

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 19.01.2026 16:42:29  
Уникальный программный ключ:  
5cf0d6f89e80f49a554f6a4ba58e9113526b9926

## МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования**

### **«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра «Транспортных сооружений и строительных материалов»**



### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
«Механика грунтов»  
для студентов направления подготовки бакалавров  
08.03.01 - «Строительство»**

**Махачкала – 2024**

**УДК 624.131**

**Учебно - методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Механика грунтов» для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01 - «Строительство».**

**Махачкала, ДГТУ, 2024г., 32с.**

Изложены методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине “Механика грунтов”, предусмотренных типовой программой в соответствии с действующими ГОСТами.

Приведены краткие описания методов, приборов и инструментов для проведения лабораторных работ, образцы журналов записи результатов опытов, методы их обработки и определения показателей физических и механических свойств грунтов в лабораторных условиях.

**Составители: А.С. Айдаев – к.т.н., доцент  
Э.К. Агаханов - д.т.н., профессор**

**Рецензенты:**

**Доцент кафедры Транспортных сооружений и строительных  
материалов, к.т.н. - М.О. Аллаев**

**Генеральный директор ООО «Экодор» - Н.М. Бутаев**

Печатается согласно постановлению совета ФГБОУ ВПО «Дагестанский  
государственный технический университет» от « » \_\_\_\_\_ 2024 г.

## Содержание

1. Лабораторная работа №1. Определение плотности грунта методом режущего кольца (цилиндра). .....	4
2. Лабораторная работа №2. Определение плотности грунта методом взвешивания в воде (с парафинированием) .....	5
3. Лабораторная работа №3. Определение плотности частиц незасоленного грунта пикнометрическим методом.....	6
4. Лабораторная работа №4. Определение влажности грунта методом высушивания .....	7
5. Лабораторная работа №5. Определение влажности грунта на нижней границе пластичности (границе раскатывания) . .....	9
6. Лабораторная работа №6. Определение влажности грунта на верхней границе пластичности (границе текучести) .....	10
7. Лабораторная работа №7. Определение гранулометрического состава песчаного грунта ситовым методом .....	11
8. Лабораторная работа №8. Определение характеристик сжимаемости (деформируемости) грунта методом компрессии в одометре.....	12
9. Лабораторная работа №9. Определение коэффициента фильтрации грунта по результатам компрессионных испытаний.....	15
10. Лабораторная работа №10. Определение прочностных характеристик грунта методом прямого среза .....	17
11. Лабораторная работа №11. Определение прочностных характеристик грунта при трехосном сжатии .....	22
12. Приложение 1. Упражнения 1 – 4 .....	26
13. Приложение 2. Справочные таблицы .....	29
<b>Список использованной литературы .....</b>	<b>31</b>

## Лабораторная работа № 1

### **Определение плотности грунта методом режущего кольца (цилиндра) (ГОСТ 5180 - 2015)**

Плотностью грунта называется масса единицы его объема. Плотность грунта зависит от изменения его влажности.

#### **Цель работы:**

Определение плотности грунта при естественной влажности.

#### **Приборы и принадлежности:**

Режущее кольцо, образец глинистого грунта, нож, весы.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Вскрывать монолит грунта, удалив парафиновую заливку, на зачищенную и выровненную поверхность грунта острым краем вниз поставить заранее взвешенное (масса  $q_0$ ) режущее кольцо, размеры и объем ( $V$ ) которого известны.

2. Придерживая кольцо одной рукой, вырезать ножом под кольцом столбик грунта высотой 1-2 см. диаметром несколько больше, чем диаметр кольца. Одновременно с этим слегка нажимать сверху на кольцо, насаживая его без перекоса на столбик до тех пор, пока грунт не заполнит кольцо и не выйдет выше него на 2-3 мм. Столбик грунта на расстоянии 10 мм ниже края кольца подрезать конусом и кольцо с грунтом извлечь из монолита.

3. Поверхность грунта зачистить ножом с прямым лезвием вровень с краем кольца. При этом надо следить, чтобы на поверхности не было бугорков и выемок. Мелкие раковины зашпаклевать грунтом без нажима. Поместить кольцо зачищенной стороной на стекло и аналогично зачистить вторую сторону.

4. Кольцо с грунтом снаружи тщательно очистить от грунта и взвесить (масса кольца с грунтом  $q_1$ ).

5. Определить массу грунта:  $q = q_1 - q_0$  и плотность по формуле:

$$\rho = q / V, \text{ г/см}^3 \quad (1.1)$$

Результаты всех взвешиваний и вычислений занести в журнал записи результатов.

#### **Журнал записи результатов опытов**

**Таблица 1**

Лаб. № грунта	№ кольца	Высота кольца, $h$ (см)	Площадь кольца, $A$ (см <sup>2</sup> )	Объем кольца, $V$ (см <sup>3</sup> )	Масса кольца, $q_0$ (г)	Масса кольца с грунтом, $q_1$ (г)	Масса грунта, $q$ (г)	Плотность грунта, $\rho$ (г/см <sup>3</sup> )	Среднее значение плотности, $\rho_{\text{ср}}$ (г/см <sup>3</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**Для каждого образца выполнить не менее двух параллельных определений плотности и вычислить среднее значение.**

## Лабораторная работа № 2

### Определение плотности грунта методом взвешивания в воде (с парафинированием образца) (ГОСТ 5180 - 2015)

#### Приборы и принадлежности:

Парафин, фильтровальная бумага, нитка, электроплитка, иголка, весы, подставка к весам и стеклянный сосуд для воды, сосуд для расплавления парафина.

#### Порядок выполнения работы:

Образец грунта, объемом не менее  $\approx 30 \text{ см}^3$ , обрезать ножом так, чтобы его поверхность приобрела по возможности, округлые формы и взвесить (**масса образца -  $q$** ). После взвешивания образец обвязать тонкой ниткой, оставляя свободный конец 10-15 см, и опустить на 1-2 сек в расплавленный, но не кипящий парафин с температурой  $57-60^\circ \text{C}$ .

Парафин должен быть без примесей с заранее известной **плотностью  $\rho_n$** , принимаемая обычно, для комнатной температуры  $18^\circ \text{C}$ , **равной  $0,9 \text{ г/см}^3$** .

Повторным погружением нарастить на поверхности образца парафиновый слой, толщиной 0,5-1,0 мм. Появляющиеся в охлажденной парафиновой оболочке пузырьки воздуха удалить, прокалывая их и заглаживая отверстия нагретой иглой. Образец грунта в парафиновой оболочке взвесить в воздухе (**масса  $q_1$** ), затем в воде (**масса  $q_2$** ).

При взвешивании в воде образец грунта необходимо полностью погрузить в воду.

После взвешивания в воде образец обсушить фильтровальной бумагой и вновь взвесить. Если приращение массы по сравнению с массой  **$q_1$**  составит более 0,02 г - образец забраковать, так как в него проникла вода.

Плотность вычислить по формуле:

$$\rho = q \cdot \rho_w \cdot \rho_n / [(q_1 - q_2) \cdot \rho_n - (q_1 - q) \cdot \rho_w], \quad \text{г/см}^3, \quad (2.1)$$

где:  $\rho_w$  - плотность воды, принимаемая равной  $1,0 \text{ г/см}^3$ ;  
 **$q_1$**  - масса образца с парафиновой оболочкой на воздухе;  
 **$q_2$**  - масса образца с парафиновой оболочкой в воде.

Результаты всех взвешиваний и вычислений занести в журнал

#### Журнал записи результатов опытов

Таблица 2

Лаб. № грунта	Масса образца грунта <b><math>q</math></b> (г)	Масса запарафинированного образца, <b><math>q_1</math></b> (г)	Масса запарафинированного образца в воде <b><math>q_2</math></b> (г)	Масса запарафинир. образца (контрольная), <b><math>q_2^*</math></b> (г)	Плотность грунта, <b><math>\rho</math></b> (г/см <sup>3</sup> )	Среднее значение плотности, <b><math>\rho_{\text{ср}}</math></b> (г/см <sup>3</sup> )
1	2	3	4	5	6	7

Для каждого образца выполнить не менее двух определений и вычислить среднее значение с точностью до  $0,01 \text{ г/см}^3$ .

## **Определение плотности частиц незасоленного грунта пикнометрическим методом (ГОСТ 5180 - 2015)**

Для большинства однородных грунтов численные значения плотности их частиц колеблются в определенных пределах. Так, по данным Д.Е. Польшина плотность частиц незасоленных грунтов без органических примесей может быть принята: для песков  $2,66 \text{ г/см}^3$  с вероятной ошибкой  $\pm 0,36 \%$

-/-	супесей	2,70 г/см <sup>3</sup>	-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/- ± 0,63 %
-/-	суглинков	2,71 г/см <sup>3</sup>	-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/- ± 0,74 %
-/-	глин	2,74 г/см <sup>3</sup>	-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/-/- ± 0,99 %

### Приборы и принадлежности:

Весы, пикнометр, фарфоровая ступка с пестиком, сито с отверстиями 2 мм, песчаная баня, термометр, термостат.

