



Министерство образования и науки Самарской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Самарской области

«САМАРСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»  
(ГБПОУ «СЭК»)

Н. Ю. Едигарьева

## ГРУНТОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности 21.02.09  
Гидрогеология и инженерная геология

ПМ 01 Ведение технологических процессов гидрогеологических и  
инженерно-геологических исследований при поисково-разведочных  
работах

МДК 01.01 Основы технологии инженерно-геологических работ

Самара 2017

Методические указания к выполнению лабораторных работ по теме *Грунтоведение и механика грунтов* МДК.01.01 *Основы технологии инженерно-геологических работ* ПМ.01 *Ведение технологических процессов гидрогеологических и инженерно-геологических исследований при поисково-разведочных работах* для студентов специальности 21.02.09 *Гидрогеология и инженерная геология* / авт. Едигарьева Н.Ю. – Самара: ГБПОУ «СЭК», 2017 – 38 с.

Издание содержит методические указания к выполнению и оформлению лабораторных работ по теме *Грунтоведение и механика грунтов* МДК.01.01 *Основы технологии инженерно-геологических работ* ПМ.01 *Ведение технологических процессов гидрогеологических и инженерно-геологических исследований при поисково-разведочных работах*. Составлено в соответствии с требованиями ФГОС СПО по специальности 21.02.09.

Рассмотрено и рекомендовано к изданию методическим советом ГБПОУ «СЭК» (протокол № 6 от 22.06.2017 г.)

Рецензент:

Степанова Т.А. – заведующий грунтовой лабораторией ОАО «Волгоэнерго-промстройпроект»

Замечания, предложения и пожелания направлять в ГБПОУ «Самарский энергетический колледж» по адресу: 443001, г. Самара, ул. Самарская 205-А или по электронной почте [info@sam-ek.ru](mailto:info@sam-ek.ru)

## ВВЕДЕНИЕ

Основной целью лабораторных работ является ознакомление студентов с методами определения физико-механических характеристик и свойств грунтов, необходимых для проектирования и строительства оснований и фундаментов.

Перед началом выполнения каждой работы студенты должны ознакомиться с основными положениями лабораторной работы, подготовкой образцов к испытанию, составить краткий конспект и подготовить журнал испытаний для записи результатов опытов.

Перед началом работ необходимо ознакомиться с методическими указаниями, разобраться в устройстве применяемых приборов и оборудования и убедиться в их исправности.

При выполнении лабораторных учебно-исследовательских работ студент должен иметь при себе тетрадь с подготовленным журналом испытаний, калькулятор и канцелярские принадлежности (ручка, карандаш, линейка и т.п.), необходимые для обработки результатов определения и построения графиков. Выполнение работы сопровождается записями в журнал исходных данных, результатов опытов, соответствующими расчетами и графическими построениями. Работа выполняется под контролем преподавателя. В конце каждого занятия студент оформляет отчет по выполненной работе и представляет его преподавателю. В отчете должны быть отражены следующие сведения:

- основные понятия об определяемых характеристиках;
- практическое значение характеристик и классификаций, в которых они используются;
- принцип методики выполнения работы;
- краткое описание используемого оборудования, дополненное в необходимых случаях схемами приборов и пояснениями;
- цифровой материал проведенных опытов, представляемых в виде журнала испытаний;
- графическая и прочая обработка полученных результатов.

Студент при защите лабораторных работ должен знать цель каждой лабораторной работы, уметь нарисовать схему прибора, изложить последовательность выполнения работы и методику обработки опытных данных, построить графики, отображающие полученные зависимости, и объяснить, как определяются соответствующие физические и механические характеристики грунтов и для каких дальнейших расчетов они используются.

Лабораторные работы прививают умение применять теоретические знания при проведении экспериментов, обдумывать результаты опытов, методически правильно подходить к их выполнению и избегать ошибок при измерениях. Нельзя приступать к выполнению работ без четкого представления о теоретических основах изучаемого явления.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Наименование работы	Количество часов
Лабораторная работа 1 Определение гранулометрического состава песчаного грунта ситовым методом	2
Лабораторная работа 2 Определение гранулометрического состава глинистого грунта (сито + ареометр)	2
Лабораторная работа 3 Определение естественной и гигроскопической влажности грунта	2
Лабораторная работа 4 Определение плотности грунта методом гидростатического взвешивания	2
Лабораторная работа 5 Определение плотности грунта методом режущего кольца	2
Лабораторная работа 6 Определение плотности твердых частиц	2
Лабораторная работа 7 Определение плотности песчаного грунта в предельно рыхлом и максимально плотном сложении	2
Лабораторная работа 8 Определение пористости песка методом насыщения в предельно рыхлом и максимально плотном сложении	2
Лабораторная работа 9 Определение угла естественного откоса	2
Лабораторная работа 10 Определение нижнего предела пластичности глинистого грунта (предел раскатывания)	2
Лабораторная работа 11 Определение верхнего предела пластичности глинистого грунта (предел текучести)	2
Лабораторная работа 12 Определение свободного набухания в приборе Васильева	2
Лабораторная работа 13. Определение коэффициента фильтрации песков	2
Лабораторная работа 14 Определение компрессионной зависимости, характеристик сжимаемости и характера развития деформации грунта во времени	4
Лабораторная работа 15. Определение относительной просадочности грунта	4
Лабораторная работа 16 Определение прочностных характеристик грунтов	4

### ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Текстовая часть лабораторных работ должна содержать:

1. Цель работы.
2. Используемое оборудование и инструменты.
3. Таблицу с результатами опыта.
4. Формулы.
5. Выводы.
6. Вычерченный график.
7. Рисунок.

В разделе Выводы нужно написать, какими свойствами обладает исследуемый грунт, дать характеристику применения данного грунта в строительстве в качестве основания фундамента и строительного материала.

## ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Перед проведением опыта необходимо повторить инструкцию по правилам безопасности в лаборатории.
2. При проведении опыта необходимо аккуратно обращаться со стеклянными и хрупкими приборами, оборудованием лаборатории.
3. Соблюдать правила пожарной безопасности при разогреве на водяной бане парафина и пикнометра.
4. Соблюдать правила обращения с электрическими приборами. Удостовериться в исправности электропроводки сушильного шкафа, водяной бани. Не оставлять сушильный шкаф включенным после занятий.
5. Установку образцов в сушильный шкаф, на водяную баню (и их изъятие оттуда) необходимо проводить при отключенном питании.
6. При проведении опытов запрещается касаться руками электропроводов и включенных электроприборов.
7. В случае искрения или появления дыма необходимо немедленно прекратить опыты и выключить питание.
8. В случае получения травмы необходимо немедленно прекратить опыты и обратиться за первой медицинской помощью.

### Лабораторная работа 1

#### Определение гранулометрического состава песчаного грунта ситовым методом

*Гранулометрическим составом грунта* называется относительное содержание в нём частиц различной крупности. Гранулометрический состав грунта позволяет судить о строительных свойствах грунта. Определение гранулометрического состава заключается в разделении составляющих грунт частиц на отдельные фракции.

**Приборы:** комплект сит – 10;5;2;1;0,5;0,25;0,1мм, электронные весы, фарфоровая ступка и пестик, ложка или совок, фарфоровые чашечки, навеска воздушно-сухого песка.

**Ход работы** 1. Пробу породы нужно довести до воздушно-сухого состояния, для чего рассыпать тонким слоем на листе бумаги и просушить. Для анализа отбирается средняя проба методом квартования: пробу тщательно перемешивают, рассыпают тонким слоем и делят при помощи линейки двумя взаимно перпендикулярными линиями на четыре части. Два противоположных квадрата удаляют, а два других оставляют в качестве сокращенной пробы. Эту операцию нужно продолжать до тех пор, пока не останется необходимый объем для анализа: для пород, не содержащих частиц крупнее 2мм – 200г; для пород, содержащих гравий и гальку – 500 - 2000г (рис.2).

2. Если порода состоит из слипшихся комочков, растереть пестиком в фарфоровой ступке. Растирать породу необходимо осторожно, чтобы избежать разрушения зерен.

3. Пробу взвесить на технических весах с точностью до 0,01г. Вес записать в журнал; для удобства расчётов желательно, чтобы общий вес пробы был равен целым граммам.

