



Министерство образования  
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

---

Кафедра «Геотехника и экология в строительстве»

**МЕХАНИКА ГРУНТОВ,  
ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

**Лабораторные работы (практикум)**

Минск 2004

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра "Геотехника и экология в строительстве"

## МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Лабораторные работы (практикум)  
для студентов строительных специальностей

М и н с к 2004

УДК 624.131

M55

Составители:

М.И. Никитенко, Н.Д. Банников, С.Н. Банников, К.Э. Повколас

Рецензенты:

В.Е. Сеськов, В.Н. Яромко, В.В. Штабинский

В лабораторном практикуме приводится краткое изложение теоретических основ механики грунтов и методов определения физических и механических свойств грунтов в соответствии с типовой учебной программой и действующими нормативными документами и государственными стандартами. В работе принята международная система единиц СИ.

ISBN 985-479-170-X

© Никитенко М.И., Банников Н.Д.,  
Банников С.Н., Повколас К.Э.,  
составление, 2004

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 строительные свойства грунтов могут быть оценены 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 таким расчетам относятся определение прочности и деформации грунтов, устойчивости откосов, давления грунта на ограждения, горного давления на обшивку подземных выработок, размеров фундаментов, способов производства работ по устройству оснований и т.д.

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

Цель лабораторных занятий — ознакомление с основными показателями физико-механических свойств грунтов и обучение методам их испытаний.

## **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 12071-2000 в виде монолитов, т.е. образцов естественного сложения и влажности, или в виде образцов нарушенного сложения.

Монолиты связных грунтов вырезаются в форме параллелепипедов с размером 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 тетрадь для лабораторных работ.
3. Ножом срезают верхний разрушенный слой грунта толщиной 1–2 см. Отбирают из монолита кольцом (размеры: 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 перекося 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 грунтов 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, вкладывая этикетку и прикрепляя бирку с указанием группы и бригады.

7. Данные записывают в табл. 1 (см. тетрадь для лабораторных работ).

### *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 12536-79, 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 следующим 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 см<sup>3</sup>, для песчаных – 200–600 см<sup>3</sup>.

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 частиц.

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. тетрадь для лабораторных работ).

## 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  $100 \text{ см}^3$  насыпают с уплотнением  $5 \text{ см}^3$  грунта ( $V_0$ ).
2. Грунт в мензурке разрыхляют, наливают  $50\text{--}70 \text{ см}^3$  воды и тщательно размешивают стеклянной палочкой с резиновым наконечником.
3. После размешивания к суспензии добавляют  $2\text{--}3 \text{ см}^3$  пятипроцентного раствора  $\text{CaCl}$  для ускорения коагуляции.
4. В мензурку доливают воды до  $100 \text{ см}^3$  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  $100 \text{ см}^3$  насыпают с уплотнением  $10 \text{ см}^3$  грунта, прошедшего через сито  $d = 2$  мм.
2. Грунт в мензурке разрыхляют, затем наливают  $100 \text{ см}^3$  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<sup>3</sup>, взмутняют 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 см<sup>3</sup>, 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 пылеватой фракции (0,05...0,005 мм)*

Процентное содержание пылеватой фракции вычисляют по разности между 100 % грунта и суммой процентного содержания песчаной и глинистой фракции. Результаты анализа вносят в табл. 3 тетради для лабораторных работ.

### *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 суммарное 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.

Т а б л и ц а 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	57,0
<0,1	8,5	0,1	8,5

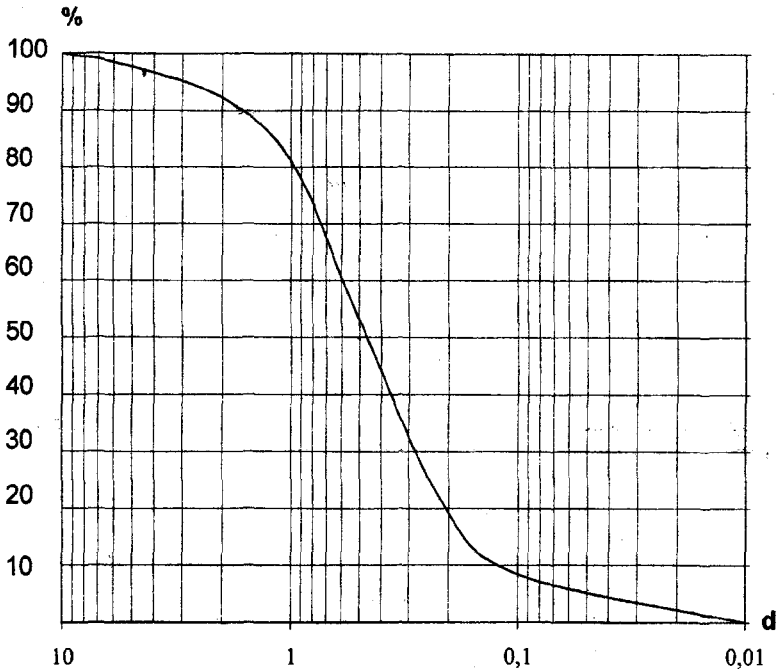


Рис.1. Суммарная кривая гранулометрического состава

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 и 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 943-93 (прил. 1).

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

Т а б л и ц а 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 и представляются в табл.5 тетради для лабораторных работ.