Из пробы воздушно-сухого грунта отобрать методом квартования 80-90 г грунта и просеять через сито с отверстиями 2 мм. Остаток на сите механически раздробить, добавить к основной пробе и тщательно перемешать. Подготовленную пробу высушить при температуре 100-105°C. Тарировка пикнометров обычно выполняется лаборантом, а студенту требуется выписать из общего журнала данные тарировки тех пикнометров, которыми он пользуется.

1. Выписать из общего лабораторного журнала данные тарировки пикнометров: масса пикнометра  $q_0$ , объем пикнометра  $V_n$ , масса пикнометра с водой, долитой до мерной черты -  $q_1$ , и занести в журнал записи результатов опыта (тарировка пикнометров выполняется лаборантом заранее).

2. В протарированный пикнометр, емкостью 100-250 мл, всыпать при помощи воронки 35-45 г подготовленного к анализу абсолютно сухого грунта и взвесить (масса  $q_2$ ). Масса сухого грунта при этом равна:  $q = q_2 - q_0$ .

3. При работе с воздушно-сухим грунтом, одновременно взять пробу для определения гигроскопической влажности. Долить пикнометр дистиллированной водой, примерно до половины его емкости и кипятить на песчаной бане для удаления воздуха 30 мин (для песков) или 1 час (для глины и суглинков). После кипячения долить пикнометр дистиллированной водой и охладить, примерно до комнатной температуры. Установить нижний край

мениска суспензии строго на уровне мерной черты пикнометра, добавляя по каплям дистиллированную воду. Пикнометр тщательно обтереть снаружи, шейку пикнометра внутри и взвесить (масса  $q_3$ ). Опыт выполняется при температуре 10-15° С.

Плотность частиц вычислить по формуле:

$$\rho_s = q \cdot \rho_w / (q + q_1 - q_3), \text{ г/см}^3 \quad (3.1)$$

где:  $q$  - масса сухого грунта (г);

$q_1$  - масса пикнометра с водой при температуре во время проведения опыта -  $q_1 = q_0 + \rho_w \cdot V_n$  (г);

$q_3$  - масса пикнометра с грунтом и водой при той же температуре после кипячения (г);

$\rho_w$  - плотность воды при температуре во время проведения опыта, принимаемая равной 1,0 (г/см<sup>3</sup>);

$V_n$  - объем пикнометра (см<sup>3</sup>);

Все взвешивания проводить с точностью до 0,01 г. Плотность частиц вычислить до 0,01 г/см<sup>3</sup>. Произвести не менее двух определений плотности частиц, разница между которыми допускается не более 0,02 г/см<sup>3</sup>.

Объем  $V_n$  (см<sup>3</sup>) и масса пикнометра  $q_0$  (г) принимаются по данным тарировки пикнометра.

Результаты определений занести в журнал, представленный ниже – табл. 3.

#### Журнал записи результатов опытов

Таблица 3

Лаб. № грунта	№ пикнометра	Объем пикнометра, $V$ (см <sup>3</sup> )	Масса пикнометра, $q_0$ (г)	Масса пикнометра с водой, $q_1$ (г)	Масса пикнометра с сухим грунтом, $q_2$ (г)	Масса сухого грунта, $q = q_2 - q_0$ (г)	Масса пикнометра с грунт. водой, $q_3$ (г)	Плотность частиц грунта, $\rho_s$ (г/см <sup>3</sup> )	
								Частные значения, $\rho_{si}$	Среднее значение, $\rho_{ср}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Для каждого образца выполнить не менее двух определений и вычислить среднее значение с точностью до 0,01 г/см<sup>3</sup>.

#### Лабораторная работа № 4

#### Определение весовой влажности грунта методом высушивания (ГОСТ 5180 – 2015).

Под влажностью грунта понимается отношение массы воды в образце к массе сухого грунта.

Влажность грунта в условиях природного залегания называется естественной влажностью грунта, а при полном заполнении пор водой называется полной влагоемкостью.

Наиболее распространенными в лабораторной практике являются термические методы, один из которых – **термостатный**, стал стандартным (ГОСТ 5180-2015).

### Цель работы

Определение влажности грунта термостатным методом.

### Приборы и принадлежности:

Бюксы с крышками, весы, термостат, эксикатор.

### Порядок выполнения работы:

1. В заранее высушенный, пронумерованный и взвешенный стеклянный или алюминиевый стаканчик с крышкой (бюкс) поместить пробу исследуемого грунта массой не менее 10 г, закрыть крышкой и взвесить. Необходимо следить, чтобы номер бюкса и крышки совпадали.

2. После взвешивания бюкс открыть и высушить в сушильном шкафу (термостата) при температуре 100-105° С до постоянного веса, т.е. до тех пор, пока разница между двумя последующими взвешиваниями будет не более 0,02 г. Первичное высушивание глинистых грунтов произвести в течение 5 часов, песчаных - в течение 3 часов, а каждое повторное высушивание - в течение 2 часов для глинистых и 1 часа для песчаных грунтов. С помощью тигельных щипцов бюксы с высушенным грунтом (после каждой сушки) установить при закрытой крышке в эксикатор с хлористым кальцием, охладить и взвесить. За результат принять наименьшую массу. Для ускорения сушки можно воспользоваться вакуумным электротермостатом.

3. Для образцов, не содержащих органических остатков, можно произвести ускоренную сушку при помощи термоизлучателя инфракрасных лучей. В этом случае 5 минут - продолжительность первичной сушки и по 3 минуты - последующих.

Все вычисления свести в журнал записи результатов – в **таблицу 4**.

### Журнал записи результатов

**Таблица 4**

Лаб. № грунта	№№ бюкс	Масса бюкса, $q_0$ (г)	Масса бюкса с влажным грунтом, $q_1$ (г)	Масса бюкса (г) с высушен. грунтом			Влажность грунта: $W=(q_1 - q_2) / (q_2 - q_0)$	
				$q_2$ 1-е взвешивание	$q_2$ 2-е взвешивание	$q_2$ 3-е взвешивание	Частные значения $W_i$	Среднее значение $W_{cp}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

*Для каждого образца выполнить не менее двух определений и вычислить среднее значение с точностью до 0,01 г/см<sup>3</sup>.*

**\*После лабораторных работ №№ 1-4 выполняется Упражнение №1 – «Определение производных (вычисляемых) характеристик физических свойств грунта» (см. Приложение 1).**



#### **Лабораторная работа № 4**

### **Определение влажности грунта на нижней границе пластичности (границе раскатывания) (ГОСТ 5180 - 2015)**

Нижней границей пластичности или границей раскатывания грунта называется влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в твердое или наоборот.

#### **Цель работы:**

Определение границы раскатывания.

#### **Приборы и принадлежности:**

Весы, термостат или термоизлучатель инфракрасных лучей, фарфоровая ступка с пестиком, шпатель, сито с отверстиями 0,5 мм, эксикатор, лист плотной бумаги или гладкая доска.

#### **Подготовка образца грунта**

Воздушно-сухой грунт (объемом  $\approx 50 \text{ см}^3$ ) размельчить пестиком и пропустить через сито 0,5 мм. Влажные грунты размять шпателем с добавлением /при надобности/ воды и протереть сквозь сито 0,5 мм. Прошедший через сито грунт увлажнять до состояния густого теста, при одновременном перемешивании, и поместить в закрытый сосуд. В таком состоянии грунт выдерживать не менее 24 часов.

#### **Порядок выполнения работы:**

Небольшой кусочек подготовленного грунтового теста раскатать пальцами на листе плотной глянцевой бумаги или на гладкой деревянной пластинке до образования жгута диаметром около 3 мм. Если при этой толщине грунт не крошится, его перемять, а затем вновь раскатать до указанной толщины. Раскатывание проводить, слегка нажимая на жгут, не допуская ни простого катания жгута по бумаге, ни сильного нажима. Длина жгута не должна превышать ширины ладони. Раскатывание продолжать до тех пор, пока жгут, толщиной  $\approx 3$  мм, не будет крошиться по всей длине.

Полученные кусочки жгута собирать в заранее взвешенный бюкс, плотно прикрывая его крышкой, пока общая масса кусочков грунта в бюксе будет не менее 10 г и определить влажность собранных кусочков /см. л. работу №4 /.

Если ни при какой влажности из анализируемого грунта невозможно раскатать жгут толщиной 3 мм, считать, что данный грунт не имеет нижней границы пластичности.

Все результаты занести в журнал записи результатов, представленный в виде **таблицы 5**.