4. Взвешенную пробу поместить в колонну сит и встряхивать до тех пор, пока не будет достигнута полная отсортировка частиц (рис.1, 2).

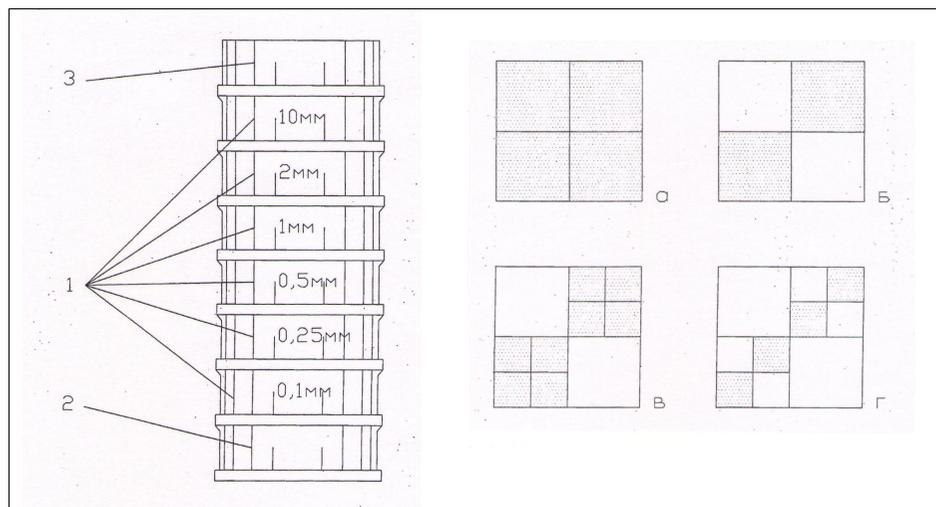


Рис.1 Комплект сит для гранулометрического анализа

Рис.2 Отбор средней навески грунта для гранулометрического анализа методом квадрантов

5. Содержимое каждого сита и поддона взвесить с точностью до 0,01г и полученные результаты записать в приведенную таблицу.

Результаты взвешивания	Фракции грунта, мм						
	> 10	10-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	< 0,1
Масса тары, г							
Масса тары с грунтом, г							
Масса фракций, г							
Содержание фракций в процентах, %							

6. Из суммарной массы навески вычислить процентное содержание каждой фракции по формуле:

$$X = A / B * 100\%$$

$X$  – процентное содержание фракции в грунте;

$A$  – масса фракций;

$B$  – масса средней пробы.

7. Полученная сумма всех фракций не должна отличаться более чем на 0,5% от массы средней пробы, взятой на анализ. При большей величине расхождения опыт необходимо повторить. Потери песка разносят по всем фракциям пропорционально их весу и вносят поправки.

8. По полученным данным строится гранулометрическая кривая в полулогарифмическом масштабе и определяется коэффициент неоднородности (рис.3)

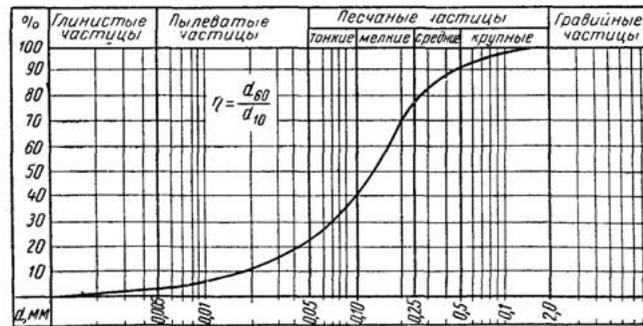


Рис.3 Гранулометрическая кривая

9. По ГОСТ 25100 определяется наименование грунта.

**Вывод (критический анализ):**

### Лабораторная работа 2

#### Определение гранулометрического состава глинистого грунта (сито + ареометр)

Ареометрический метод основан на измерении плотности суспензии, изменяющейся по мере выпадения из нее более крупных частиц. Этим методом определяют содержание в грунте частиц диаметром менее 0,25мм. Содержание частиц крупнее 0,25мм определяют ситовым методом.

По закону Стокса скорость осаждения частиц в жидкости может быть определена по формуле:

$$v = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\gamma - \gamma_{\omega}}{\eta},$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести;  
 $r$  – радиус частиц;  
 $\gamma$  – плотность частиц грунта;  
 $\gamma_{\omega}$  – плотность воды;  
 $\eta$  – вязкость воды.

Путем преобразования можно получить следующую формулу для определения диаметра частиц породы:

$$d = \sqrt{Av} \text{ мм}$$

$$\text{где } A = \frac{1800\eta}{(\gamma - \gamma_{\omega})981}; \quad v = \frac{H}{T}$$

$H$  – путь частиц, см;  $T$  – время падения частиц, с.

Устройство ареометра основано на законе Архимеда: всякое погруженное в жидкость тело теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость. При постоянном объеме тела, погруженного в жидкость, более тяжелой жидкости будет вытеснено меньше, а более легкой – больше. Следовательно, в легкую жидкость тело будет погружено на большую глубину, в тяжелую – на меньшую. Чем больше концентрация суспензии, тем больше её плотность и

тем меньше глубина, на которую будет погружаться в неё ареометр.

При отстаивании суспензии частицы грунта, подчиняясь закону силы тяжести, падают на дно сосуда и плотность суспензии уменьшается. Соответственно, ареометр по мере выпадения частиц погружается в суспензию глубже и глубже.

В лабораторных условиях определение суспензии на коагуляцию не проводится.

**Приборы:** ареометр, мерный цилиндр на 1200-1300см<sup>3</sup>, 2 цилиндра, комплект сит – 10;5;2;1;0,5;0,25;0,1мм, электронные весы, фарфоровая ступка и пестик, термометр с точностью деления до 0,5<sup>0</sup> С, промывалка или резиновая груша, секундомер, ступка с пестиком.

**Ход работы** 1. Необходимо поместить грунт в коническую колбу. Масса для песчаного грунта – 40 г; для суглинка – 30 г; для глин – 20 г. Залить десятикратным объёмом дистиллированной воды с аммиаком и кипятить некоторое время на песчаной бане: глинистый грунт – в течение 1 часа; супесь и песок – 30 минут.

2. Остывшую суспензию вылить на сито 0,1 мм. Колбу тщательно промыть, чтобы на стенках не осталось частиц породы.

3. Оставшуюся массу на сите высушить и просеять через сито 0,1 мм.

4. Промытую суспензию поместить в цилиндр объёмом 1 литр и долить дистиллированной водой до 1 литра.

5. Мешалкой взбалтывать грунт в течение 1 минуты.

6. Поместить ареометр в суспензию и взять замер (от окончания взбалтывания) через 1 минуту, через 30 минут и через 11 часов.

Через 1 минуту выпадают фракции 0,05 – 0,1 мм;

через 30 минут – фракции 0,05 – 0,1 мм;

через 11 часов – фракции меньше 0,002 мм.

7. Замеры занести в таблицу.

Результаты ареометрического анализа

Время, дата замера	Время отстаивания от начала опыта	Температура суспензии, С	Отсчёт по ареометру, R <sub>0</sub>	Поправка к отсчёту по ареометру	Замер ареометра с учетом поправки
	1 мин				
	30 мин				
	1 час				

**Вывод (критический анализ):**

### Лабораторная работа 3

#### Определение естественной и гигроскопической влажности грунта

*Естественной влажностью* называется количество воды, которое содержит порода в естественных условиях залегания. Эта вода находится в порах породы и на ее поверхности в отличие от химической, которая участвует в строении кристаллической решетки.

*Гигроскопическая влажность* - влажность грунта в воздушно-сухом состоянии, т.е. в состоянии равновесия с влажностью и температурой окружающего воздуха. Это способность грунта сорбировать воду из воздуха.

