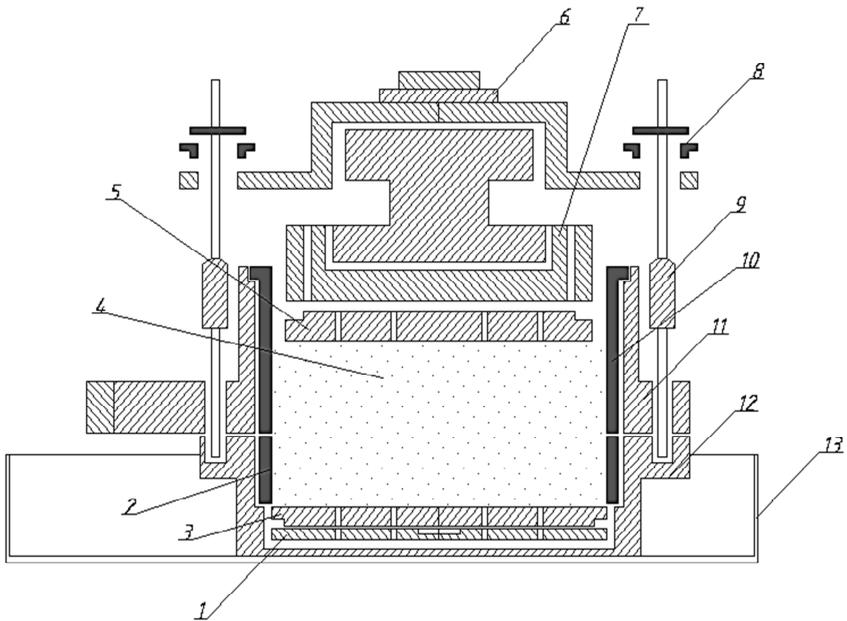


Рис. 10. Схематический разрез сдвигового прибора ГПП-30:

- 1 – дно нижней обоймы; 2 – нижнее кольцо; 3 – нижний перфорированный диск;
- 4 – грунт; 5 – верхний перфорированный диск; 6 – гайка зазора; 7 – штамп; 8 – гайка;
- 9 – установочный винт; 10 – верхнее кольцо; 11 – верхняя обойма;
- 12 – нижняя обойма; 13 – ванна

Предварительным уплотнением нескольких образцов испытуемого грунта под одной и той же нагрузкой в течение разного срока получают серию образцов с постепенным изменением плотности (влажности). Изменение сопротивления сдвигу при данной плотности (влажности) в зависимости от сжимающего давления устанавливают после проведения цикла опытов (не менее трех) с образцами одинаковой влажности при различных вертикальных давлениях (например 0,1; 0,2; 0,3 МПа). Все образцы для одного цикла опытов должны быть взяты из общего однородного монолита, а при исследовании образцов с нарушенной структурой – из одинакового замеса.

Ход работы

1. Образец грунта отбирают кольцом.
2. Кольцо с грунтом закладывают в цилиндр.
3. Цилиндр помещают в ванну прибора предварительного уплотнения и устанавливают на перфорированный металлический диск. Сверху и снизу образца грунта укладывается фильтровальная бумага.
4. На образец грунта сверху устанавливают перфорированный поршень.
5. На подвеску рычага кладут груз для создания заданного давления ($P = 0,1$ МПа).
6. После стабилизации осадков образца под заданным давлением рабочий цилиндр с заключенным в нем образцом устанавливают в ванну сдвигового прибора (см. рис. 10). Каждое сообщаемое образцу давление выдерживают до условной стабилизации деформации, за которую принимают величину сжатия грунта, не превышающую 0,01 мм для песчаных грунтов – за 30 мин, супесей – за 3 ч, суглинков и глин – за 12 ч.
7. Установочные винты 9 вращением выводят из углубления нижней обоймы 12. Поворотом гайки 6 делают зазор 0,5 до 1 мм.
8. Производят сдвиг, прикладывая горизонтальное сдвигающее усилие к верхней подвижной обойме. Груз, создающий сдвигающее усилие, прикладывают степенями по 5–10 % от величины вертикального давления.