### *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  $\gamma$  – удельный вес, кН/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность грунта, т/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>).

## 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,  $\text{см}^3$ ;

$m_1$  – 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 разрыхлитель, 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 тетради для лабораторных работ.

### *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 удается вырезать столбик, кольцо вдавливают.
4. После заполнения кольца столбик грунта подрезают снизу ножом и отделяют кольцо с грунтом. Грунт, выступавший из кольца, срезают вровень с его краями.
5. Взвешивают кольцо с грунтом ( $m_1$ , г).
6. Определив массу грунта в кольце  $m = m_1 - m_0$ , вычисляют плотность грунта по формуле

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

где  $m$  – масса грунта, г;  
 $V$  – объем кольца, см<sup>3</sup>.

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Расхождение в результатах параллельных определений больше чем на 0,03 г/см<sup>3</sup> не допускается. Данные определений записывают в табл. 8 тетради для лабораторных работ.

## 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 см<sup>3</sup>, удалив по возможности при помощи ножа выступающие острые части, взвешивают его на технических весах ( $m$ , г).
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 ( $m_1$ , г).

4. Определяют массу парафина  $m_p = m_1 - m$ .

5. Определяют объем парафиновой оболочки:

$$V_p = \frac{m_p}{0,9},$$

где  $0,9 \text{ г/см}^3$  - плотность парафина.

6. Подвесив запарафинированный образец грунта на крюк коромысла весов, погружают его в стакан с чистой водой и взвешивают ( $m_2$ , г). 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

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

где  $m$  - масса образца, г;

$V_1$  - объем запарафинированного образца,  $\text{см}^3$ ;

$V_p$  - объем парафина,  $\text{см}^3$ .

Данные определений заносят в табл.9 тетради для лабораторных работ.

## 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. высушенного на воздухе, грунта.

## Ход работы

1. Взвешивают пустой бюкс с крышкой на технических весах с точностью до 0,01 г ( $m_0$ , г).
2. В бюкс помещают образец влажного грунта массой 10–20 г и взвешивают ( $m_1$ , г).
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 ( $m_2$ , г).
4. Величину влажности грунта  $W$  в процентах вычисляют по формуле

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

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 тетради для лабораторных работ.
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<sup>3</sup>.

Плотность частиц грунта обуславливается только минералогическим составом. В ориентировочных расчетах принимают плотность песков равной 2,66 г/см<sup>3</sup>; супесей и суглинков – 2,7 г/см<sup>3</sup>; глин – 2,75 г/см<sup>3</sup>.

Для определения плотности частиц грунта применяют мерные сосуды (пикнометры) емкостью не менее 100 см<sup>3</sup> и используют для незасоленных

грунтов дистиллированную воду, а для засоленных грунтов – керосин, толуол, ксилол. Зная плотность частиц грунта, находят их удельный вес:

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

где  $\gamma_s$  – удельный вес частиц, кН/м<sup>3</sup>;

$\rho_s$  – плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>(т/м<sup>3</sup>);

$g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>.

### Ход работы

1. Из воздушно-сухого грунта методом «квадратов» отбирают среднюю пробу массой 100–200 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<sup>3</sup> емкости мерной колбы (пикнометра).

3. Взвешивают пикнометр ( $m_1$ , г).

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

5. Определяют массу воздушно-сухого ( $m = m_2 - m_1$ ) 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 ( $m_3$ , г).

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

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, выраженных с точностью до  $0,01$ . Данные записывают в табл.10 тетради для лабораторных работ.

### 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  $\rho_s$ , плотности грунта  $\rho$ ) подсчитываются производные (плотность сухого грунта  $\rho_d$ , пористость  $n$ , коэффициент пористости  $e$ , степень плотности  $I_d$  и степень влажности  $S_r$ ) для песчаных грунтов. Результаты вычислений заносятся в табл. 12 тетради для лабораторных работ.

**Плотностью сухого** грунта называется отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к занимаемому этим грунтом объему (включая имеющиеся в этом грунте поры):

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

где  $m_c$  – масса сухого грунта, г;  
 $V$  – объем образца,  $\text{см}^3$ .

Плотность сухого грунта определяется по формуле

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

где  $\rho$  – плотность грунта,  $\text{г/см}^3$ ;  
 $W$  – влажность грунта, %.

**Пористостью** ( $n$ ) называют отношение объема пор к общему объему грунта. Пористость грунта 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  $\rho$  – плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_s$  – плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_d$  – плотность сухого грунта, г/см<sup>3</sup>

$W$  – весовая влажность, %.

Приведенной пористостью или коэффициентом пористости называется отношение объема пор к объему скелета 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)

Т а б л и ц а 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 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 при  $I_d \leq \frac{1}{3}$ ;

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

плотные при  $\frac{2}{3} < I_d \leq 1$ .

Степень влажности  $S_r$  характеризует долю заполнения пор грунта водой. Она выражается в долях единицы и определяется по формуле

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

где  $W$  – природная влажность, доли единицы;

$\rho_s$  – плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;

$e$  – коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности;

$\rho_w$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>.

Выделяются разновидности (СТБ 943-93) крупнообломочных и песчаных грунтов по степени влажности  $S_r$  (см. прил. 1).