**Приборы:** бюксы с хорошо притертыми крышками; электронные весы; сушильный шкаф; эксикатор.

**Ход работы – 1-я часть**

1. Взвесить бюксу с крышкой –  $g_0$
2. Из середины пробы взять навеску не менее 15г, закрыть крышкой и взвесить на весах с точностью до 0,01г. Получаем вес –  $g_1$
3. Бюксу с открытой крышкой установить в сушильный шкаф. Температура должна быть 100-105 °С. Выдержать образец в течение 5 - 6 часов.
4. Бюксу с закрытой крышкой перенести в эксикатор, на дне которого находится хлористый кальций, и дать остыть в течение 30 - 40 минут.
5. Взвесить охлажденную бюксу с грунтом, а затем поставить в сушильный шкаф для дополнительного высушивания в течение 2ч при температуре 100-105°С.
6. Повторять операции до тех пор, пока разница между двумя взвешиваниями станет не более 0,02г. За результат принимаем наименьшую массу –  $g_2$
7. Влажность грунта вычислить по формуле:

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0} * 100\%$$

Результат вычислений выражать с точностью до 0,1.

8. Для каждого образца грунта провести два определения влажности и взять среднее арифметическое.
9. Данные анализа занести в журнал.

№ бюксы	Масса бюксы, г	Масса бюксы с влажным грунтом	Масса бюксы с высушенным грунтом, г			Влажность грунта, %	
	$g_0$		$g_1$	I	II		III
				$g_2'$	$g_2''$		$g_2'''$

**Ход работы – 2-я часть**

1. Пробу грунта высушить на воздухе 1-2 суток, затем просеять через сито с диаметром 0,5мм.
2. Бюксу с крышкой взвесить на весах –  $g_1$ .
3. Из просеянного грунта взять среднюю пробу методом квартования. Величину навески принимают равной не менее 15г –  $g_2$ . Точность замера на аналитических весах – 0,001г, на технических – 0,01г.
4. Бюксу с открытой крышкой поставить в сушильный шкаф. Температура должна быть 100 -105 °С. Выдержать образец в течение 5 - 6 часов.
5. Бюксу с закрытой крышкой перенести в эксикатор, на дне которого находится хлористый кальций, и дать остыть в течение 30 - 40 минут
6. Взвесить охлажденный бюкс с грунтом, а затем поставить в сушильный шкаф для дополнительного высушивания при температуре 100 -105 °С в течение 2ч.

7. Повторять операции до тех пор, пока разница между двумя взвешиваниями станет не более 0,02г. За результат принимается наименьшую массу –  $g_3$

8. Влажность грунта вычисляется по формуле:

$$W = \frac{g_2 - g_3}{g_3 - g_1} * 100\%$$

Результат вычислений выражать с точностью до 0,1.

9. Для каждого образца грунта провести два определения влажности и взять среднее арифметическое.

№ бюксы	Масса бюкса, г	Масса бюксы с грунтом $g_2$	Масса бюксы с высушенным грунтом, г		Влажность грунта, %
	$g_1$		I	II	
			$g_3'$	$g_3''$	

**Вывод (критический анализ):**

#### Лабораторная работа 4 Определение плотности грунта методом гидростатического взвешивания

*Плотность грунта* естественного сложения или объемный вес грунта есть отношение массы грунта (включая массу воды в порах) к занимаемому этим грунтом объему.

**Приборы:** бюксы, нож, весы, парафин, приспособление для гидростатического взвешивания, нитки, фильтровальная бумага, монолит.

**Ход работы** 1. Вырезать из монолита образец овальной формы не менее  $30\text{см}^3$ , не допуская острых выступов. Образец взвесить с точностью до 0,01г. Получаем вес -  $g$ .

2. Образец породы обвязать ниткой и погрузить в расплавленный парафин. Пузырьки воздуха на парафиновой оболочке прокалывают нагретой иглой и заглаживают.

3. Запарафинированный образец взвесить на весах, получаем вес -  $g_1$ .

4. Запарафинированный образец подвесить на коромысло весов и взвесить в воде -  $g_2$ . Образец не должен касаться стенок сосуда.

5. Образец вынуть, обсушить фильтровальной бумагой и взвесить на весах, для того чтобы определить, не проникла ли вода в поры породы (контрольное взвешивание). Если обнаруживается приращение массы более чем на 0,02г, по сравнению с массой  $g_1$ , то образец должен быть забракован.

6. Определить плотность грунта по формуле  $\rho = g/V$  или

$$\frac{g\gamma_{п}\gamma_{в}}{\gamma_{п}(g_1 - g_2) - (g_1 - g)\gamma_{в}}$$

$g$  – масса образца без парафиновой оболочки, г;

$g_1$  – масса образца с парафиновой оболочкой, г;

$g_2$  – то же в воде, Г;  
 $\gamma_{\text{П}}$  – плотность парафина, г/см<sup>3</sup>;  
 $\gamma_{\text{В}}$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>.

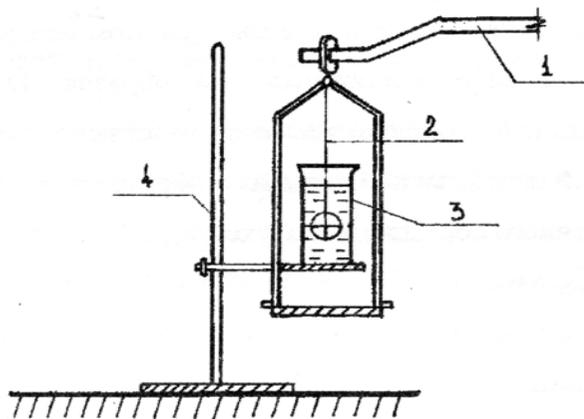


Рис. 4 Взвешивание за-  
 парафинированного об-  
 разца грунта в воде:  
 1 – коромысло весов;  
 2 – подвешенный  
 образец;  
 3 – стакан с водой;  
 4 – штатив

7. Определение плотности грунта для каждого образца произвести не менее двух раз. Вычислить среднее арифметическое с точностью до 0,01. Расхождение между повторами не должно превышать 0,03 г/см<sup>3</sup>.

8. Данные определений занести в приведённую таблицу.

№ образца	Масса образца без парафиновой оболочки, г	Масса образца в парафиновой оболочке, г	Масса за- парафиниро- ванного об- разца в воде, г	Масса за- парафиниро- ванного об- разца в возду- хе, г	Плот- ность грунта, г/см <sup>3</sup>

**Вывод (критический анализ):**

### Лабораторная работа 5

#### Определение плотности грунта методом режущего кольца

*Плотность грунта* естественного сложения или объёмный вес грунта есть отношение массы грунта (включая массу воды в порах) к занимаемому этим грунтом объёму.

**Приборы:** кольцо с заточенной кромкой диаметром 50-70мм, высотой не более диаметра и не менее половины диаметра, штангенциркуль, нож, весы, монолит.

**Ход работы** 1. Измерять внутренний диаметр, высоту кольца с точностью до 0,1мм и вычислить его объём – V по формуле:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h$$

2. Взвесить кольцо с точностью до 0,01г и получить массу кольца.

3. На выровненную поверхность монолита поставить кольцо острым краем

вниз. Придерживая кольцо левой рукой, вырезать острым ножом столбик грунта диаметром, на 0,5-1мм превышающим наружный диаметр кольца. Одновременно нажимать на кольцо, чтобы грунт заходил в полость кольца. После заполнения всего кольца столбик подрезать снизу и отделить кольцо с грунтом от монолита. Излишки грунта, выступающие из кольца, осторожно срезать от центра к краям вровень с краем кольца.

4. Наружную поверхность кольца тщательно очистить от приставшего грунта и свободные поверхности грунта покрыть заранее взвешенными стеклами. Кольцо с грунтом и стеклами взвесить.

5. Определить плотность грунта с точностью до 0,01 по формуле:

$$\rho = \frac{g - (g_1 + g_2 + g_3)}{V} \text{ г/см}^3$$

g - масса кольца с грунтом и покрывающими стеклами, г;

g<sub>1</sub> – масса кольца, г;

g<sub>2</sub>, g<sub>3</sub> – масса стекол покрывающих грунт, г;

V – объём грунта, равный внутреннему объему кольца, см<sup>3</sup>.