## Журнал записи результатов опытов

**Таблица 5**

Лаб. № грунта	№ бюкс	Масса бюкса, $q_0$ (г)	Масса бюкса с влажным грунтом, $q_1$ (г)	Масса бюкса (г) с высушен. грунтом			Влажность грунта на границе раскатывания $W_p = (q_1 - q_2) / (q_2 - q_0)$	
				$q_2$	$q_2'$	$q_2''$		
				1-е взвешивание	2-е взвешивание	3-е взвешивание	Отдельные значения $W_{pi}$	Среднее значение $W_{p\text{ср}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

*Для каждого образца грунта произвести не менее двух параллельных определений, расхождение между которыми допускается до 0,01г - для супесей и до 0,02г - для суглинков и глин. За влажность, соответствующую нижней границе пластичности образца, принимается среднее значение результатов параллельных определений.*

### Лабораторная работа № 6

#### Определение влажности грунта на верхней границе пластичности (границы текучести) (ГОСТ 5180 - 2015)

Верхней границей пластичности (границей текучести) грунта называется влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее или наоборот.

#### Цель работы:

Определение границы текучести.

#### Приборы и принадлежности:

Весы, термостат, эксикатор, стандартный балансирный конус и стаканчик к нему, фарфоровая чашка с пестиком, шпатель, бюксы, сито с отверстиями 0,5 мм. Подготовка образца производится так же как в лабораторной работе № 5 .

#### Порядок выполнения работы:

Подготовленное грунтовое тесто перемещать и заполнить им с помощью шпателя стаканчик диаметром не менее 4 см и высотой не менее 2 см. при этом следить, чтобы в грунтовом тесте в стаканчике не было пустот, а поверхность теста сгладить в уровень с краями стаканчика.

К поверхности грунтового теста поднести острие балансирного конуса, смазанного слоем вазелина и опустив конус дать ему в течение 5 сек. свободно погружаться в тесто под влиянием собственного веса. Границей текучести грунта считать влажность теста, при которой конус прибора погрузиться за 5 сек. в него на глубину 10 мм – до риски. Погружение конуса на меньшую глубину показывает, что влажность теста не достигла искомой границы. В этом случае надо извлечь грунтовое тесто из стаканчика, добавив в него немного воды, тщательно перемешать, а при погружении конуса на глубину более 10 мм - вынуть грунтовое тесто из стаканчика положить на стекло, дать немного

просохнуть, перемешивая шпателем, затем повторить определение. При достижении верхней границы пластичности взять из стаканчика пробу весом не менее 10 г и определить его влажность /см. лаб. работу № 4 /.

Результаты определений занести в журнал, представленный в виде табл. 6.

### Журнал записи результатов опытов

**Таблица 6**

Лаб. № грунта	№№ бюкс	Масса бюкса, $q_0$ (г)	Масса бюкса с влажным грунтом, $q_1$ (г)	Масса бюкса (г) с высушен. грунтом			Влажность грунта на границе текучести $W_L = (q_1 - q_2) / (q_2 - q_0)$	
				$q_2$	$q_2$	$q_2''$	Отдельные значения $W_{Li}$	Среднее значение $W_{Lcp}$
				1-е взвешивание	2-е взвешивание	3-е взвешивание		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

*Для каждого образца произвести не менее двух определений, разница между которыми должна быть не более 0,02г -для супесей, 0,025г -для суглинков и 0,03г -для глин. За влажность, соответствующую верхней границе пластичности образца, принять среднее арифметическое результатов параллельных определений.*

**\*После лабораторных работ №№ 4-6 выполняется Упражнение № 2 – «Определение классификационных характеристик, наименования и состояния глинистого грунта по ГОСТу 25100-95 /3/».(см. Приложение 1)**

### Лабораторная работа № 7

#### **Определение гранулометрического состава песчаного грунта ситовым методом (ГОСТ 12536-2014)**

Гранулометрическим составом грунта называется процентное содержание в нем частиц различной крупности (фракций) по весу. Гранулометрический состав является классификационной характеристикой песчаных грунтов, по нему в соответствии с ГОСТ /1/ определяется наименование (вид) песчаного грунта.

Из существующих нескольких способов определения гранулометрического состава грунтов наиболее простым и распространенным является ситовой метод, при котором образец грунта просеивается через стандартный набор сит.

#### **Цель работы:**

Определение наименования песчаного грунта по зерновому составу согласно ГОСТ 12536-79 и степени его неоднородности.

#### **Приборы и принадлежности:**

Стандартный набор сит, весы технические или лабораторные, ступка фарфоровая с пестиком, образец грунта.

#### **Подготовка образца грунта.**

Образец грунта высушивают до воздушно-сухого состояния и берут среднюю пробу, масса которой обычно принимают для мелкого и среднезернистого песков - 100 г, а для крупнозернистых - 500 г. Среднюю пробу грунта для анализа отбирают методом квартования. Для этого воздушно-сухой грунт расстилают тонким слоем на листе плотной бумаги, делят бороздками на квадраты и из каждого квадрата отбирают небольшие пробы грунта, смешивая их подряд.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Отобрать пробу воздушно-сухого грунта и взвесить её на весах ( $q_0$ ) и просеять через набор сит;
2. Остатки на ситах, а также на поддоне, взвесить и записать их веса в журнал записи результатов  $q_i$  и вычислить процентное содержание каждой фракции –  $Q_i = (q_i / q_0) \cdot 100\%$ ;
3. Определить суммарную погрешность произведенного анализа и недостающую массу добавить пропорционально к массам отдельных фракций.

#### **Журнал записи результатов опыта**

**Масса пробы  $q_0$  \_\_\_\_\_**

**Таблица 1**

Размер отверстий сит, (мм)	Размер фракций, (мм)	Масса остатка на ситах, $q_i$ (г)	Содержание фракции, (%) $Q_i = (q_i / q_0) \cdot 100\%$
2	>2		
0,5	2÷0,5		
0,25	0,5÷0,25		
0,10	0,25÷0,10		
Прошло через сито 0,10мм	0,10		

**\*После лабораторной работы №7 выполняется Упражнение № 3 – «Определение классификационных характеристик, наименования и состояния песчаного грунта по ГОСТу 25100-2020/7/».(см. Приложение 1).**

#### **Лабораторная работа № 8**

#### **Исследование сжимаемости грунтов в компрессионном приборе (ГОСТ 23908-79)**

Компрессионная сжимаемость – одна из основных видов общей деформируемости грунтов в условиях невозможности бокового расширения.

Деформации уплотнения происходят вследствие уменьшения пористости грунтов за счет более компактного размещения частиц при приложении сжимающих усилий. Поэтому сжимаемость грунтов принято характеризовать зависимостью между коэффициентом пористости  $e$  и давлением  $p$ :  $e = f(p)$ . Эта зависимость называется компрессионной и устанавливается

экспериментально, путем испытания образцов грунтов в приборах называемых одометрами.

Характеристики деформируемости грунтов используются при расчетах деформаций (осадок) оснований фундаментов зданий и сооружений.

**Цель работы:** определение характеристик деформируемости (сжимаемости) грунта – коэффициента сжимаемости  $m_o$ , коэффициента относительной сжимаемости  $m_v$  и модуля общей деформируемости  $E$ .

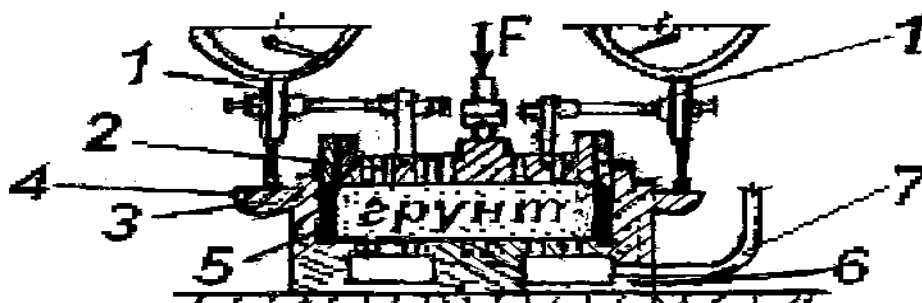
#### **Приборы и принадлежности:**

Компрессионный прибор (одометр) с комплектом принадлежностей.

Параллельно с компрессионным испытанием необходимо определить характеристики основных физических свойств – плотность  $\rho$ , плотность частиц  $\rho_s$  и влажность  $W$  (см. лаб. работы 1, 2, 3 и 4).

#### **Описание компрессионного прибора (одометра).**

Основной частью этого прибора является одометр, схематичный разрез которого представлен на рисунке 8.1.



**Рис. 8.1. Схема компрессионного прибора (одометра):**

*1- индикатор, 2 - перфорированный штамп, 3 - направляющее кольцо, 4 - верхняя обойма, 5 - рабочее режущее кольцо, 6 - нижняя обойма, 7- фильтр.*

Собранный одометр помещается в нагрузочное устройство. Отношение плеч рычага, передающего нагрузку, 1:10, высота образца грунта:  $h_o = 25$  мм, площадь образца:  $A = 60$  см<sup>2</sup>.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Разобрать одометр. Вырезать режущим кольцом 5 одометра образец из монолита грунта. Зачистить торцы образца в уровень с краями кольца и положить на них бумажные фильтры 7.