### *Лабораторная работа № 11*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ, НАИМЕНОВАНИЯ И КОНСИСТЕНЦИИ ГРУНТА**

### *Определение наименования и консистенции глинистого грунта*

Глинистые грунты подразделяются на типы (СТБ 943-93) 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, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее, называют границей текучести (верхний предел пластичности  $W_L$ ).

Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в твердое, называют границей раскатывания (нижний предел пластичности  $W_P$ ). Эти величины называют характерными влажностями, их применяют для классификации глинистых грунтов. Разность между влажностями при пределе текучести и раскатывания называется числом пластичности  $I_p$ .

$$I_p = W_L - W_P.$$

Выделяются по числу пластичности, %:

супеси -  $1 < I_p \leq 7$ ,

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  $I_L$ :

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

Разновидности глинистых грунтов выделяются по консистенции, характеризуемой показателем текучести  $I_L$ :

супеси твердые -	$I_L < 0$ ,
супеси пластичные -	$0 \leq I_L \leq 1$ ,
супеси текучие -	$I_L > 1$ ,
суглинки и глины твердые -	$I_L < 0$ ,
суглинки и глины полутвердые -	$0 \leq I_L \leq 0,25$ ,
суглинки и глины тугопластичные -	$0,25 < I_L \leq 0,5$ ,
суглинки и глины мягкопластичные -	$0,5 < I_L \leq 0,75$ ,
суглинки и глины текучепластичные -	$0,75 \leq I_L \leq 1$ ,
суглинки и глины текучие -	$I_L > 1$ .

### **Определение границы текучести ( $W_L$ )**

Границе текучести  $W_L$  соответствует влажность (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).

### **Ход работы**

1. Из сухого грунта, прошедшего через сито с отверстиями 1мм, 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 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 нее немного воды, тщательно перемешивают и повторяют операции согласно п.2 и 3.

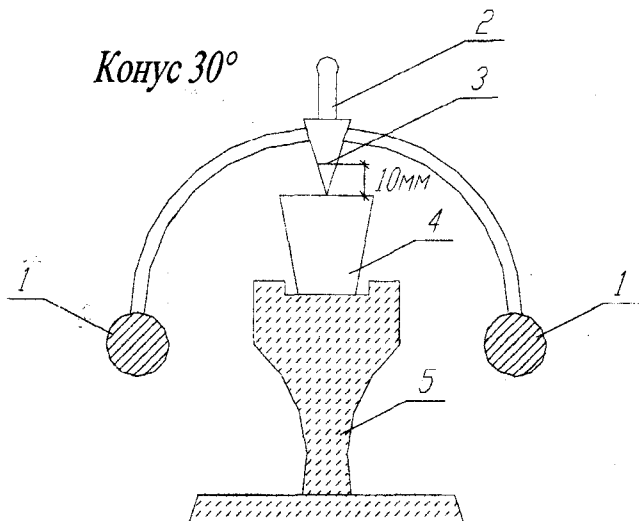


Рис.2. Прибор для определения границы текучести:

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

При погружении конуса на глубину более 10 мм грунтовую пасту вынимают из стаканчика, кладут на стекло, перемешивают шпателем, давая ему немного подсохнуть, и повторяют операции согласно п.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 тетради для лабораторных работ.

### **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, 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 тетради для лабораторных работ.

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 соответствии с лабораторной работой № 8.

### *Лабораторная работа № 12*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБУХАНИЯ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

### Набухание, усадка и размокание глинистых грунтов

Набуханием грунта называется увеличение его объема при взаимодействии с водой. 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. Относительное набухание без нагрузки рассчитывается по формуле

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

где  $\Delta h$  – приращение высоты образца, мм;

$h$  – начальная высота образца природной влажности, мм.

Выделяют разновидности (СТБ 943-93) глинистых грунтов по относительному набуханию без нагрузки ( см. прил. 1).

## Ход работы

Набухание определяется в приборе ПНЗ (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.

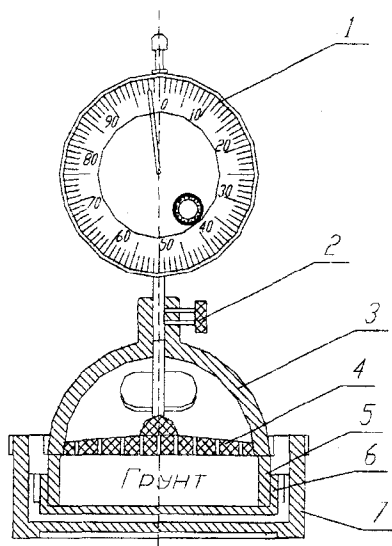


Рис.3. Прибор ПНЗ для определения величины набухания:  
1 – индикатор; 2 – винт; 3 – обойма; 4 – поршень;  
5 – режущее кольцо; 6 – перфорированный поддон; 7 – ванночка

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  $\Delta h$  – приращение высоты образца по показаниям индикатора, мм;  
 $h$  – начальная высота грунта в кольце, мм.

Данные записывают в табл. 15 тетради для лабораторных работ.

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, см<sup>3</sup>;

$V_H$  – первоначальный объем влажного грунта, см<sup>3</sup>;

$V_K$  – объем грунта при достижении предела усадки, см<sup>3</sup>.

### **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 высушенного образца, методом парафинирования определяют объем высушенного образца.