6. Данные определений занести в приведённую таблицу

Высота кольца, см	Диаметр кольца, см	Масса кольца, г	Масса стекла 1, г	Масса стекла 2, г	Масса кольца с грунтом и стеклами, г	Объём образца, см <sup>3</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>
h	d	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	g	V	ρ

**Вывод (критический анализ):**

## Лабораторная работа 6

### Определение плотности твердых частиц

*Плотностью частиц грунта* называется отношение массы твердых частиц грунта к их объёму без пор и пустот.

Плотность частиц грунта характеризуется его минералогическим составом и является для конкретного грунта величиной постоянной, не зависящей от плотности сложения и влажности грунта.

**Приборы:** пикнометр, весы, бюксы, ступка фарфоровая с пестиком, сито с отверстиями 2 мм, шкаф сушильный, баня песчаная, пипетка, термометр, воронка, вода дистиллированная, бумага фильтровальная.

**Ход работы**      *Подготовка к испытанию*

1. Образец грунта в воздушно-сухом состоянии размельчить в фарфоровой ступке фарфоровым пестиком; отобрать из размельченного грунта методом квадратов среднюю пробу массой около 100-200 г и просеять эту пробу через сито с диаметром 2мм. Остаток на сите раздробить и снова просеять.

2. Пробу грунта перемешать и взять навеску грунта массой ≈ 15г. Затем навеску высушить до постоянного веса. Определить гигроскопическую влажность – W<sub>г</sub>.

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

*Порядок выполнения работы*

1. Взвесить на весах хорошо высушенный пикнометр –  $g_1$ .
2. Через воронку в пикнометр всыпать грунт, определить массу пикнометра с грунтом -  $g_{1-1}$  с точностью до 0,01г. Определить массу сухой породы:

$$g = g_{1-1} - g_1.$$

3. Определить массу абсолютно сухого грунта с поправкой на гигроскопическую влажность по формуле:  $g_0 = g / (1 + 0,01W_{\Gamma})$ .

4. Налить в пикнометр на  $\frac{1}{2}$  его объема дистиллированной воды, взболтать несколько раз, прокипятить грунт на песчаной бане для удаления воздуха, не допуская разбрызгивания. Кипячение следует производить в течение 30 минут (считая с момента закипания) для песков и супесей, в течение 1 часа - для суглинков и глин.

5. Пикнометр после кипячения охладить до комнатной температуры в ванне с водой. Температуру суспензии в пикнометре следует замерять с точностью до 0,5<sup>0</sup>С.

6. Долить в пикнометр дистиллированную воду до мерной черты. Положение мениска исправляют добавлением в пикнометр по каплям дистиллированной воды такой же температуры, как и температура суспензии в пикнометре. Протереть шейку пикнометра внутри до мерной черты при помощи фильтровальной бумаги, свернутой в трубку, тщательно обтереть пикнометр снаружи и взвесить –  $g_2$ .

7. Вылить из пикнометра суспензию, ополоснуть его, налить в него прокипяченную дистиллированную воду комнатной температуры до мерной черты. Пикнометр с водой взвесить –  $g_3$ .

8. Результаты испытания занести в журнал.

*Обработка результатов*

Плотность частиц грунта  $\rho_s$ , г/см<sup>3</sup> определить по формуле с точностью до 0,001:

$$\rho_s = \frac{g_0}{g_0 + g_3 - g_2} \gamma_B, \quad \text{где } \gamma_B \text{ – плотность воды.}$$

Результаты вычислений занести в приведённую таблицу.

№ образца	№ пикнометра	Масса пикнометра, г	Масса пикнометра с грунтом, г	Масса воздушно-сухого грунта, г	Гигроскопическая влажность, %	Масса грунта с поправкой на гигроскопическую влажность, г	Масса пикнометра с грунтом и водой, г	Масса пикнометра с водой, г	Плотность, г/см <sup>3</sup>
		$g_1$	$g_{1-1}$	$g$	$W_{\Gamma}$	$g_0$	$g_2$	$g_3$	$\rho_s$

**Вывод (критический анализ):**

Лабораторная работа 7  
Определение плотности песчаного грунта  
в предельно рыхлом и максимально плотном сложении

Для песчаного грунта, у которого не всегда можно определить плотность скелета при естественной структуре, проводят определение показателя на воздушно сухих образцах с нарушенным сложением при двух состояниях: предельно рыхлом и предельно плотном. Плотность в этих случаях имеет минимальные и максимальные значения.

**Приборы:** металлический стакан диаметром 7-10см, воронка, деревянная трамбовка, штангенциркуль, весы.

**Ход работы при рыхлом сложении песков**

1. Металлический стакан взвесить на весах –  $g$  с точностью до 0,01г.
2. Штангенциркулем измерить высоту, внутренний диаметр стакана. Вычислить объем стакана –  $V \text{ см}^3$ .
3. Песок высушить до воздушно-сухого состояния и просеять через сито 5мм. Включения крупнее 5мм удалить.
4. Наполнить стакан песком небольшой струйкой через воронку. Удлиненный носик воронки поддерживают на высоте 1-2см над поверхностью песка. Стакан наполнить песком выше его края. Избыток песка снять линейкой до уровня края стакана. Получаем объем песка -  $V \text{ см}^3$ .
5. Стакан с грунтом взвесить –  $g_1$ .
6. Вычислить плотность сухого грунта при рыхлом сложении по формуле:

$$\rho_{\text{ск}} = \frac{g_1 - g}{V} \text{ г/см}^3$$

Определение выполнить три раза и определить среднеарифметическое значение.

7. Данные опыта занести в приведенную таблицу (см. с. 16).

**Ход работы при плотном сложении песков**

1. Сухой металлический стакан емкостью не менее  $200 \text{ см}^3$ , диаметром 5см взвесить на весах –  $g$  с точностью до 0,01г.
2. Штангенциркулем измерить высоту, внутренний диаметр стакана. Вычислить объем стакана –  $V \text{ см}^3$ .
3. Песок высушить до воздушно-сухого состояния и просеять через сито 5мм. Включения крупнее 5мм удалить.
4. Заполнить стакан песком небольшими порциями при постоянном уплотнении путем постукивания о боковые стенки стакана и трамбования деревянной трамбовкой.
5. Заполненный стакан взвесить –  $g_1$ .
6. Вычислить плотность песка при плотном сложении по формуле:

$$\rho_{\text{ск}} = \frac{g_1 - g}{V} \text{ г/см}^3$$

Определение выполнить три раза и определить среднеарифметическое значение.

7. Данные опыта занести в приведённую таблицу.

№ опыта	Масса пустого стакана, г	Масса стакана с песком, г	Объем стакана, см <sup>3</sup>	Плотность песка, г/см <sup>3</sup>			
				По данным опыта		P <sub>max</sub> сред	P <sub>min</sub> сред
	g	g <sub>1</sub>	V	P <sub>max</sub>	P <sub>min</sub>		
Плотное сложение							
Рыхлое сложение							

Расчеты плотности грунта в плотном сложении:

- 1.
- 2.
- 3.

Расчеты плотности грунта в рыхлом сложении:

- 1.
- 2.
- 3.

**Вывод (критический анализ):**

### Лабораторная работа 8

#### Определение пористости песка методом насыщения в предельно рыхлом и максимально плотном сложении

*Пористость* характеризует объём пор в единице объёма грунта, выражается в процентах.

**Приборы:** стакан с ровными краями, воронка, бюретка, весы, дистиллированная вода.

**Ход работы** 1. Сухой чистый стакан наполнить исследуемым грунтом. Грунт должен быть в воздушно-сухом состоянии. Наполнение стакана производить через воронку. После наполнения подровнять поверхность песка линейкой вровень с краями стакана (предельно рыхлое состояние).

2. Песок высушить до воздушно-сухого состояния. Заполнить стакан песком небольшими порциями при постоянном уплотнении путем постукивания о боковые стенки стакана и трамбования деревянной трамбовкой (максимально плотное состояние).

3. С помощью бюретки насытить песок в стакане водой до появления тонкого слоя воды на поверхности песка. Количество воды, израсходованное на насыщение песка, будет соответствовать объёму пор – V<sub>п</sub>.

4. Удалить песок из стакана и при помощи бюретки измерить объем пустого стакана, что будет соответствовать объему породы – V.

5. Рассчитать пористость по формуле:  $n = \frac{V_n}{V} * 100\%$

6. Опыт повторить дважды, результаты занести в приведённую таблицу.