2. Собрать одометр и установить его на станину нагрузочного устройства.

3. Закрепить на штампе два индикатора часового типа и проверить правильность сборки прибора. При легком нажатии на рычаг нагрузочного устройства стрелки индикаторов должны сместиться, а при снятии нагрузки вновь вернуться в первоначальное положение.

4. Записать начальные отсчеты по индикаторам (по черной шкале) в журнал испытаний (в таблицу № 8 в 1-ю строку).

5. Загрузить подвеску рычага гирями по программе опыта с учетом веса рамы нагрузочного устройства, после чего сразу пустить в ход секундомер.

6. Записать в журнал испытаний отсчеты по индикаторам. При выполнении исследований на практике отсчеты снимаются через 6 или 12 часов. При этом условная стабилизация считается достигнутой, если разность между последним и предыдущим отсчетами не превышает 0,02 мм, т.е. 2 деления по шкале индикатора. При проведении лабораторных занятий интервал времени снятия отсчетов с индикаторов назначает преподаватель.

7. Догрузить подвеску рычага до следующей ступени нагрузки и сразу же включить секундомер, записывая в журнал испытаний нарастающим итогом величины отсчетов по индикаторам через те же промежутки времени  $\Delta t$ , что и ранее, считая время с момента увеличения нагрузки.

При дальнейшей догрузке подвески рычага до следующей ступени нагрузки, все операции повторить.

8. Для каждой ступени нагрузки  $P_i$  вычислить абсолютную стабилизированную осадку штампа  $S_i$ , усреднением последних отсчетов по индикаторам для каждой ступени нагрузки  $U_{срi} = (U_{1i} + U_{2i})/2$  и переводом их в мм делением на 100:  $S_i = U_{срi} / 100$  (мм).

9. По полученным стабилизированным значениям абсолютных осадок  $S_i$  определить изменения коэффициента пористости  $\Delta e_i$  для каждой ступени нагрузки:

$$\Delta e_i = S_i (1 + e_0) / h_0, \quad (8.1)$$

где:  $h_0$  - начальная высота образца;

$e_0$  - начальный коэффициент пористости:  $e_0 = \rho_s \cdot (1 + W) / \rho - 1$ . (8.2)

10. Определить для каждой ступени нагрузки соответствующее значение коэффициента пористости  $e_i$  по формуле:  $e_i = e_0 - \Delta e_i$ ,

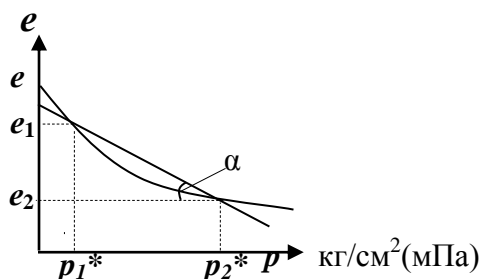
11. Результаты всех определений занести в журнал, представленный в виде таблицы 8 и построить компрессионную кривую - график зависимости -  $e = f(p)$ , откладывая на горизонтальной оси значения  $p_i$ , а на вертикальной -  $e_i$  (см. рис. 8.2).

### Журнал записи результатов компрессионного испытания

Таблица 8

Вес груза на подвеске рычага, Р кгс, (кН)	Давление, р кгс/см <sup>2</sup> (кПа)	Время наблюдения, t, мин.	Показания индикаторов		Средн. показания, $U_{ср} = (U_1 + U_2) / 2$	Стабилизированная осадка при $P_i$ $S_i = 0,01 U_{ср, мм}$	Изменение коэфф. пористости, $\Delta e_i = S_i (1 + e_0) / h_0$	Коэффициент пористости при $P_i$ $e_i = e_0 - \Delta e_i$
			1- го	2- го				
			$U_1$	$U_2$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9

(Для журнала в конспекте следует отвести 1целую страницу)



**Рис. 8.2. Компрессионная кривая (спрямление в интервале изменения давлений  $p_1^* \div p_2^*$ )**

### **Определение характеристик сжимаемости грунта по компрессионной кривой**

Для вычисления коэффициента сжимаемости  $m_0$  на компрессионной кривой выбирается интервал давлений в пределах от  $p_1$  до  $p_2$ . После чего коэффициент сжимаемости вычисляется по формуле:

$$m_0 = (e_1 - e_2) / (p_2^* - p_1^*) = \operatorname{tg} \alpha, \text{ см}^2/\text{кгс (МПа}^{-1}\text{)}, \quad (8.3)$$

где  $e_1$  и  $e_2$  - значения коэффициента пористости, соответствующие давлениям  $p_1^*$  и  $p_2^*$  (см. рис. 2). Давления  $p_1^*$  и  $p_2^*$  для вычисления  $m_0$  назначает преподаватель.

Далее вычисляются: - коэффициент относительной сжимаемости  $m_v$ ,

$$m_v = m_0 / (1 + e_0), \text{ см}^2/\text{кгс (МПа}^{-1}\text{)}, \quad (8.4)$$

- модуль общей деформации  $E$

$$E = \beta / m_v, \text{ кгс/см}^2 \text{ (МПа)}, \quad (8.5)$$

где  $\beta$  - параметр, зависящий от коэффициента поперечной относительной деформации грунта  $\mu_0$  - равный: 0,74 - для песков и супесей, 0,62 - для суглинков и 0,43 - для глин.

### **Лабораторная работа № 9**

#### **Определение коэффициента фильтрации грунта по результатам компрессионного испытания**

Водопроницаемостью грунтов называют их способность пропускать сквозь себя воду. Водопроницаемость грунтов характеризуется коэффициентом фильтрации  $K_f$ , который численно равен скорости фильтрации воды  $V_f$  при единичном напорном градиенте  $I = 1$ .

Коэффициент фильтрации ( $K_f$ ) имеет размерность скорости ( $\text{см/сек}$ ,  $\text{м/сут}$ ) и используется при прогнозе осадок оснований зданий и сооружений во времени, при подсчете притока грунтовых вод в строительные котлованы и других расчетах.

Так как коэффициент фильтрации по мере уплотнения грунтов внешней нагрузкой уменьшается то для прогноза осадок зданий и сооружений во времени его значение следует определять под ожидаемым давлением.

Коэффициент фильтрации  $K_f$  по данным компрессионных испытаний определяется по формуле:

$$K_f = (0,85 \cdot m_0 \cdot h^2 \cdot \rho_w) / [4 \cdot (1 + e_{cp}) \cdot T], \text{ (см/сек)} \quad (9.1)$$

где:  $K_\phi$  – коэффициент фильтрации, соответствующий давлению  $p_j$ , (см/сек);

$m_0$  – коэффициент сжимаемости для данного интервала давлений (см<sup>2</sup>/кгс);

$\rho_w$  – плотность воды ( $\rho_w=1$  г/см<sup>3</sup>);

$e_{cp}$  – средний коэффициент пористости для данного интервала давлений, равный:  $e_{cp} = (e_{j-1} + e_j)/2$ , где  $e_{j-1}$  и  $e_j$  значения коэффициентов пористости грунта, соответствующие полным стабилизированным деформациям при давлениях  $p_{j-1}$  и  $p_j$ ;

$T$  – время, прошедшее от начала приложения давлению  $p_j$  до завершения наибольшего уплотнения от общей величины сжатия при давлении  $p_j$ , (сек);

$h$  – высота образца, испытываемого грунта в компрессионном приборе при давлении  $p_j$ , равная:  $h = h_0 - S_{jn}$ , где  $h_0$  – начальная высота образца грунта, а  $S_{jn}$  – полная стабилизированная деформация при давлении  $P_j$  от начала опыта.

**0,85** – коэффициент, учитывающий эффект времени затраченного на вытеснение воды из грунта.

Время  $T$  определяется особым графическим методом в соответствии с указаниями приведенными ниже:

1. По результатам компрессионного испытания (по журналу лабораторной работы № 8) для заданной ступени давления  $p_j$  заполняют журнал лабораторной работы №9, представленный в виде **таблицы 9**. Строят график консолидации  $Q_i = f(t_i)$  для ступени давления  $p_j$  в координатах « $t_i - Q_i$ » (см. рис. 9.1), где  $Q_i$  – степень консолидации, представляющий собой отношение деформации образца в компрессионном приборе  $\Delta h_{ji}$  в некоторый момент времени  $t_i$ , считая от момента приложения выбранной ступени нагрузки  $p_j$  к полной стабилизированной деформации  $\Delta h_j$  при этой же нагрузке:

$$Q_i = (\Delta h_{ji} / \Delta h_j) \times 100 \%, \quad (9.2)$$

где  $\Delta h_i = S_{ji} - S_{(j-1)}$ , а  $\Delta h_j = S_{jn} - S_{(j-1)}$

Значения  $Q_i$  вычисляются в соответствующем столбце журнала записи результатов работы – **таблицы №9**.