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

### *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.

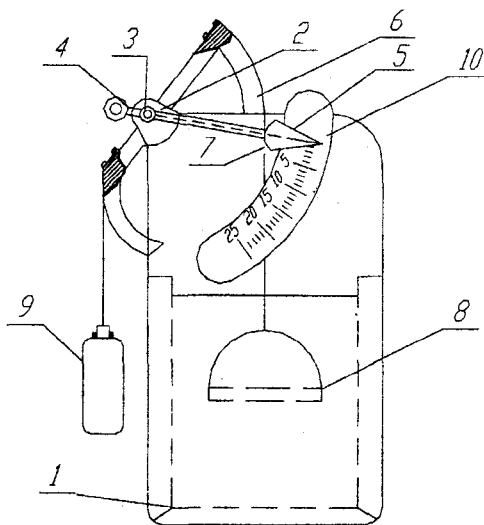


Рис.4. Прибор ПРГ-1 для определения размокания грунтов:  
 1 – корпус; 2 – опора; 3 – качающаяся ось; 4 – гайка; 5 – стрелка;  
 6 – скобообразный рычаг; 7 – гибкая связь; 8 – сетка;  
 9 – противовес; 10 – шкала

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

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  $\Pi$  – распад грунта, %;

$\Gamma$  – начальная числовая отметка;

$P$  – числовая отметка в процессе размокания.

Результаты определений записывают в табл.17 тетради для лабораторных работ.

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

## 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 тонкодисперснее 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. Наполнение производят небольшими порциями с уплотнением посредством сотрясаний.

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 ч.

6. Данные записывают в табл. 18 тетради для лабораторных работ.

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.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

### Водопроницаемость грунтов

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

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 при вычислении возможного притока воды в строительные котлованы, проектировании дренажных устройств, определении 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.

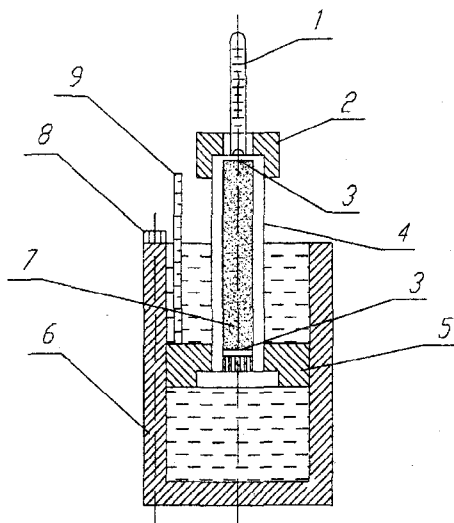


Рис.5. Прибор КФ-00:

- 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

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 ценой деления 0,02.

## 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 фильтрационную 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  $25 \text{ см}^2$ .
5. На грунт помещают сетку 3, на трубку одевают 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  $F$  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

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

где  $K_{10}$  – коэффициент фильтрации при температуре  $10^\circ\text{C}$ , м/сут;

$Q$  – объем воды,  $\text{см}^3$ ;

$F$  – площадь поперечного сечения металлического цилиндра, равная  $25 \text{ см}^2$ ;

$T$  – время, с;

$I$  – напорный градиент;

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

$t$  – температура воды при опыте,  $^\circ\text{C}$ ;

864 – переводной коэффициент,  $\text{см/с}$  в м/сут.

10. Повторяют опыт при различных значениях градиента напора.

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

## 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 наступает 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 чаще изучение сжимаемости 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

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

где  $e_0$  – начальный коэффициент пористости;

$\Delta h$  – деформация образца грунта для каждой ступени давления;

$h_n$  – начальная высота образца грунта, мм.

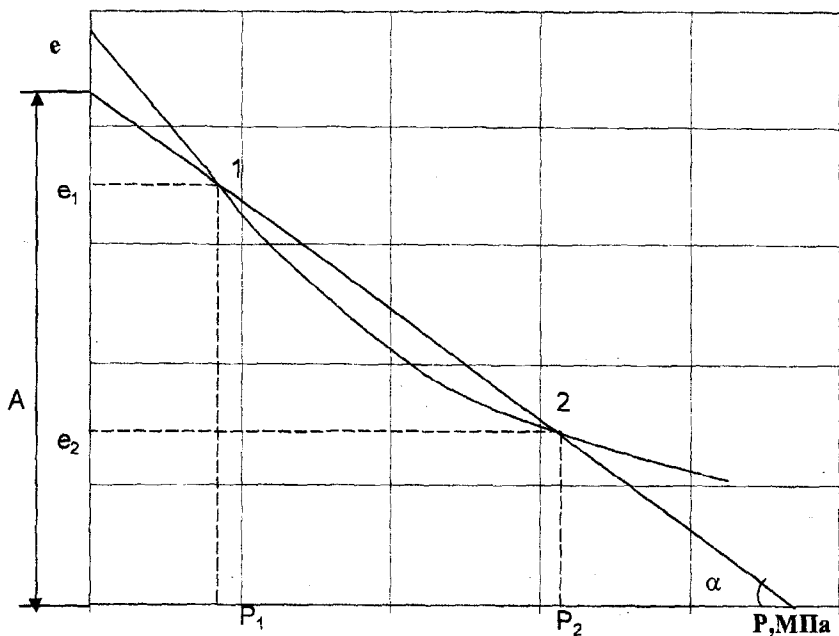


Рис.6. Компрессионная кривая (зависимость коэффициента пористости  $e$  от приложенной нагрузки  $P$ )

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.