№ опыта	Объем воды, израсходованный на насыщение грунта, см <sup>3</sup>	Объем стакана, см <sup>3</sup>	Пористость, %
	V <sub>п.</sub>	V	$n = \frac{V_n}{V} * 100\%$
Рыхлое сложение			
Плотное сложение			

**Вывод (критический анализ):**

### Лабораторная работа 9

#### Определение угла естественного откоса песчаных пород в сухом и водонасыщенном состоянии

*Углом естественного откоса* называется угол, которым неукрепленный откос песчаного грунта сохраняет равновесие, или угол, под которым располагается свободно насыпанный песок. Угол естественного откоса определяется в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии.

**Приборы:** прибор УВТ-2, совок для засыпки песка, поддон.

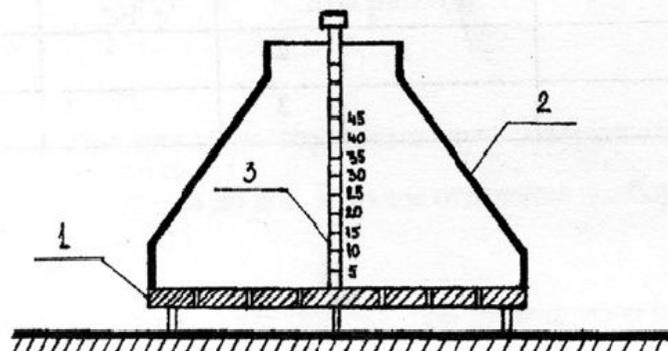


Рис. 5 Схема прибора УВТ-2:  
1 – подставка;  
2 – корпус;  
3 – стенки

**Ход работы** *Определение в воздушно-сухом состоянии*

1. Порциями засыпать песок в прибор.
  2. Придерживая основание прибора, осторожно снять конус.
  3. Взять отсчет по шкале, установленной в центре диска.
  4. Опыт повторить дважды. Данные записать в приведённую таблицу (см. с. 18).
- За угол откоса принять среднее значение.

*Определение в водонасыщенном состоянии.*

1. Порциями засыпать песок в прибор, установленный на поддоне.
2. Осторожно залить воду в поддон. Воду заливать до полного водонасыщения песка.
3. Придерживая основание прибора, осторожно снять конус.
4. Взять отсчет по шкале, установленной в центре диска.
5. Опыт повторить дважды. Данные записать в приведённую таблицу. За угол естественного откоса принимают среднее значение.

№ опыта	Описание образца	Угол откоса песка в воздушно-сухом состоянии, градус.		Угол откоса песка в водонасыщенном состоянии, градус	

**Вывод (критический анализ):**

### Лабораторная работа 10

#### Определение нижнего предела пластичности глинистого грунта (предел раскатывания)

Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в твердое, называется *нижним пределом пластичности* –  $W_p$ .

**Приборы:** бюксы с хорошо притертыми крышками, электронные весы, сушильный шкаф, сито 1мм, шпатель.

- Ход работы**
1. Грунт естественной влажности размять шпателем через сито 1мм в фарфоровую чашку.
  2. Грунт увлажнить дистиллированной водой до состояния густого теста. Закрыть крышкой и оставить на 2 часа.
  3. Тесто шпателем перемешать, взять небольшой кусочек и раскатать на глянцевой бумаге (кальке) до образования жгута диаметром около 3мм. Если при такой толщине жгут не крошится, смять его, перемешать и вновь раскатать до указанной толщины. Раскатывание вести, слегка нажимая на жгут.
  4. Раскатывание продолжать до тех пор, пока жгут диаметром 1 - 3мм не станет покрываться трещинами и крошиться на кусочки длиной 10мм. Если при любой влажности, из грунта невозможно раскатать жгут толщиной 3мм, считается, что данный грунт не имеет пластичности.
  5. Собрать кусочки жгута весом 10-15г в бюксу с плотно закрывающейся крышкой и определить весовую влажность.
  6. Для каждой пробы производить два определения предела пластичности. Расхождения между параллельными определениями не должно быть более 2%. По двум определениям вывести среднее значение.
  7. Взвешивание производится с точностью до 0,01г, влажность рассчитывается до 0,01. Данные записываются в приведённую таблицу.

Пределы пластичности	Способ определения	№ бюксы	Масса бюксы, г	Масса бюксы с влажным грунтом, г	Масса бюксы с высушенным грунтом, г		Постоянная масса бюксы с грунтом, г	Влажность, %	
					I	II		$\frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0}$	
			$m_0$	$m_1$	$m_2$	$m_2$	$m_2$		
Верхний предел пластичности	Балансирным конусом								
Нижний предел пластичности	Ручной								
Число пластичности									

**Вывод (критический анализ):**

### Лабораторная работа 11

#### Определение верхнего предела пластичности глинистого грунта (предел текучести)

Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее, называется *верхним пределом пластичности* –  $W_L$ .

**Приборы:** прибор Васильева, электронные весы, сушильный шкаф, сито 0,5мм, бюксы, шпатель.

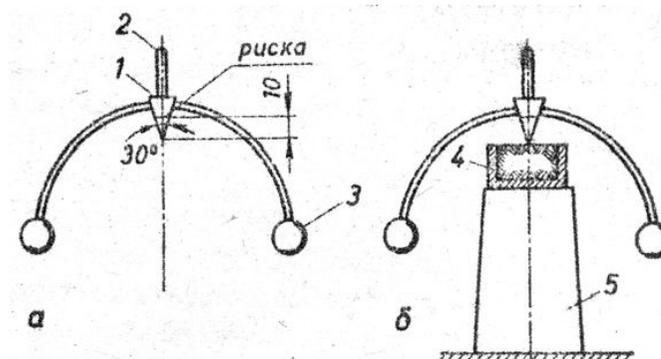


Рис.б Балансирный конус (а) и способ его использования (б):  
 1 – конус с рисккой;  
 2 – ручка;  
 3 – балансирный шар;  
 4 – бюкса с грунтовой пастой;  
 5 – подставка

**Ход работы** 1. Образец грунта размять шпателем или резиновым пестиком, протереть или просеять через сито диаметром 0,5мм.

2. Грунт увлажнить до состояния густого грунтового теста, одновременно его перемешивая. Закрывать чашку и оставить на 2 часа.

3. Увлажненное тесто перемешать и заполнить им стаканчик диаметром 4см и высотой 2см. Поверхность теста заровнять шпателем вровень с краями

стаканчика. При заполнении ёмкости следить, чтобы в тесте не было пустоты.

4. Поднести к поверхности грунтового теста острие конуса и отпустить конус. Конус в течение 5 секунд должен свободно погрузиться в тесто под влиянием собственной массы до риски и остановиться..

5. Если за 5сек конус погружается в грунтовое тесто на глубину 10 мм, верхний предел пластичности считается достигнутым.

6. Погружение конуса в грунтовое тесто за 5 сек на глубину меньше 10 мм показывает, что влажность грунта ниже предела текучести. В этом случае породу переложить из стаканчика обратно в чашку, добавить немного воды и тщательно перемешать, затем испытание повторить. Если конус за 5сек погрузился на глубину более 10мм, это указывает на избыток влаги в породе. В этом случае породу подсушить на воздухе, непрерывно перемешивая шпателем. После подсушивания испытание повторить.

7. Когда требуемая консистенция породы будет достигнута, из стаканчика взять навеску породы в заранее приготовленную бюксу и определить влажность породы, которая будет соответствовать пределу текучести. Для каждой пробы провести не менее двух параллельных определений текучести. Расхождения в результатах определений не должно быть более 2%.

8. Взвешивание производится с точностью до 0,01г, влажность рассчитывается до 0,01. Данные записываются в таблицу лабораторной работы 10.

9. Определить число пластичности и дать классификацию грунта по ГОСТ 25100.

**Вывод (критический анализ):**

## Лабораторная работа 12

### Определение свободного набухания в приборе Васильева

Способность пород при увлажнении увеличивать свой объём называется *набуханием*. *Набухание* свойственно слабосцементированным переуплотненным глинистым грунтам и характеризует их водоустойчивость. *Набухание* характеризуется следующими показателями: *относительной деформацией (или степенью) набухания; влажностью набухания; давлением набухания*.