### Журнал записи результатов работы

**Таблица 9**

Давление, $p_j$ (мПа)	Время от начала данной ступени нагрузки, $t_i$ (сек)	Деформация образца от начала опыта для данной нагрузки, $S_{ji}$ (мм)	Деформация образца от начала ступени нагрузки $\Delta h_j = S_{ji} - S_{j-1}$ (мм)	Процент консолидации $Q_i = (\Delta h_{ji} / \Delta h_j) 100\%$	Коэффициент пористости		Коэффициент сжимаемости $m_0$ (см <sup>2</sup> /кг)
					$e_i$	$e_{cp}$	
1	2	3	4	5	6	7	8

(Для журнала в конспекте следует отвести 0.5 страницы)

**Примечание к журналу:**  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ , при  $i=0$ :  $S_{j0} = S_{j-1} = S_{(j-1)n}$  – стабилизированная деформация образца до начала действия данной ступени



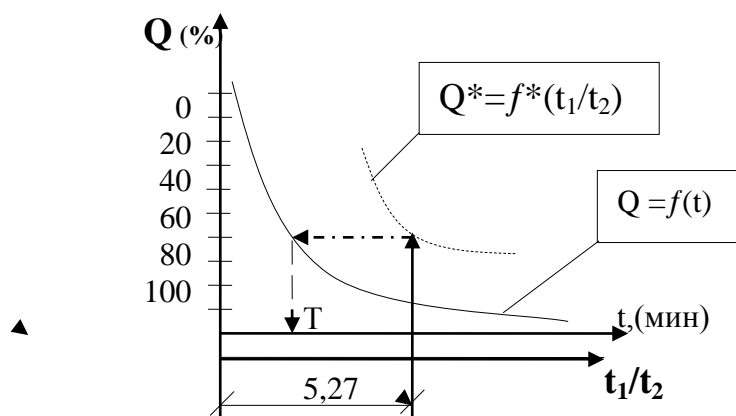
давления, т.е. при предыдущей ступени -  $p_{j-1}$  (до начала наблюдений по журналу лабораторной работы №8 – табл. 8);

при  $i=n$ :  $S_j = S_{jn}$  - полная стабилизированная деформация образца при данной ступени давления -  $p_j$  (в конце наблюдений по журналу лабораторной работы №8 – табл. 8).

2. На графике зависимости  $Q_i = f(t_i)$  необходимо построить вспомогательную кривую -  $Q^* = f(t_1/t_2)$  в координатах « $Q^*$  -  $t_1/t_2$ », где  $t_1$  – время соответствующее данной степени консолидации  $Q_i^*$ , а  $t_2$  – время, соответствующее степени консолидации  $Q_i^*/2$  (см. рис. 9.1). Вспомогательная кривая строится по точкам, ординаты которых равны  $Q_i^* = 30; 40; 50; 60; 70 \%$  и т.д., а абсциссы -  $t_1/t_2$  (масштаб произвольный);

3. На вспомогательной кривой находят точку, абсцисса которой имеет значение  $t_1/t_2 = 5,27$ . Из этой точки проводят линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с первой кривой и из точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс  $t$  и находят значение величины  $T$ .

4. Подставляя найденное значение  $T$  в формулу (9.1), определяют коэффициент фильтрации  $K_\phi$ .



**Рис. 9.1. График консолидации  $Q_i = f(t_i)$  с вспомогательной кривой  $Q^* = f^*(t_1/t_2)$**

### Лабораторная работа № 10

#### **Определение прочностных характеристик грунта методом прямого плоскостного среза**

Прочностью грунта называется его способность сопротивляться внешним воздействиям без разрушения. Прочность грунта обусловлена силами трения между частицами и сцеплением между ними. По мере возрастания внешней нагрузки увеличиваются сдвигающие усилия между частицами грунта и, когда эти усилия превзойдут прочность связей между ними, то происходит его разрушение – сдвиг одной части грунта относительно другой.

Так как прочность связей между частицами грунта складывается из сил трения и сил сцепления, а силы трения, как известно, являются функциями нормального давления, то условие прочности грунта можно представить в виде:

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

где  $\tau$  - сдвигающее усилие;

$\tau_{пред}$  - предельное сопротивление грунта сдвигу – прочность грунта;

$\sigma \cdot tg\varphi$  - удельная сила трения;

$C$  - удельная сила сцепления между частицами;

$tg\varphi$  - коэффициент трения, где  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта.

В соотношении (10.1)  $\varphi$  и  $C$  - параметры прочности – прочностные характеристики грунта, зависящие только от физического состояния грунта, используемые при решении различных инженерных задач – определении расчетного сопротивления и несущей способности оснований зданий и сооружений, давления грунтов на ограждения -подпорные стенки, устойчивости откосов, склонов и др.

Для определения  $\varphi$  и  $C$  в лабораторных условиях используются приборы прямого среза и приборы трехосного сжатия. Среди приборов прямого среза наиболее распространенным является ГПП-30 конструкции Маслова-Лурье.

#### **Цель работы:**

Определение показателей прочности грунта: угла внутреннего трения -  $\varphi$  (град.) и удельного сцепления -  $C$  кгс/см<sup>2</sup> (кПа).

#### **Приборы и принадлежности:**

Сдвиговой прибор прямого среза ГПП-30 конструкции Маслова-Лурье с комплектом принадлежностей.

#### **Описание прибора прямого среза ГПП-30.**

Прибор ГПП-30 состоит из следующих основных узлов: рабочего столика, срезывателя, загрузочного устройства для передачи вертикального давления на образец грунта и механизма для приложения к нему горизонтального сдвигающего усилия с рычажным соотношением 1:10.

В срезыватель, состоящий из неподвижной нижней и подвижной верхней обоймы, помещают испытуемый образец грунта. Между обоймами необходимо установить зазор в 1-2 мм, вращением соответствующих винтов, чтобы не имело место трение металлических частей обойм в процессе сдвига.

#### **Особенности проведения испытаний.**

Испытание грунта производят путем среза нескольких образцов исследуемого грунта. При этом в зависимости от характера предварительной подготовки образцов к опыту различают:

1. Консолидированно – дренированный сдвиг – это сдвиг нормально уплотненных образцов грунта, когда образцы грунта перед опытом предварительно уплотняются под заданными нагрузками до окончания процесса консолидации (с процессом консолидации студенты ознакамливаются в лаб. работах 8 и 9). Срез каждого образца производят при той же вертикальной нагрузке, под которой он предварительно уплотнился.

2. Неконсолидированно – недренированный сдвиг – это сдвиг недоуплотненных образцов грунта (при незавершенном уплотнении), когда образцы грунта предварительно не уплотняются. Срез производится при различных вертикальных нагрузках. На практике сопротивление грунта

сдвигу в 1-м случае, соответствует конечному моменту уплотнения грунта под фактической нагрузкой от сооружений, а во 2-ом характеризует сопротивление сдвигу грунтов в начале момента приложения вертикальных нагрузок от сооружения.

В зависимости от скорости приложения сдвигающего усилия в процессе опытов различают:

1. Медленный сдвиг - когда сдвигающую силу увеличивают только после прекращения деформации сдвига от приложенной ступени нагрузки;

2. Быстрый сдвиг – когда увеличение сдвигающей силы производят быстро, не дожидаясь прекращения деформации.

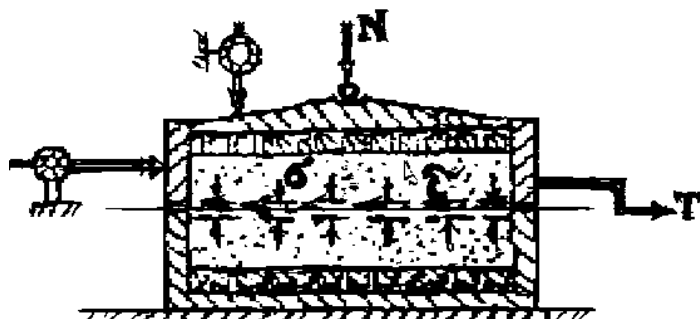


Рис. 10.1. Срезыватель сдвигового прибора

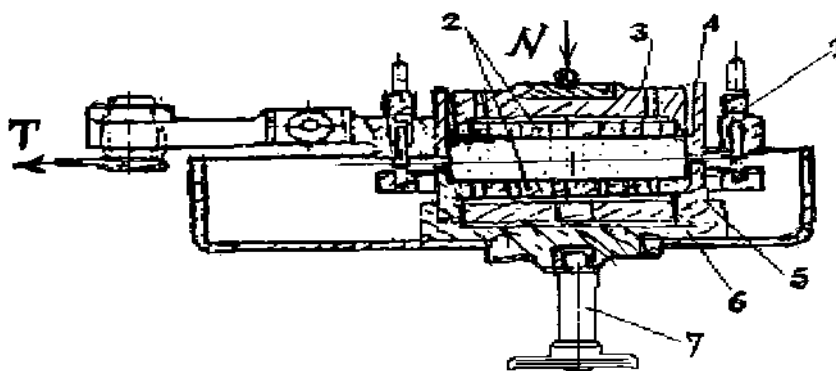


Рис. 10.2. Конструктивная схема сдвигового прибора ГП-30

*1-винт для регулирования разъема обойм; 2-перфорированные вкладыши; 3-штамп; 4-верхняя наружная обойма; 5-нижняя наружная обойма; 6-ванна; 7-крепежный винт.*

Во время лабораторных занятий методику испытаний грунтов назначает преподаватель.