9. В случае медленного сдвига стабилизация горизонтальной деформации считается достигнутой при ее скорости 0,01 мм/мин. За величину предельного сопротивления грунта сдвигу принимается значение горизонтального усилия, при котором подвижная каретка сдвигового прибора смещается относительно неподвижной на 2–3 мм.

10. Сдвигающее усилие вычисляют по формуле:

$$\tau = \frac{G \cdot N}{A},$$

где G – вес груза на подвеске, Н;

N – передаточное число рычага;

A – площадь образца, м².

11. Повторяют операции 1–10 для давлений $P_2 = 0,2$ МПа и $P_3 = 0,3$ МПа. Продолжительность предварительного уплотнения под каждым из заданных давлений выбирают с таким расчетом, чтобы можно было определить сопротивление грунта сдвигу при плотности и влажности, изменяющихся в достаточно широких пределах. Для суглинков можно рекомендовать при каждом из давлений уплотнять один образец в течение 2–3 часов и один в течение 2 сут.; один образец следует срезать без предварительного уплотнения. Результаты опытов заносят в табл. 19 лабораторной тетради.

12. Строят график зависимости сдвигающего напряжения от вертикального давления (рис. 11).

13. По графику среза глинистого грунта определяют угол внутреннего трения φ и удельное сопротивление c :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \sum \tau_i p_i - \sum \tau_i \sum p_i}{n \sum (p_i)^2 - (\sum p_i)^2}, \quad c = \frac{\sum \tau_i \sum p_i^2 - \sum p_i \sum \tau_i p_i}{n \sum (p_i)^2 - (\sum p_i)^2},$$

где τ_i – опытные значения сопротивления срезу, определенные при различных значениях p_i (нормального давления) и относящиеся к одному инженерно-геологическому элементу или отдельному монолиту грунта, МПа;

n – число испытаний.

14. Определяют угол сдвига ψ для нескольких значений p :

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{\tau}{p}$$

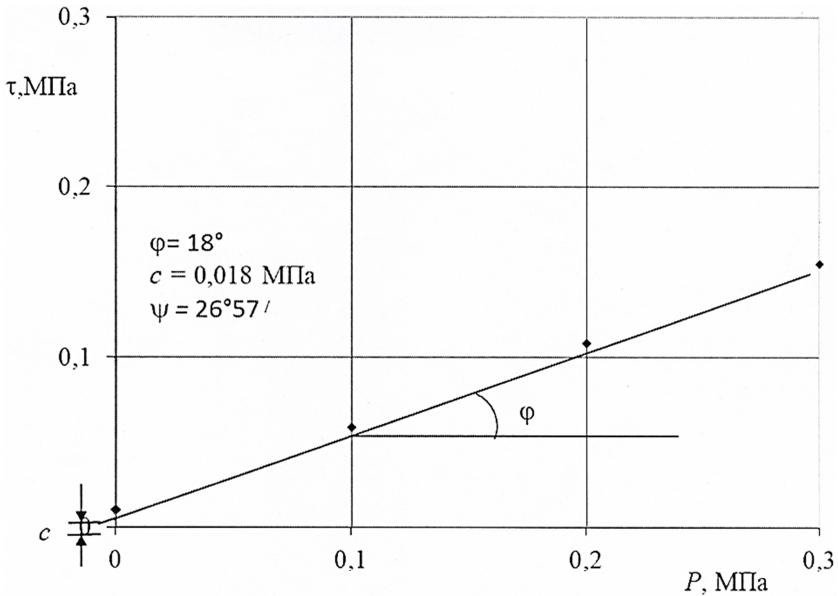


Рис. 11. График зависимости сопротивления сдвигу τ от нормальных напряжений p (консолидированный сдвиг)

Лабораторная работа № 20

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Угол естественного откоса определяют в воздушно-сухом состоянии и под водой в приборе УВТ-2 (рис. 12).

Прибор состоит из опорного столика 1 с мелкими сквозными отверстиями, шкалы 2, закрепленной в центре столика, и съемного конуса 3.

В комплект прибора входит стеклянный цилиндр 4 для выполнения опытов под водой.