**Приборы:** прибор Васильева, электронные весы, сушильный шкаф, эксикатор, нож.

**Ход работы** 1. Из монолита грунта вырезать образец с помощью режущего кольца.

2. Тщательно очистить кольцо от приставших к нему снаружи частиц грунта.

3. Вставить кольцо с грунтом в дно прибора, поставить на грунт поршень.

4. Установить индикатор так, чтобы его ножка соприкасалась с шейкой поршня. Установленный индикатор закрепить винтом и записать показание индикатора – нулевой отсчет.

5. Подать воду к образцу.

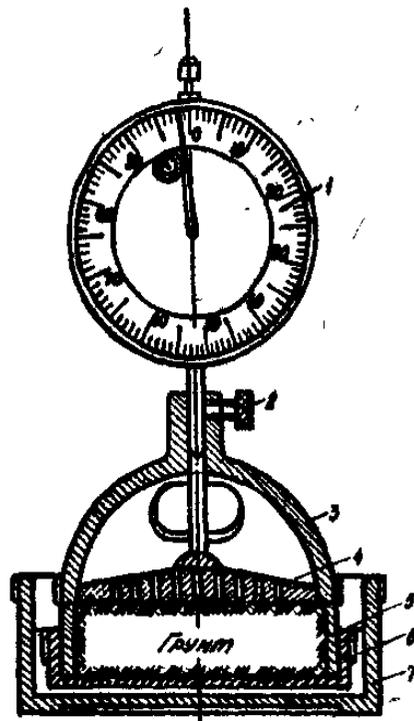


Рис.7 Прибор ПНГ для определения величины свободного набухания:

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

6. Следить за показаниями индикатора через 10, 20, 30мин, 1,2,3,4, 5,6 часов от начала опыта. Опыт считается законченным, если приращение показания индикатора не превышает 0,02мм/сут.

7. Извлечь кольцо с грунтом.

8. Определить конечную влажность грунта ( $W_k$ ) и начальную влажность грунта ( $W_0$ ). Конечная влажность  $W_k$  будет характеризовать влажность набухания  $W_H$ .

9. Вычислить величину набухания по формуле:

$$\varepsilon_{sw} = \Delta h/h$$

$\Delta h$  - приращение высоты образца по показаниям индикатора, мм (разность между последним и нулевым отсчетом);

$h$  - начальная высота образца, равная высоте кольца, мм.

Опытные данные		Расчет $W_H$ и $\varepsilon_{sw}$
Время наблюдения (дата, час, мин)	Отсчёт по индикатору	
		Начальная влажность, %
		Влажность набухания, %
		Приращение высоты образца, мм
		Величина набухания, %

**Вывод (критический анализ):**

### Лабораторная работа 13

#### Определение коэффициента фильтрации песков

*Коэффициент фильтрации* – скорость фильтрации воды при градиенте, равном единице, и линейном законе фильтрации.

**Приборы:** прибор КФ-ООМ.

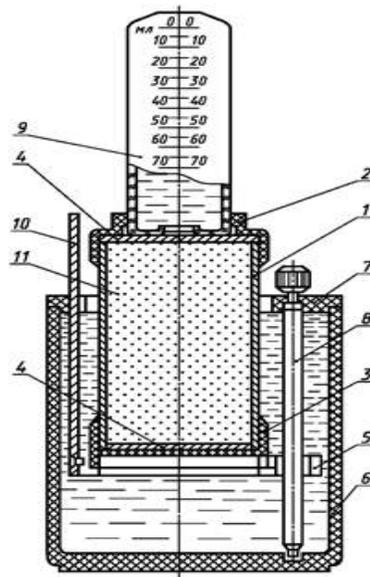


Рис. 8 Прибор КФ-ООМ

1-цилиндр; 2-муфта; 3-перфорированное дно;  
4-латунная сетка; 5-подставка; 6-корпус;  
7-крышка; 8-подъемный винт; 9-стеклянный  
баллон со шкалой объема фильтрующейся жид-  
кости; 10-планка со шкалой градиентов напора;  
11 - испытуемый образец грунта

**Ход работы** 1. Заполнить трубку 1 пес-  
ком. Заполнение проводить послойно под  
водой.

2. Заполнить баллон 9 водой. Перевер-  
нуть его над трубкой и укрепить в верхней  
части трубки так, чтобы горлышко отстояло  
от поверхности грунта на 0,5-1мм. Проры-  
вающиеся крупные пузырьки, говорит о том,  
что горлышко цилиндра находится на боль-  
шом расстоянии от поверхности грунта. В  
этом случае необходимо вдавить мерный  
цилиндр глубже и добиться, чтобы через

воду поднимались только мелкие пузырьки, следующие на одинаковом рас-  
стоянии один за другим.

3. При достижении указанного режима заметить по шкале уровень воды в  
цилиндре и пустить секундомер (50-100 секунд), заметить второй уровень.

4. Подсчитать коэффициент фильтрации по формуле:

$$K=86,4Q/TF \text{ м/сут}$$

Q –объем воды профильтровавшийся за время T, см<sup>3</sup>;

T – время фильтрации, с;

F – площадь поперечного сечения трубки см<sup>2</sup>

5. Опыт повторить несколько раз, вычислить среднее значение.

**Вывод (критический анализ):**

#### Лабораторная работа 14

Определение компрессионной зависимости, характеристик  
сжимаемости и характера развития деформации грунта во времени

Грунты, залегающие в основании проектируемых сооружений, испытыва-  
ют на образцах с ненарушенной структурой, а грунты, укладываемые в тело  
земляных сооружений – в нарушенном состоянии.

Испытания водонасыщенных грунтов и ненасыщенных, но дополнительно  
увлажняемых в процессе возведения сооружения, проводятся в условиях по-  
гружения испытуемого образца под воду, а грунтов, не насыщенных водой и  
дополнительно не увлажняемых – с сохранением естественной влажности, для

чего принимаются меры, исключая возможность подсушивания грунта в процессе опыта.

### Оборудование и материалы

1. Прибор конструкции «Гидропроекта»
2. Индикаторы для изменения деформации – 2 шт.
3. Весы с разновесками.
4. Фильтровальная бумага.
5. Стекло.
6. Шпатель.
7. Секундомер.
8. Глинистый грунт.

### Ход работы – 1-е занятие

#### Подготовка образца с ненарушенной структурой

1. Взвесить рабочее кольцо 1 (рис. 9) с точностью до 0,05 г, измерять его высоту, диаметр, вычислить площадь, объём и все данные занести в таблицу (см. с. 23).

2. Рабочее кольцо ставится острым краем на монолит грунта и лёгким нажимом постепенно врезается в грунт, для чего острым ножом вырезается столбик грунта диаметром, примерно равным диаметру кольца. Лишний грунт вокруг кольца удаляется ножом.

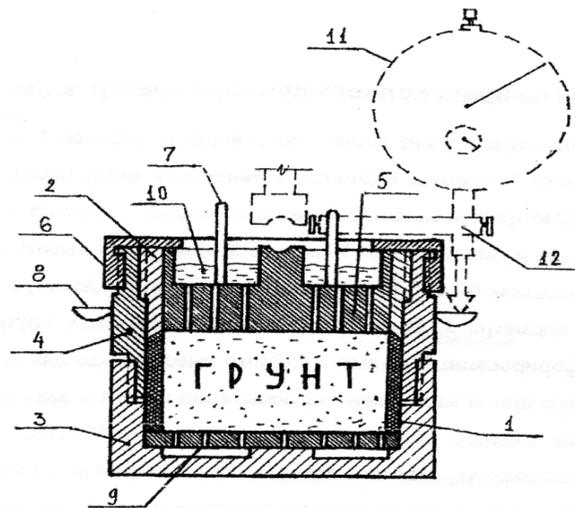


Рис. 9 Одометр:

1 – рабочее кольцо; 2 – направляющее кольцо; 3 – нижняя часть одометра; 4 – верхняя часть одометра; 5 – жёсткий перфорированный штамп; 6 – арретивное кольцо; 7 – стойки для крепления индикаторов; 8 – упоры индикаторов; 9 – перфорированная прокладка; 10 – увлажнённая ткань; 11 – индикатор для измерения деформаций; 12 – струбцина для крепления индикаторов

3. После врезки кольца в монолит, заключённая в нём проба отделяется от монолита и зачищается вровень с краями кольца. Эту операцию необходимо выполнить очень тщательно, чтобы объём испытуемого образца был в точности равен объёму полости кольца.