#### Порядок выполнения работы:

Проверка установки прибора проводится лаборантом до начала занятий по соответствующей методике.

При определении предельного сопротивления грунта сдвигу в состоянии естественной влажности без предварительного уплотнения выполняют следующие процедуры:

1. Кольцо с грунтом помещают в верхнюю обойму 1 срезывателя. В нижнюю обойму срезывателя укладывают пористый вкладыш 2;

2. Закрепив срезыватель в гнезде ванны, продавливают грунт до соприкосновения с нижним перфорированным вкладышем;

3. Покрывают поверхность грунта фильтровальной бумагой, а поверх нее укладывают верхний перфорированный вкладыш;

4. На верхний вкладыш осторожно накладывают штамп 3, чтобы штамп, жестко скрепленный с верхним коромыслом рамы 4, входил в обойму срезывателя без перекосов и заклинивания. В держателе 12 укрепляют индикатор для измерения горизонтальных формаций.

5. Раму 6 соединяют со скользящим рычагом 7 и прикладывают вертикальную нагрузку на образец  $N = P_B \cdot n$ , где  $P_B$  – вес гирь на подвеске рычага (кгс (кН)), а  $n$  – передаточное число рычага ( $n = 10$ );

Значение  $N$  вычисляют по формуле в зависимости от заданного значения нормального напряжения  $\sigma$ :

$$N = \sigma \cdot A, \quad (10.2)$$

где  $\sigma$  – заданное нормальное напряжение, кгс/см<sup>2</sup> (кПа);

$A$  – площадь образца ( $A = 40 \text{ см}^2$ );

6. Соединяют трос рычага, передающего горизонтальную нагрузку со скобкой тяги срезывателя. Для замера горизонтальных деформаций в держателе укрепляют индикатор;

7. Создают зазор между верхней и нижней обоймами срезывателя путем одновременного вращения установочных винтов. Величина зазора должна быть от 0,5 до 1 мм;

8. После установления зазора винты, соединяющие обоймы, вывинчивают до тех пор, пока они выйдут из своих гнезд в кронштейне нижней обоймы;

9. Производят сдвиг, накладывая груз на подвеску рычага, и ведут наблюдения за деформацией по индикатору до их затухания (до тех пор, пока скорость деформации не окажется в пределах 0,02-0,03 мм/мин). Груз  $T$ , создающий сдвигающее усилие, прикладывают ступенями, начиная от 100 - 200 гс до 1000 гс, до тех пор, пока не будет замечен неравномерный скачкообразный характер затухания деформаций сдвига. После этого величину ступеней сдвигающего усилия уменьшают в 2 раза. Сдвиг образца грунта считают наступившим, если наблюдается непрерывное увеличение скорости деформации сдвига без увеличения горизонтальной нагрузки.

Предельное сопротивление грунта сдвигу вычисляют по формуле:

$$\tau_{пред} = T / A, \quad (10.3)$$

где  $T = P_T \cdot n$  – вес груза на подвеске рычага горизонтальной нагрузки, соответствующий моменту среза образца грунта;  $n$  – передаточное число рычага горизонтальной нагрузки ( $n = 10$ );  $A$  – площадь поперечного сечения образца грунта (см<sup>2</sup>, м<sup>2</sup>).

10. По окончании испытания прибор разгружается: сперва снимается груз с подвески рычага горизонтальной нагрузки, а затем – груз с подвески рычага вертикальной нагрузки.

В указанной последовательности проводят не менее 3-х опытов.

Полученные данные заносят в журнал записи результатов (в таблицу 10).

## Порядок определения прочностных характеристик грунта по результатам опыта.

По результатам опыта определяется коэффициент внутреннего трения грунта:  $f = \operatorname{tg} \varphi$ , угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление грунта  $C$  графо – аналитическим методом. Для этого в системе прямоугольных координат по оси абсцисс откладывать значения вертикальных нормальных напряжений  $\sigma$ , а по оси ординат – значения предельных сопротивлений сдвигу  $\tau_{пред}$ , соответствующие заданным значениям  $\sigma$  в одинаковом масштабе. Через точки, нанесенные по результатам опыта, проводят некоторую осредняющую прямую до пересечения с осью ординат (см. рис. 10.3). Отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, по величине равен удельному сцеплению  $C$  в кгс/см<sup>2</sup> или кПа, а угол наклона полученной прямой к оси абсцисс – углу внутреннего трения  $\varphi$ .

### Журнал записи результатов опытов

Таблица 10

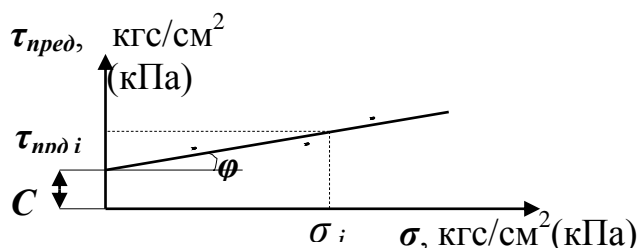
Вес гирь на подвеске нагрузочн. устр-тва		Напряжения в плоскости среза		Горизонталь- ная деформация
Вертикаль- ного $P$ , кгс, (кН)	Горизонталь- ного $T$ , кгс, (кН)	Нормальное $\sigma$ , кгс/см <sup>2</sup> (кПа)	Сдвигающее $\tau$ , кгс/см <sup>2</sup> (кПа)	$\delta$ , мм
1	2	3	4	5

(Для журнала в конспекте следует отвести 0.5 страницы)

Тангенс угла внутреннего трения (коэффициент внутреннего трения грунта) определяется по формуле:

$$f = \operatorname{tg} \varphi = (\tau_{пред,i} - C) / \sigma_i, \quad (10.4)$$

где  $\tau_{пред,i}$  – значение предельного сопротивления сдвигу, соответствующее нормальному напряжению  $\sigma_i$  (см рис. 10.3).



**Рис. 10.3 График зависимости  $\tau_{пред} = f(\sigma)$**   
(Угол внутреннего трения грунта равен:  $\varphi = \operatorname{arctg}(f)$  )

## Лабораторная работа № 11.

### **Определение прочностных характеристик грунтов методом трехосного сжатия**

Более совершенным и определенным по создаваемому напряженному состоянию испытуемого образца способом для определения параметров прочности и деформируемости грунта является способ трехосного сжатия. Самым распространенным и простым прибором для испытания грунтов и условиях трехосного сжатия является стабилометр, конструктивная схема которого представлена на **рис. 8.1**.

В стабилометре испытываются образцы цилиндрической формы. Прибор позволяет провести опыт в двух режимах:

первый – прикладывается вертикальное давление  $\sigma_z$ . Измеряется боковое давление  $\sigma_r = \sigma_3 = \sigma_2$  и вертикальная деформация образца (метод компрессии);

второй – независимо прикладываются вертикальное  $\sigma_z = \sigma_1$  и боковое давление  $\sigma_r = \sigma_3 = \sigma_2$ . Измеряются вертикальная и поперечная деформации, ( $\sigma_1 \geq \sigma_3 \geq \sigma_2$  - главные напряжения).

При определении прочностных характеристик грунта опыт проводится по второй схеме при постоянном боковом давлении (при  $\sigma_r = \sigma_3 = \sigma_2 = \text{const}$ ).

#### **Цель работы:**

Построение диаграммы Мора и определение параметров прочности грунта – угла внутреннего трения  $\varphi$  и сцепления  $C$ .

#### **Приборы и принадлежности:**

Прибор трехосного сжатия – стабилометр с комплектом принадлежностей, образец грунта (песчаного грунта).

#### **Описание прибора трехосного сжатия**

Стабилометр состоит из рабочей камеры, схема которой представлена на **рис. 11.1**. Испытываются образцы грунта цилиндрической формы 4.