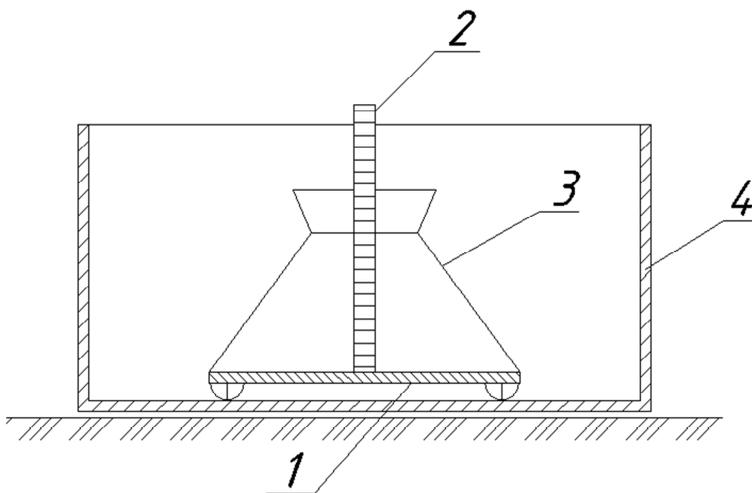


Рис. 12. Схема прибора для определения угла естественного откоса УВТ-2:
 1 – опорный столик; 2 – шкала; 3 – съемный конус; 4 – стеклянный сосуд

Ход работы

1. Стеклянный цилиндр ставят на ровную поверхность и в него помещают опорный столик 1.
2. На опорный столик устанавливают съемный конус 3.
3. В съемный конус насыпают песок до полного его заполнения, слегка постукивая по поверхности конуса.
4. Осторожно снимают конус. По шкале против вершины конуса отсчитывают величину угла естественного откоса.
5. Для определения угла естественного откоса песков под водой после заполнения конуса песком стеклянный цилиндр заполняют водой. Как только песок полностью увлажнится, определяют угол естественного откоса описанным выше способом. После 3-4-кратного повторения опыта берут среднее арифметическое значение. Данные опытов заносят в табл. 20 лабораторной тетради.

Список литературы

1. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.01-254-2011 (02250). – Минск: РУП «Стройтехнорм» 2012.
2. Грунты. Классификация: СТБ 943-2007. – Минск, 2008.
3. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов: ГОСТ 12071-2014. – Минск: ОАО «ПНИИИС», 2016.
4. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: ГОСТ 5180-2015. – Минск: ОАО «ПНИИИС», 2019.
5. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536-2014. – Минск: ОАО «ПНИИИС», 2017.
6. Грунты. Методы лабораторного определения набухания и усадки: ГОСТ 12248.6-2020. – Минск: «НИИОСП им. Н. М. Герсеванова», 2021.
7. Грунты. Методы лабораторного определения прочности и деформируемости: ГОСТ 12248-2010. – Минск: ГП «НИИОСП», 2013.
8. Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний: ГОСТ 20522-2012. – Минск: «НИИОСП им. Н. М. Герсеванова», 2014.
9. Перечень единиц физических величин, подлежащих применению в строительстве: СН 528-80. – Минск: «НИИОСП им. Н. М. Герсеванова», 1981.
10. Слюсаренко, С. А. Механика грунтов / С. А. Слюсаренко. – Киев: Вища школа, 1982. – 87 с.
11. Лабораторный практикум по разделу «Механика грунтов» курсов «Механика грунтов, основания и фундаменты», «Инженерная геология и механика грунтов» для студентов строительных специальностей 1202, 1203, 1209, 1211, 1212 / Ю. А. Соболевский [и др.]. – Минск: БПИ, 1985. – 65 с.
12. Чаповский, Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / Е. Г. Чаповский. – 4-е изд. – Минск: Недра, 1975. – 304 с.

Класс грунтов без жестких структурных связей (класс нескольких грунтов) (табл. 5.2 СТБ 943-2007)

Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидность
1	2	3	4	5
Осадочные нецементированные	Обломочные – песчаные (элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные, озерные, водноледниковые, ледниковые, озерно-ледниковые, морские, золовые и смешанного происхождения)	Песок – в гранулометрическом составе масса частиц крупнее 2 мм менее 50 %, число пластилин $I_p < 1$	1. По гранулометрическому составу: <i>гравелистый</i> – масса частиц крупнее 2 мм более 25 %; <i>крупный</i> – масса частиц крупнее 0,5 мм более 50 %; <i>средний</i> – масса частиц крупнее 0,25 мм более 50 %; <i>мелкий</i> – масса частиц крупнее 0,1 мм более 75 % и более; <i>пылеватый</i> – масса частиц крупнее 0,1 мм менее 75 %. 2. По показателю максимальной неоднородности U_{max} : однородный – $U_{max} < 4$; среднеоднородный – $4 \leq U_{max} \leq 20$; неоднородный – $20 < U_{max} \leq 40$; повышенной неоднородности – $U_{max} > 40$. 3. По относительному содержанию органического вещества $I_{орг}$: без примеси органического вещества – $I_{орг} \leq 0,03$; с примесью органического вещества – $0,03 < I_{орг} \leq 0,10$	1. По прочности (сопротивлению грунта при зондировании) согласно прил. 2. 2. По степени влажности S_r : маловлажный – $0 < S_r \leq 0,5$; влажный – $0,5 < S_r \leq 0,8$; водонасыщенный – $0,8 < S_r \leq 1$. 3. По степени засоленности D_{sal} , %: незасоленный – $D_{sal} < 0,5$; засоленный – $D_{sal} \geq 0,5$

Окончание прил. 1

1	2	3	4	5
<p>Осадочные нецементированные</p>	<p>Обломочные – пылевато-глинистые (элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные, озерные, водно-ледниковые, ледниковые, озерно-ледниковые, морские, смешанного происхождения)</p>	<p>По числу пластичности I_p, %: супесь – $1 \leq I_p \leq 7$; суглинок – $7 < I_p \leq 17$; глина – $I_p > 17$</p>	<p>1. По содержанию включений по массе: с галькой (щебнем) либо с гравием (дресвой) при содержании соответствующих частиц крупнее 2 мм 15–25 %; галечниковый (щебенистый) либо гравелистый (дресвяный) при содержании соответствующих частиц крупнее 2 мм 26–50 %.</p> <p>2. По относительному содержанию органического вещества $I_{ор}$: без примеси органического вещества – $I_{ор} \leq 0,05$; с примесью органического вещества – $0,05 < I_{ор} \leq 0,10$.</p> <p>3. По коэффициенту пористости e лессовидные: низкопористые – $e \leq 0,8$; высокопористые – $e > 0,8$</p>	<p>1. По прочности (сопротивлению грунта при зондировании) согласно прил. 3.</p> <p>2. По показателю текучести I_L (консистенции): 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 – $0,25 < I_L \leq 0,5$; мягкопластичные – $0,5 < I_L \leq 0,75$; текучепластичные – $0,75 < I_L \leq 1$; текучие – $I_L > 1$.</p> <p>3. По относительной просадочности ε_{st}: непросадочный – $\varepsilon_{st} < 0,01$; просадочный – $\varepsilon_{st} \geq 0,01$.</p> <p>4. По относительному набуханию без нагрузки ε_{sw}: ненабухающий – $\varepsilon_{sw} < 0,04$; слабонабухающий – $0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$; средненабухающий – $0,08 < \varepsilon_{sw} \leq 0,12$; сильнонабухающий – $\varepsilon_{sw} > 0,12$.</p> <p>3. По степени засоленности D_{sal}, % супесь и суглинок: незасоленные – $D_{sal} < 5$; засоленные – $D_{sal} \geq 5$</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Разновидности песка (песчаных грунтов) по результатам зондирования (табл. 5.5 СТБ 943-2007)

Вид песчаного грунта	Разновидность песчаных грунтов по прочности	Удельное сопротивление грунта под конусом зонда q_c , МПа	Условное динамическое сопротивление грунта p_d , МПа
Гравелистый, крупный, средней крупности, независимо от влажности	Прочный	$q_c > 15,0$	$p_d > 14,0$
	Средней прочности	$2,8 \leq q_c \leq 15,0$	$2,8 \leq p_d \leq 14,0$
	Малопрочный	$q_c < 2,8$	$p_d < 2,8$
Мелкий, независимо от влажности	Прочный	$q_c > 8,3$	$p_d > 8,5$
	Средней прочности	$1,7 \leq q_c \leq 8,3$	$2,2 \leq p_d \leq 8,5$
	Малопрочный	$q_c < 1,7$	$p_d < 2,2$
Пылеватый маловлажный и влажный	Прочный	$q_c > 8,3$	$p_d > 8,5$
	Средней прочности	$1,2 \leq q_c \leq 8,3$	$1,5 \leq p_d \leq 8,5$
	Малопрочный	$q_c < 1,2$	$p_d < 1,5$
Пылеватый водонасыщенный	Прочный	$q_c > 5,8$	–
	Средней прочности	$1,0 \leq q_c \leq 5,8$	–
	Малопрочный	$q_c < 1,0$	–