4. Одновременно из остатков грунта, непосредственно прилегающего к телу образца, взять пробу на определение удельного веса и влажности.

5. Установить рабочее кольцо на стекло и с помощью шпателя «вмазывать» грунт, поверхность грунта выровнять с краем кольца.

6. С обеих сторон кольца положить кружки фильтровальной бумаги и кольцо с грунтом взвесить на весах с точностью до 0,05 г.

7. Результаты взвешивания занести в приведённую таблицу 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчётов при компрессионных испытаниях

№	Наименование характеристики	Обозначение	Числовое значение
1	Высота кольца (начальная высота образца), см	$h_0$	
2	Площадь кольца, см <sup>2</sup>	$A$	
3	Объём кольца, см <sup>3</sup>	$V$	
4	Объём грунта после опыта, см <sup>3</sup>	$V_k$	
5	Вес кольца, г	$Q_0$	
6	Вес кольца с грунтом до опыта, г	$Q_1$	
7	Вес кольца с грунтом после опыта, г	$Q_2$	
9	Влажность грунта до опыта	$W_0$	
10	Влажность грунта после опыта	$W_k$	
11	Удельный вес грунта до опыта, г/см <sup>3</sup>	$y_0 = (Q_1 - Q_0) / V$	
12	Удельный вес грунта после опыта, г/см <sup>3</sup>	$y_k = (Q_2 - Q_0) / V_k$	
13	Удельный вес твердых частиц, г/см <sup>3</sup>	$y_s$	
14	Коэффициент пористости до опыта	$e_0 = y_s / Y_0 (1 + W_0) - 1$	
15	Коэффициент пористости после опыта	$e_k = y_s / Y_k (1 + W_0) - 1$	

#### Сборка прибора

1. Перед сборкой прибора штуцера у нижней части 3 (рис. 9) корпуса одометра закрыть пробками или резиновыми трубками с зажимами. Затем нижнюю часть 3 корпуса одометра залить водой до верхней поверхности перфорированной прокладки 9.

2. Установить рабочее кольцо с грунтом острой кромкой вверх на перфорированную прокладку 9 в нижнюю часть 3 корпуса одометра.

3. Нижнюю часть 3 корпуса одометра совместить с верхней частью 4. В верхнюю часть корпуса одометра ввинтить направляющее кольцо 2.

4. Одометр в собранном виде установить на базу прибора. На стойках 7 штампа с помощью держателей 12 закрепить индикаторы часового типа 11. Отсчёты по малой и большой шкале индикаторов должны быть нулевыми, при этом рама 17–19 (рис. 10) фиксируется так, чтобы не было передачи нагрузки на грунт, заключённый в одометре. Рычаг с противовесом привести в горизонтальное положение.

#### Проведение испытаний

1. В зависимости от поставленных задач компрессионное испытание грунта производится при его естественной влажности или после насыщения водой. При испытании грунта естественной влажности, для сохранения его естественной влажности на штамп и выступ базы вокруг цилиндра следует положить влажную ткань.

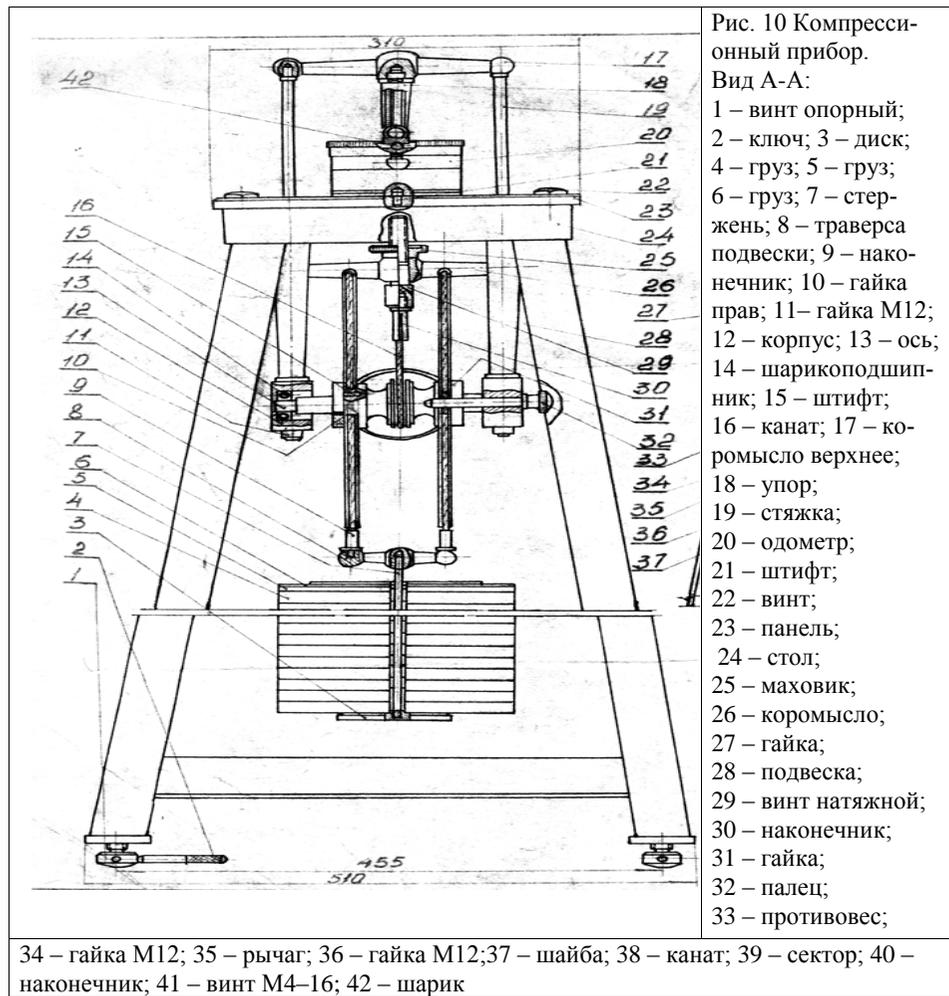


Рис. 10 Компрессионный прибор.  
Вид А-А:  
1 – винт опорный;  
2 – ключ; 3 – диск;  
4 – груз; 5 – груз;  
6 – груз; 7 – стержень; 8 – траверса  
подвески; 9 – наконечник; 10 – гайка  
прав; 11 – гайка М12;  
12 – корпус; 13 – ось;  
14 – шарикоподшипник; 15 – штифт;  
16 – канат; 17 – коромысло верхнее;  
18 – упор;  
19 – стяжка;  
20 – одомер;  
21 – штифт;  
22 – винт;  
23 – панель;  
24 – стол;  
25 – маховик;  
26 – коромысло;  
27 – гайка;  
28 – подвеска;  
29 – винт натяжной;  
30 – наконечник;  
31 – гайка;  
32 – палец;  
33 – противовес;

34 – гайка М12; 35 – рычаг; 36 – гайка М12; 37 – шайба; 38 – канат; 39 – сектор; 40 – наконечник; 41 – винт М4–16; 42 – шарик

2. В дальнейшем ход опыта состоит в уплотнении грунта степенями нагрузки и определении коэффициента пористости, соответствующего каждой ступени нагрузки. Слабые грунты испытывают при давлениях: 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 кгс/см<sup>2</sup>, а более плотные грунты при давлениях: 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 кгс/см<sup>2</sup>.