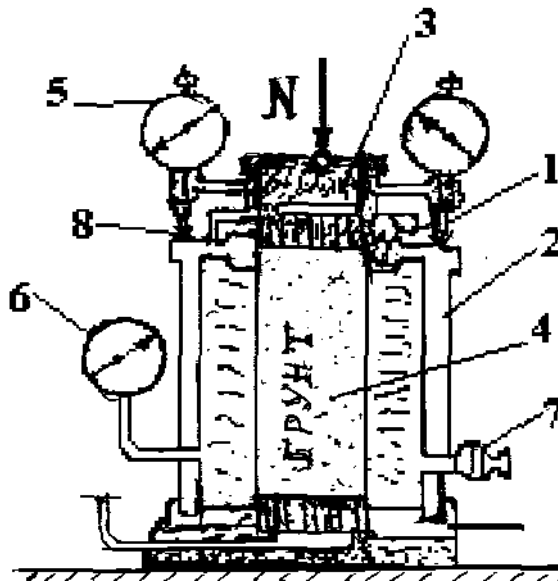
Загружение образца производится независимо: вертикальным осевым давлением  $\sigma_z$ , передаваемым на торцы образца через штамп 3, а боковое давление  $\sigma_r$  передается на боковую поверхность образца жидкостью в камере прибора.

Осевое давление  $\sigma_z$  создается весом гирь, надеваемых на подвеску секторного рычага с соотношением плеч 1:12. Диаметр образца около  $\approx 5,0$  см с площадью сечения  $A \approx 25 \text{ см}^2$ . Высота образца  $h \approx 10$  см.

Вертикальное давление  $\sigma_z$  на торец образца передается через поршень – штамп 3, имеющий перфорированный вкладыш 8, обеспечивающий отвод воды, отжимаемой из пор образца при его нагружении. Такой же вкладыш имеется и в днище прибора. Независимо от режима работы вертикальное осевое давление на торце образца  $\sigma_z$  равна:

$$\sigma_z = N / A,$$

где  $N = P \cdot n$  - полное усилие на поршень кгс(кН);  $A$  – площадь поперечного сечения образца ( $\text{см}^2, \text{м}^2$ );  $P$  – вес гирь на подвеске рычага вертикальной нагрузки;  $n$  – передаточное число рычага ( $n = 12$ )



**Рис.11.1. Схема рабочей камеры стабилометра:**

- 1 – корпус рабочей камеры; 2 – прозрачный цилиндр; 3 – штамп;  
4 – образец грунта в резиновой оболочке; 5 – индикатор;  
6 – манометр образцовый; 7 – вывод к устройству для измерения поперечных деформаций; 8 – перфорированные вкладыши.*

Боковое давление, возникшее в образце вследствие его деформирования, под действием вертикального давления воспринимается дистиллированной водой, наливаемой в камеру после установки в нее образца. Для изоляции от воды образец 4 помещается в резиновую оболочку, конец которой герметически заделывается во фланцы корпуса рабочей камеры. При необходимости боковое давление  $\sigma_r$  можно увеличить или уменьшить подачей жидкости в рабочую камеру.

Измерение перемещений поршня ведется с помощью двух индикаторов часового типа 5 с ценой деления 0,01 мм. Давление в рабочей камере измеряется образцовым манометром 6 с ценой давления 0,06 кгс/см<sup>2</sup>. К выводу 7 из камеры присоединяется устройство для поперечных деформаций образца. Камера с образцом грунта устанавливается на станине.

### **Порядок выполнения работы, записи обработки результатов.**

1. Снять рабочую камеру стабилометра со станины. Поднять поршень с индикаторами, формовать образец грунта (песчаного грунта, укладывая песок послойно во внутреннюю плоскость камеры с трамбовкой до заданной плотности - обычно до плотности естественного залегания).

2. Собрать рабочую камеру прибора и установить на станину. Сверху на образец поставить штамп, который подводится под рычаг нагрузочного устройства.

3. Установить два индикатора, по которым производятся замеры вертикальных деформаций.

4. К образцу приложить всесторонне давление  $\sigma_0 = 1,0$  кгс/см<sup>2</sup>, т.е. создать напряженное состояние, для которого  $\sigma_z = \sigma_r = \sigma_0$ . Для этого следует

практически одновременно, насколько это возможно, на подвеску рычага положить гирю 2 кг, а затем с помощью насоса довести боковое давление в камере прибора до 1 атм. (1 кг/см<sup>2</sup>). При этом кран 7 (см. **рис.11.1**) должен быть открытым.

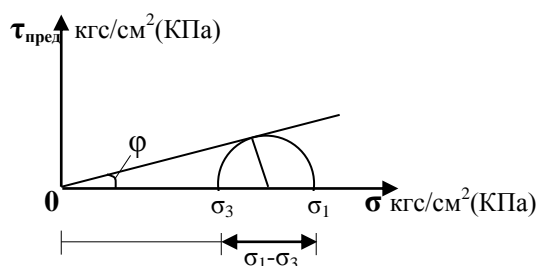
5. Записать в журнал начальные отсчеты по индикаторам.

6. Оставляя  $\sigma_r = \sigma_0 = \text{const}$ , добавить на подвеску следующую ступень вертикальной нагрузки, и после стабилизации осадки снять отсчеты по индикаторам.

7. Повторять догрузки подвески рычага очередными ступенями вертикальной нагрузки, и каждый раз снимая показания измерительных приборов, после стабилизации осадки, до полного разрушения образца, оставляя  $\sigma_r = \text{const}$ .

Момент разрушения образца регистрируется по появлению нарастающей скорости вертикальной деформации. Образец после разрушения принимает бочкообразную, часто несимметричную, форму. Результаты опыта записываются в журнал записи результатов опыта.

В указанном выше порядке проводится и испытания второго и последующих образцов. При этом величину бокового давления  $\sigma_r$  следует принять другими (например  $\sigma_r = 1,5; 2,0 \text{ кгс/см}^2$ ). По результатам опытов построить круги Мора (см. **рис. 11.2**). С этой целью от начала координат откладывают по оси абсцисс величины горизонтальных главных напряжений:  $\sigma_r = \sigma_3 = \sigma_2 = \text{const}$  (бокового давления), зарегистрированных манометром (1,0; 1,5 или 2 кгс/см<sup>2</sup>) и величины соответствующих им максимальных вертикальных напряжений  $\max \sigma_z$  в момент разрушения образцов. Через эти точки проводят круги Мора, как показано на **рис. 11.2** с центром на оси « $\sigma$ » в точке  $\sigma = \sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ .



**Рис. 11.2. Круг Мора для песчаного грунта.**

Затем проводят касательную к построенным кругам (см. **рис. 11.2**). Удельное сцепление  $C$  можно определить по графику, а угол внутреннего трения определяется исходя из условия прочности:

$$\sin \varphi = (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3 + 2C \cdot \operatorname{Ctg} \varphi) \quad (11.1)$$

Для песчаного грунта, не обладающего сцеплением между частицами (при  $C = 0$ ), угол внутреннего трения  $\varphi$  равен:

$$\varphi = \arcsin[(\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)], \text{ град}$$

Для определения параметров прочности грунта  $\varphi$  и  $C$  необходимо выполнить не менее двух опытов с образцами глинистых грунтов ( $\varphi \neq 0$ ;  $C \neq 0$ ) и одного опыта с образцом песчаного грунта ( $\varphi \neq 0$ ;  $C = 0$ ).



# Журнал записи результатов опыта

Таблица 11

Цена деления шкалы манометра  $m = 0.06 \text{ кГс/см}^2$

№ опыта	Вес гирь на подвеске рычага, $P$ , кГс (кН)	Вертикальное давление, $(\sigma_z)$ $\sigma_1 \text{ кГс/см}^2$ (кПа)	Боковое давление (деления шкалы манометра), $m$	Боковое давление, $(\sigma_r)$ $\sigma_2, (\sigma_3) \text{ кГс/см}^2$ (кПа)	Показания индикаторов			Вертикальная деформация $S = 0,01 \cdot u_{cp}, \text{ мм}$
					1-го $u_1$	2-го $u_2$	Среднее $(u_1 + u_2) / 2$ $u_{cp}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

( Для журнала в конспекте следует отвести 0.5 страницы)

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ I.