Коэффициент уплотнения ( $m$ ), МПа <sup>-1</sup>	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

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

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

$\xi$  – коэффициент бокового давления для данного грунта;

$\mu$  – коэффициент Пуассона;

$m_V$  – относительный коэффициент сжимаемости (компрессии), МПа<sup>-1</sup>;

$$m_V = \frac{1 + e_0}{m} ;$$

$e_0$  – начальный коэффициент пористости;

$\beta$  – коэффициент сжимаемости 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 3ч, 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.

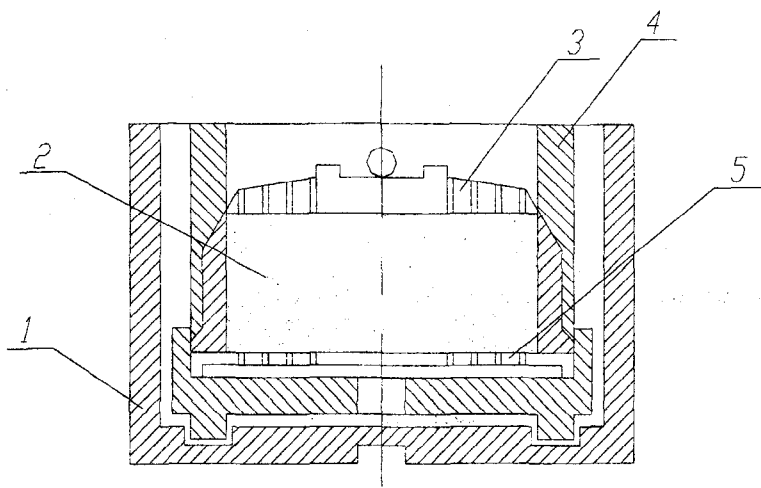


Рис.7. Схематический разрез копресссионной части прибора КП:  
 1 – ванна; 2 – грунтоотборочное кольцо с грунтом;  
 3 – перфорированный поршень; 4 – обойма; 5 – перфорированный диск

### 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,  $\text{м}^2$ ;  
 $N$  – 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. Вычисляются коэффициенты пористости и модуль осадки при соответствующих нагрузках и данные заносятся в табл. 17 тетради для лабораторных работ.

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

12. Подсчитываются 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 производится 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 значений деформаций, полученных в процессе испытания, определяют по формуле

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

где  $\Delta h_i$  – деформация образца за отрезок времени, для которого определяется консолидация, мм;

$\Delta h$  – конечная стабилизированная деформация образца, мм.

Строят кривую консолидации в полулогарифмическом масштабе в системе координат “деформация  $\Delta h_i$  – время  $t$ ” (рис. 8).

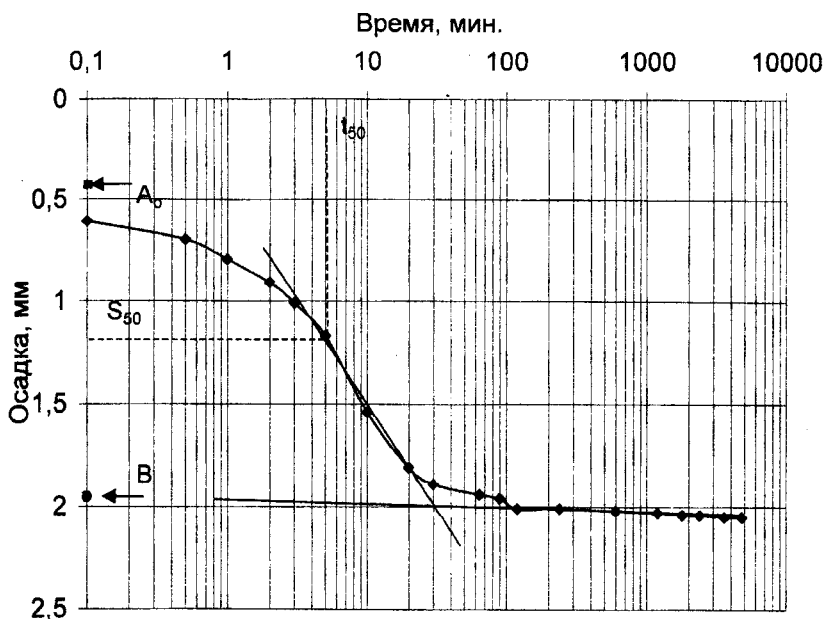


Рис.8. Кривая консолидации грунта в полулогарифмическом масштабе

На кривой консолидации 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.

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 в 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).