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Разновидности глинистых грунтов по результатам зондирования
(табл. 5.6 СТБ 943-2007)

Вид песчаного грунта	Разновидность песчаных грунтов по прочности	Удельное сопротивление грунта под конусом зонда q_c , МПа	Условное динамическое сопротивление грунта p_d , МПа
Супесь, суглинок, глина (моренные)	Очень прочные	$q_c > 6,5$	$p_d > 8,3$
	Прочный	$2,5 < q_c \leq 6,5$	$2,8 < p_d \leq 8,3$
	Средней прочности	$1 \leq q_c \leq 2,5$	$1,2 \leq p_d \leq 2,8$
	Малопрочный	$q_c < 1$	$p_d < 1,2$
Супесь, суглинок, глина (кроме моренных)	Очень прочные	$q_c > 10$	–
	Прочный	$4,6 < q_c \leq 10$	–
	Средней прочности	$1 \leq q_c \leq 4,6$	–
	Малопрочный	$q_c < 1$	–

Оглавление

Введение	3
<i>Лабораторная работа № 1</i> Отбор проб грунтов ненарушенного и нарушенного сложения для анализа	4
<i>Лабораторная работа № 2</i> Определение гранулометрического состава грунта ситовым методом	5
<i>Лабораторная работа № 3</i> Определение гранулометрического состава грунта полевым методом (метод Рутковского)	7
<i>Лабораторная работа № 4</i> Графическое изображение гранулометрического состава грунта и определение наименования грунта	9
<i>Лабораторная работа № 5</i> Определение граничных значений плотности песчаного грунта	11
<i>Лабораторная работа № 6</i> Определение плотности грунта методом режущего кольца	13
<i>Лабораторная работа № 7</i> Метод парафинирования	14
<i>Лабораторная работа № 8</i> Определение влажности грунта	15
<i>Лабораторная работа № 9.</i> Определение плотности частиц незасоленных грунтов	16
<i>Лабораторная работа № 10</i> Характеристики, определяемые расчетом (плотность сухого грунта, пористость, коэффициент пористости, степень плотности и степень влажности)	19
<i>Лабораторная работа № 11</i> Определение наименования, консистенции и пределов пластичности грунта	21

<i>Лабораторная работа № 12</i>	
Определение набухания глинистого грунта.....	25
<i>Лабораторная работа № 13</i>	
Определение усадки глинистого грунта.....	28
<i>Лабораторная работа № 14</i>	
Определение скорости и характера размокания.....	29
<i>Лабораторная работа № 15</i>	
Определение скорости и высоты капиллярного поднятия	31
<i>Лабораторная работа № 16</i>	
Определение коэффициента фильтрации песчаного грунта	32
<i>Лабораторная работа № 17</i>	
Компрессионные испытания грунтов.....	36
<i>Лабораторная работа № 18</i>	
Исследование консолидации глинистого грунта.....	41
<i>Лабораторная работа № 19</i>	
Определение сопротивления грунта срезу в одноплоскостном сдвиговом приборе	44
<i>Лабораторная работа № 20</i>	
Определение угла естественного откоса песчаного грунта.....	49
Список литературы.....	51
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	52
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	54
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	55

Учебное издание

МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Лабораторный практикум
для студентов специальностей

- 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,
- 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»,
- 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»,
- 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство»,
- 1-70 07 01 «Строительство тепловых и атомных электростанций»,
- 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение
и охрана водных ресурсов»

Составители:

УЛАСИК Тамара Михайловна
БАНИКОВ Сергей Николаевич
МОРАДИ САНИ Бабак и др.

Редактор *Н. А. Костешева*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 12.11.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,37. Уч.-изд. л. 2,64. Тираж 200. Заказ 322.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.