#### Примеры обработки результатов лабораторных исследований.

##### Пример 1. Определение производных (вычисляемых) характеристик физических свойств грунта.

На базе 3-х основных показателей физических свойств (плотности  $\rho$ , плотности частиц  $\rho_s$  и влажности  $W$ ) по нижеприведенным формулам определяются следующие производные физические характеристики:

- удельный вес грунта  $\gamma$  :

$$\gamma = \rho * g, \quad \text{к Н/м}^3; \quad (\text{I.1})$$

- удельный вес частиц грунта  $\gamma_s$ :

$$\gamma_s = \rho_s * g, \quad \text{к Н/м}^3; \quad (\text{I.2})$$

- удельный вес сухого грунта  $\gamma_d$ :

$$\gamma_d = \rho_d * g, \quad \text{к Н/м}^3; \quad (\text{I.3})$$

- плотность сухого грунта  $\rho_d$  :

$$\rho_d = \rho / (1 + W), \quad \text{г/см}^3; \quad (\text{I.4})$$

- коэффициент пористости  $e$ :

$$e = \rho_s (1 + W) / \rho - 1; \quad (\text{I.5})$$

- пористость:

$$n = e / (1 + e); \quad (\text{I.6})$$

- коэффициент водонасыщенности  $S_r$ :

$$S_r = W * \gamma_s / (e * \gamma_w); \quad (\text{I.7})$$

- удельный вес грунта в взвешенном состоянии  $\gamma_{sw}$  (определяется для грунтов находящихся ниже уровня воды):

$$\gamma_{sw} = (\gamma_s - \gamma_w) / (1 + e); \quad (\text{I.8})$$

В формулах (2.8) и (2.9)  $\gamma_w$  - удельный вес воды, принимаемый равным  $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ .

Все полученные результаты занести в представленную ниже сводную таблицу 1.

**Сводная таблица физических и механических свойств грунта  
(нормативные характеристики).**

**Таблица 1**

№ №	Наименование показателя свойства		Обоз наче ния	Ед. изм.	Значения показателей для слоев			
					1	2	3	4
1	Естественная влажность		<b>W</b>	-				
2	Плотность		<b><math>\rho</math></b>	т/м <sup>3</sup>				
3	Плотность частиц		<b><math>\rho_s</math></b>	т/м <sup>3</sup>				
4	Удельный вес		<b><math>\gamma</math></b>	кН/м <sup>3</sup>				
5	Удельный вес частиц (тверд)		<b><math>\gamma_s</math></b>	кН/м <sup>3</sup>				
6	Удельный вес во взвешенном состоянии		<b><math>\gamma_{sv}</math></b>	кН/м <sup>3</sup>				
7	Коэффициент пористости		<b>e</b>	-				
8	Степень влажности		<b>S<sub>r</sub></b>	-				
9	% содержание частиц крупнее (по грансоставу)	2,0мм		%				
		0,50мм		%				
		0,25мм		%				
		0.1мм		%				
10	Влажность на границе текучести		<b>W<sub>L</sub></b>	-				
11	Влажность на границе раската		<b>W<sub>P</sub></b>	-				
12	Число пластичности		<b>J<sub>P</sub></b>	-				
13	Показатель текучести		<b>J<sub>L</sub></b>	-				
14	Удельное сцепление		<b>C<sub>n</sub></b>	кПа				
15	Угол внутреннего трения		<b><math>\varphi_n</math></b>	град				
16	Коэффициент сжимаемости		<b>m<sub>0</sub></b>	мПа <sup>-1</sup>				
17	Коэффициент относительной сжимаемости		<b>m<sub>v</sub></b>	мПа <sup>-1</sup>				
18	Модуль общей деформации		<b>E</b>	мПа				
19	Коэффициент фильтрации		<b>K<sub>ф</sub></b>	м/год				
20	Расчетное сопротивление		<b>R<sub>0</sub></b>	кПа				
21	Наименование грунта							

**Пример 2. Определение классификационных характеристик глинистого грунта. Классификация глинистых грунтов.**

Классификация глинистых грунтов производится по ГОСТу /7/.

Для классификации глинистых грунтов необходимо определить следующие классификационные характеристики:

- число пластичности  $I_p$ :  $I_p = W_L - W_p$ ; (2.1)

- показатель текучести  $I_L$ :  $I_L = (W - W_p) / (W_L - W_p)$ , (2.2)

где :  $W_L$  и  $W_p$  – значения характерных влажностей, соответственно на границах текучести и раскатывания, значения которых определяются по результатам лабораторных работ №№ 5,6, а  $W$  в работе № 4.

По полученным значениям  $I_p$  и  $I_L$  производится строительная классификация глинистого грунта – определяется наименование и состояние (консистенция) глинистого грунта в соответствии с ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация», по таблицам 2.1 и 2.2, приведенным в Приложении II.

Все полученные результаты занести в представленную выше сводную таблицу 1.

**Пример 3. Определение классификационных характеристик песчаного грунта. Классификация глинистых грунтов.**

Песчаные грунты также классифицируются по ГОСТу /7/.

Классификацию песчаных грунтов производится по гранулометрическому составу, по степени плотности и по степени влажности по таблицам №№ 2.3 – 2.5, приведенным в приложении II для классификации крупнообломочных и песчаных грунтов по ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация».

По гранулометрическому составу определяется наименование (вид) песчаного грунта по таблице № 2.3 в зависимости от %-ного содержания частиц различного диаметра.

Состояние песчаного грунта по влажности определяется по коэффициенту водонасыщенности песка  $S_r$  по таблице № 2.4.

Состояние песчаного грунта по плотности определяется по наименованию песка и коэффициенту пористости  $e$  по таблице № 2.5.

Значения коэффициентов пористости и водонасыщенности  $e$  и  $S_r$  определяются по формулам (1.5) и (1.7), приведенным выше в примере 1.

Все полученные результаты занести в представленную выше сводную таблицу 1.

Таблицы, по которым в соответствии с ГОСТ /7/ классифицируются крупнообломочные, песчаные и глинистые грунты, приведены в **Приложении 2** к методическим указаниям (см таблицы 1, 2, 3, 4, 5).

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

### СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ.

#### 2.1. Таблицы для классификации глинистых грунтов (по ГОСТ 25100–2020)

**Таблица 1**

Тип пылевато- глинистого грунта	Число пластичности $I_p$
Супеси	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинки	$1 < I_p \leq 17$
Глины	$I_p > 17$

**Таблица 2**

Разновидности пылевато-глинистых грунтов	Показатель текучести $I_L$
<b>Супеси</b> твердые пластичные текучие	$I_L < 0$ $0 \leq I_L \leq 1$ $I_L > 1$
<b>Суглинки и глины</b> твердые полутвердые тугопластичные мягкопластичные текучепластичные текучие	$I_L < 0$ $0 \leq I_L \leq 0,25$ $0,25 < I_L \leq 0,5$ $0,5 < I_L \leq 0,75$ $0,75 < I_L \leq 1$ $I_L > 1$

## 2.2. Таблицы для классификации крупнообломочных и песчаных грунтов (по ГОСТу 25100 – 2020)

**Таблица 3**

Грунты	Размер частиц d, мм	% массы воздушно – сухого грунта
<b>Крупнообломочные</b>		
Валунный грунт (при преобладании неокатанных частиц - глыбовый)	d>200	>50
Галечниковый грунт (при преобладании неокатанных частиц - щебенистый)	d>10	>50
Гравийный грунт (при преобладании неокатанных частиц - дресвянный)	d>2	>50
<b>Песчаные</b>		
Песок:		
Гравелистый	d>2	>25
Крупный	d>0,5	>50
Средней крупности	d>0,25	>50
Мелкий	d>0,1	≥75
Пылеватый	d>0,1	<75

**Таблица 4**

Разновидность крупнообломочных и песчаных грунтов по степени влажности	Степень влажности S <sub>r</sub>
Маловлажные	0<S <sub>r</sub> ≤0,5
Влажные	0,5<S <sub>r</sub> ≤0,8
Насыщенные водой	0,8<S <sub>r</sub> ≤1

**Таблица 5**

Вид песков	Плотность сложения		
	плотные	средней плотности	рыхлые
<b>По коэффициенту пористости e</b>			
Пески гравелистые, крупные и средней крупности	e < 0,55	0,55 ≤ e ≤ 0,7	e > 0,7
Пески мелкие	e < 0,6	0,6 ≤ e ≤ 0,75	e > 0,75
Пески пылеватые	e < 0,6	0,6 ≤ e ≤ 0,8	e > 0,8

## **Список использованной литературы**

1. ГОСТ 5180-15 – Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
2. ГОСТ 12536-2014 – Грунты. Метод лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава.
3. ГОСТ 30416-2012 – Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.
4. ГОСТ 23908-79 – Грунты. Метод определения сжимаемости грунтов в компрессионном приборе.
5. ГОСТ 12248-10 – Грунты. Методы лабораторного определения сопротивления срезу.
6. ГОСТ 26518-85 – Грунты. Метод лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости при трехосном сжатии.
7. ГОСТ 25100-2020 – Грунты. Классификация.
8. СП22113330.2016 «Основания зданий и сооружений», М., 2016

**Учебно - методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Механика грунтов» для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01 – «Строительство».**

**Махачкала, ДГТУ, 2024г., 32с.**

**Составители: Айдаев Агаверди Сердерович  
Агаханов Элифхан Керимханович**

**Прописано в печать**

**Формат 60×84 1/16. Бумага газетная. Печать офсетная 2.0 п.л.**

**2.0 уч. изд. л.**

**Тираж 100 экз.**

**367015, Махачкала, пр. Шамиля, 70**