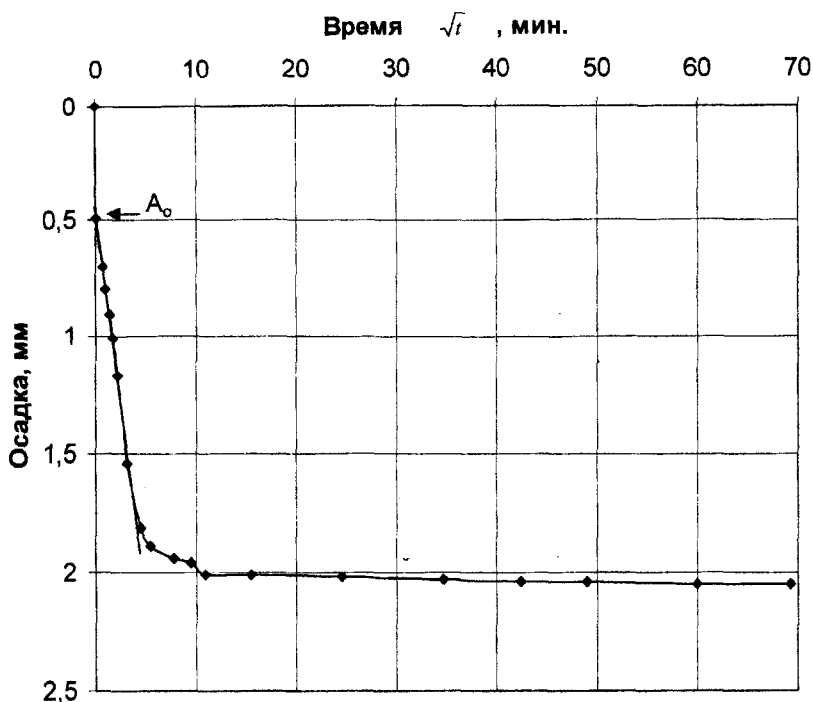


Рис.9. Нахождение точки, соответствующей началу участка фильтрационной консолидации

Продолжение прямолинейного участка кривой консолидации до пересечения с осью ординат даст точку А, которую приближенно 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. Коэффициент консолидации 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  $Q = 0,5$ .

Коэффициент фильтрации определяют по формулам

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

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

### Ход работы

1. Испытание грунтов производится 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 тетради для лабораторных работ.

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, согласно теории прочности Кулона–Мора, возникает при определенном для каждого грунта соотношении между касательными ( $\tau$ ) 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

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

где  $\varphi$  – 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  $\varphi$  и  $c$  используют при расчетах устойчивости массивов, определении несущей способности оснований и др.

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

При определении сопротивления сдвигу глинистых грунтов применяют следующие 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 собой 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 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.

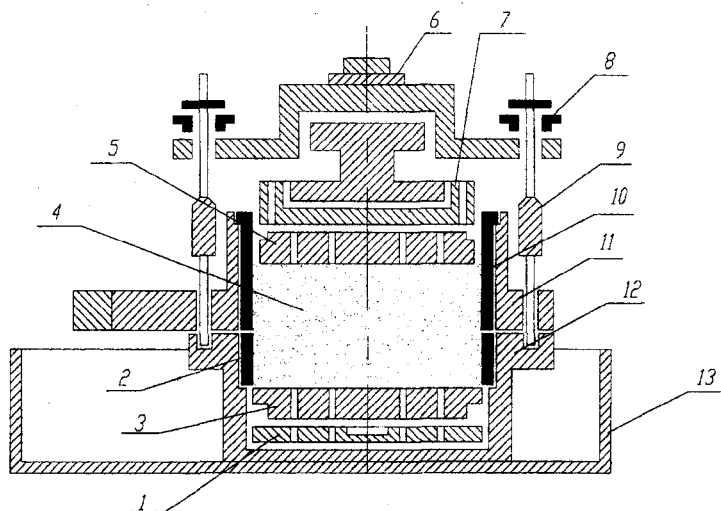


Рис.10. Схематический разрез сдвигового прибора ГПП-30:

- 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 осадки 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 от 0,5 до 1 мм.

8. Производят сдвиг, прикладывая горизонтальное сдвигающее усилие к верхней подвижной обойме. Груз, создающий сдвигающее усилие, прикладывают ступенями 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, м<sup>2</sup>.

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 ч и один в течение 2 сут; один образец следует срезать без предварительного уплотнения. Результаты опытов заносят в табл. 19 тетради для лабораторных работ.

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

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

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

где  $\tau_i$  – 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.

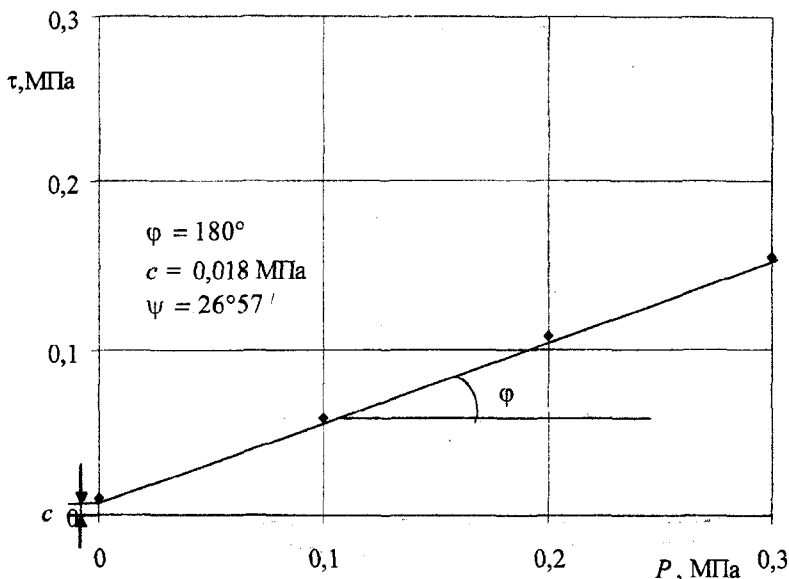


Рис.11. График зависимости сопротивления сдвигу  $\tau$  от нормальных напряжений  $P$  (консолидированный сдвиг)

14. Определяют угол сдвига  $\psi$  для нескольких значений  $P$ :

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

### 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, укрепленной в центре столика, и съемного конуса 3. В комплект прибора входит стеклянный цилиндр 4 для выполнения опытов под водой.

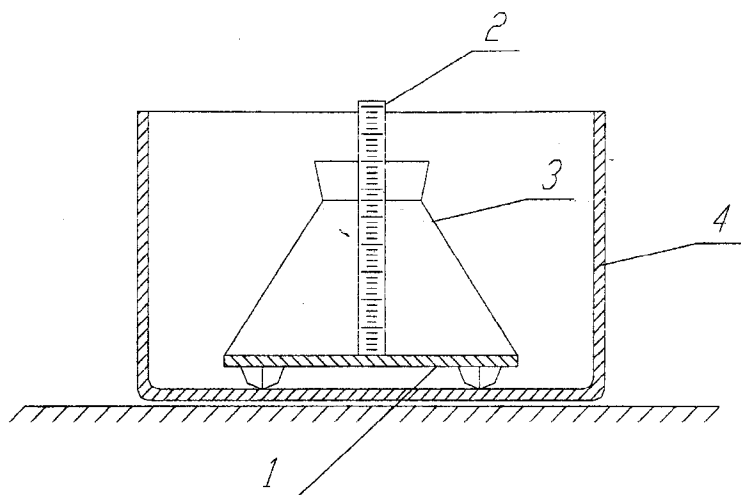


Рис.12. Схема прибора для определения угла естественного откоса УВТ-2: 1 – опорный столик; 2 – шкала; 3 – съемный конус; 4 – стеклянный сосуд

### 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 тетради для лабораторных работ.

## Литература

1. СНБ 5.01.01-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений. – Мн.: ГП “Минсктиппроект”, 1999.
2. СТБ 943-93. Грунты. Классификация. – Мн.: ГП “Минсктиппроект”, 1995.
3. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – М.: НИИОСП им. Герсеванова, 2000.
4. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: ПНИИИС, 1984.
5. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: ПНИИИС, 1979.
6. ГОСТ 24143-80. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки. – М.: ПНИИИС, 1981.
7. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: НИИОСП им. Герсеванова, 1996.
8. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. – М.: НИИОСП им. Герсеванова, 1996.
9. СН 528-80. Перечень единиц физических величин, подлежащих применению в строительстве. – М.: НИИОСП им. Герсеванова, 1981.
10. *Слюсаренко С.А.* Механика грунтов. – Киев: Вища школа, 1982. – 87с.
11. *Соболевский Ю.А., Морозова Л.К., Лукинская И.Г., Банников Н.Д.* 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. – Минск: БПИ, 1985. – 65с.
12. *Чаповский Е.Г.* Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. Изд. 4-е. М.: Недра, 1975, 304 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Приложение 1  
 Класс грунтов без жестких структурных связей (класс нескальных грунтов) (табл. 4.2 СТБ 943-93)

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

1	2	3	4	5
Осадочные нецементированные	Обломочные - пылевато-глинистые	По числу пластичности $I_p$ , %: супесь - $1 \leq I_p \leq 7$ суглинок - $7 < I_p \leq 17$ глина - $I_p > 17$	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 % 2. По относительному содержанию органического вещества $I_{om}$ : без примеси органического вещества - $I_{om} \leq 0,05$ с примесью органического вещества - $0,05 < I_{om} \leq 0,10$ 3. По коэффициенту пористости $e$ лёссовидные: низкопористые - $e \leq 0,8$ высокопористые - $e > 0,8$	1. По прочности (сопротивлению грунта при зондировании) согласно прил. 3. 2. По показателю текучести $I_L$ (консистенции): супесь твердая - $I_L < 0$ то же, пластичная - $0 \leq I_L \leq 1$ текучая - $I_L > 1$ суглинок и глина: твердые - $I_L < 0$ полутвердые - $0 \leq I_L \leq 0,25$ тугопластичные - $0,25 < I_L \leq 0,50$ мягкопластичные - $0,50 < I_L \leq 0,75$ текучепластичные - $0,75 < I_L \leq 1$ текучие - $I_L > 1$ 3. По относительной просадочности $\epsilon_{sl}$ : непросадочный - $\epsilon_{sl} < 0,01$ просадочный - $\epsilon_{sl} \geq 0,01$ 4. По относительному набуханию без нагрузки $\epsilon_{sw}$ : ненабухающий - $\epsilon_{sw} < 0,04$ слабонабухающий - $0,04 \leq \epsilon_{sw} \leq 0,08$ средненабухающий - $0,08 < \epsilon_{sw} \leq 0,12$ сильнонабухающий - $\epsilon_{sw} > 0,12$ 5. По степени засоленности $D_{sal}$ , %: супесь и суглинок: незасоленные - $D_{sal} < 5$ засоленные - $D_{sal} \geq 5$

Вид	Разновидность	Сопротивление грунта при зондировании, МПа		Скорость ударно-вибрационного зондирования, см/с, в интервале глубин, м		
		статическом	динамическом	1 - 4	4 - 12	12 - 20
Гравелистый, крупный, средний независимо от влажности	Прочный	$q_c > 15$	$p_d > 14$	$v < 1,2$	$v < 1,1$	$v < 1$
	Средней прочности	$2,8 \leq q_c \leq 15$	$3,3 \leq p_d \leq 14$	$1,23 \leq v \leq 4,9$	$1,1 \leq v \leq 4,7$	$1 \leq v \leq 4,3$
	Малопрочный	$q_c < 2,8$	$p_d < 3,3$	$v > 4,9$	$v > 4,7$	$v > 4,3$
Мелкий независимо от влажности	Прочный	$q_c > 8,3$	$p_d > 8,5$	$v < 1,9$	$v < 1,8$	$v < 1,7$
	Средней прочности	$1,7 \leq q_c \leq 8,3$	$2,2 \leq p_d \leq 8,5$	$1,9 \leq v \leq 7,3$	$1,8 \leq v \leq 7$	$1,75 \leq v \leq 6,5$
	Малопрочный	$q_c < 1,7$	$p_d < 2,2$	$v > 7,3$	$v > 7$	$v > 6,5$
Пылеватый маловлажный и влажный	Прочный	$q_c > 8,3$	$p_d > 8,5$	$v < 1,9$	$v < 1,8$	$v < 1,7$
	Средней прочности	$1,2 \leq q_c \leq 8,3$	$1,5 \leq p_d \leq 8,5$	$1,9 \leq v \leq 10,8$	$1,8 \leq v \leq 10,3$	$1,7 \leq v \leq 9,5$
	Малопрочный	$q_c < 1,2$	$p_d < 1,5$	$v > 10,8$	$v > 10,3$	$v > 9,5$

Примечание: Разновидность песка гравелистого выделяется по  $p_d$  и  $v$ , пылеватого водонасыщенного – по  $q_c$  с границами средней прочности  $1 \leq q_c \leq 8$  МПа.



Приложение 3

Разновидности пылеватоглинистых грунтов по прочности (по данным зондирования) (табл.4.6 СТБ 943-93)

Тип, подгруппа (генезис)	Разновидность	Сопротивление грунта при зондировании, МПа	
		статическом	динамическом
Супесь, суглинок, глина (моренные)	Очень прочные	$q_c > 6,5$	$p_d > 8,3$
	Прочные	$2,5 < q_c \leq 6,5$	$2,8 < p_d \leq 8,3$
	Средней прочности	$1 \leq q_c \leq 2,5$	$1,2 \leq p_d \leq 2,8$
	Слабые	$q_c < 1$	$p_d < 1,2$
Супесь, суглинок, глина (кроме моренных)	Очень прочные	$q_c > 10$	—
	Прочные	$4,6 < q_c \leq 10$	
	Средней прочности	$1 \leq q_c \leq 4,6$	
	Слабые	$q_c < 1$	

## Содержание

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Отбор проб грунтов ненарушенного и нарушенного сложения для анализа.....	4
Лабораторная работа № 2. Определение гранулометрического состава грунта ситовым методом.....	5
Лабораторная работа № 3. Определение гранулометрического состава грунта полевым методом (метод Рутковского).....	7
Лабораторная работа № 4. Графическое изображение гранулометрического состава грунта и определение наименования грунта.....	8
Лабораторная работа № 5. Определение граничных значений плотности песчаного грунта.....	10
Лабораторная работа № 6. Определение плотности грунта методом режущего кольца.....	11
Лабораторная работа № 7. Метод парафинирования.....	12
Лабораторная работа № 8. Определение влажности грунта.....	13
Лабораторная работа № 9. Определение плотности частиц незасоленных грунтов.....	14
Лабораторная работа № 10. Характеристики, определяемые расчетом (плотность сухого грунта, пористость, коэффициент пористости, степень плотности и степень влажности).....	16
Лабораторная работа № 11. Определение пределов пластичности, наименования и консистенции грунта.....	18
Лабораторная работа № 12. Определение набухания глинистого грунта.....	21
Лабораторная работа № 13. Определение усадки глинистого грунта.....	23
Лабораторная работа № 14. Определение скорости и характера размокания.....	24
Лабораторная работа № 15. Определение скорости и высоты капиллярного поднятия.....	26
Лабораторная работа № 16. Определение коэффициента фильтрации песчаного грунта.....	27
Лабораторная работа № 17. Компрессионные испытания грунтов.....	30
Лабораторная работа № 18. Исследование консолидации глинистого грунта.....	34
Лабораторная работа № 19. Определение сопротивления грунта срезу в одноплоскостном сдвиговом приборе.....	37
Лабораторная работа № 20. Определение угла естественного откоса песчаного грунта.....	41
Л и т е р а т у р а.....	43
П р и л о ж е н и я.....	45
Приложение 1.....	46
Приложение 2.....	48
Приложение 3.....	49

Учебное издание

## МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Лабораторные работы (практикум)  
для студентов строительных специальностей

Составители: НИКИТЕНКО Михаил Иванович  
БАННИКОВ Николай Дмитриевич  
БАННИКОВ Сергей Николаевич  
ПОВКОЛАС Константин Эдуардович

Редактор Е.И.Кортель

---

Подписано в печать 23.07.2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,9. Уч.-изд. л. 2,3. Тираж 500. Заказ 580.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.