3. Величину груза, который необходимо приложить на рычаг прессы при заданном давлении на грунт, следует определять по формуле:

$F_1 = \frac{p \cdot A - q}{f}$	$q$ – вес нагрузочной рамки и штампа с индикаторами $q = 2,3$ кгс; $A$ – площадь образца см <sup>2</sup> $p$ – заданное давление на образец в кгс/см <sup>2</sup> ; $f$ – передаточное число системы рычага ( $f = 10$ ).
---------------------------------	--

Для создания первоначального давления на образец грунта, равного, например,  $0,25 \text{ кгс/см}^2$ , на подвеску рычага должен быть положен груз  $1,27 \text{ кгс}$ , который вместе с весом нагрузочной рамки создаёт усилие на штамп одометра:  
или  $1,27 \cdot 10 + 2,3 = 15 \text{ кгс}$  или  $15/60 = 0,25 \text{ кгс/см}^2$

4. При приложении на образец грунта первой ступени нагрузки, после того как на подвеску рычага положен груз, снимается фиксация с нагрузочной рамы и включается секундомер.

5. После приложения нагрузки необходимо вести наблюдения за деформацией грунта по показаниям индикаторов. Отсчёты по индикаторам берутся через промежутки времени, указанные в таблице 2, и заносятся в ту же таблицу.

Таблица 2

Результаты определения затухания осадки во времени

Интенсивность давления $p$ ( $\text{кгс/см}^2$ )	Время от начала приложения данной ступени давления $t$	Отсчеты по индикаторам (мм)			Нарастание деформации от данной ступени давления, $S$ , мм
		левый	правый	Среднее арифметическое	
0,25	30 сек				
	1 мин				
	2 мин				
	5 мин				
	10 мин				
	15 мин				
	30 мин				
	1 час				

**Ход работы – 2-е занятие**

1. Каждая последующая ступень нагрузки устанавливается на подвеску прибора после наступления условной стабилизации осадки (через 24 часа после установки предшествующей ступени). Показания индикаторов и время снятия заносятся в таблицу 3. (За условную стабилизацию деформации принимают величину осадки, не превышающую  $0,01 \text{ мм}$  за время: 30 минут для песчаных грунтов, 3 часа для супесей и 12 часов для суглинков и глин). Ткань, лежащая на перфорированном штампе, увлажняется.

Таблица 3

Журнал компрессионных испытаний

Интенсивность давления $p$ ( $\text{кгс/см}^2$ )	Степень нагрузки $F$ , кгс	Отсчеты по индикаторам (мм)			Осадка $S$ , мм	Число, месяц
		левый	правый	Среднее арифметическое		
					0	
0,25	1,27					
0,5	+1,5					
1,0	+3,0					
2,0	+6,0					
3,0	+6,0					

2. По окончании опыта снять нагрузку с подвески секторного рычага, удалить из одометра всю воду и приступить к его разборке. Рабочее кольцо прибора с грунтом взвесить ( $Q_2$ ).

3. По результатам таблиц 2 и 3 заполнить таблицу 4.

Таблица 4

Результаты компрессионных испытаний

Интенсивность давления $p$ (кгс/см <sup>2</sup> )	Полная осадка при данном давлении $S$ , мм	Изменение коэффициента пористости $\Delta e_1 = S_1/h^*(1+e_0)$	Коэффициент пористости $e_1 = e_0 - \Delta e_1$
0	0,000	0,000	$E_0$
0,25			
0,5			
1,0			
2,0			
3,0			

4. По данным таблицы 4 построить компрессионную кривую (рис. 3). Рекомендуемый масштаб для  $p$ : 1 кгс/см<sup>2</sup> = 2 см; для  $e$ : 0,1 = 2 см.

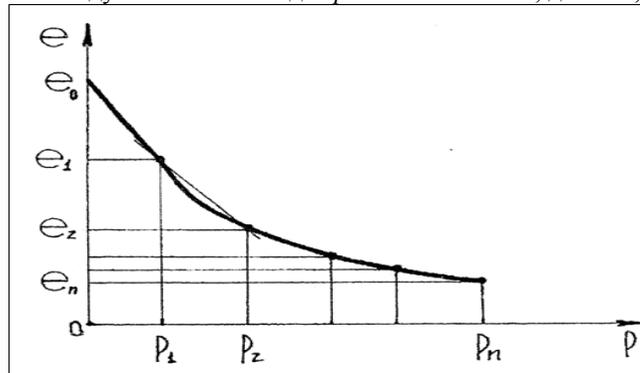


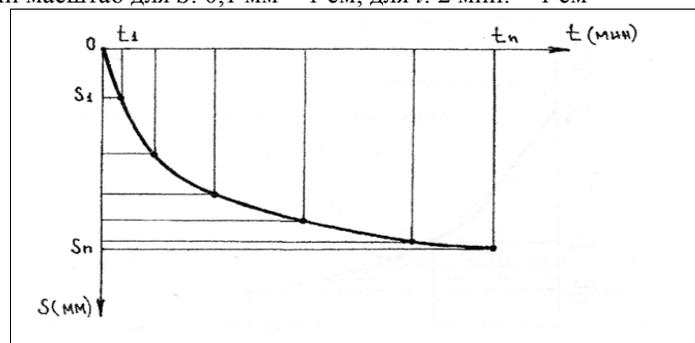
Рис. 11 Компрессионная кривая

5. По результатам таблицы 4 определить для заданного преподавателем интервала давлений коэффициент сжимаемости  $a_0$ , коэффициент относительной сжимаемости  $a_v$  и модуль общей деформации  $E_0$ .

6. По данным табл. 4 строится график осадки глинистого грунта во времени (рис. 12).

Рекомендуемый масштаб для  $S$ : 0,1 мм = 1 см; для  $t$ : 2 мин. = 1 см

Рис. 12 Осадка глинистого грунта во времени



**Вывод (критический анализ):**

## Теоретическая часть

### Деформационные свойства грунтов

*Сжимаемость* грунтов под нагрузкой отражает их способность изменять свое строение (упаковку твердых частиц) и проявляется в уменьшении объема пор вследствие смещения частиц относительно друг друга, деформации самих минеральных частиц и оболочек прочносвязанной воды, а также отжатием воды и воздуха из пор грунта.

Показателем, характеризующим сжимаемость грунтов, является модуль общей деформации  $E$ .

В лабораторных условиях определение модуля деформации производится при сжатии: а) без возможности бокового расширения (компрессионные испытания); б) в условиях ограниченного бокового расширения (испытание в стабилометрах).

*Компрессией* называется законченное во времени сжатие грунта в специальном компрессионном приборе – одомере – ступенчатой нагрузкой в условиях невозможности бокового расширения (образец помещен в жесткое кольцо). Так как уплотнение грунта происходит главным образом в результате уменьшения объема пор, то деформацию сжатия грунта можно выразить через изменение коэффициента пористости  $e_i$ . Изменение коэффициента пористости при компрессии можно рассчитать по формуле

$$e_1 = e_0 - \Delta e_1 = e_0 - \Delta h / h_0 * (1 + e_0)$$

где  $h_0$  – первоначальная высота образца;

$\Delta h$  – изменение высоты образца под давлением;

$e_0$  – начальный коэффициент пористости.

Для расчета начального коэффициента пористости  $e_0$  используют формулу:

$$e_0 = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

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

$\rho_d$  – плотность сухого грунта (скелета грунта), г/см<sup>3</sup>.

Плотность скелета грунта  $\rho_d$  определяют по формуле:  $\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.001W}$

где  $\rho$  – плотность грунта г/см<sup>3</sup>;

$W$  – природная влажность грунта %.

Зная коэффициент пористости грунта при соответствующих ступенях давления, можно построить *компрессионную кривую*, являющуюся обобщенной характеристикой сжимаемости дисперсных грунтов. Если производить разгрузку образца глинистого грунта в компрессионном приборе, то он будет увеличиваться в объеме, соответствующая кривая называется *кривой декомпрессии* (разгрузки, набухания).

Для небольшого диапазона давлений (0,1– 0,3 МПа) компрессионная кривая в координатах  $e-P$  может быть заменена прямой, уравнение которой с угловым коэффициентом  $a_0$  будет иметь вид:

$$a_0 = tg\varphi = \frac{\Delta e}{\Delta \rho} = \frac{e_i - e_{i+1}}{\rho_{i+1} - \rho_i}$$

где  $a_0$  - коэффициент сжимаемости.

Коэффициент сжимаемости связан с модулем общей деформации грунта при одноосном сжатии следующим соотношением:

$$E_0 = \frac{1+e_0}{a_v} \beta \quad a_v = \frac{a_0}{1+e_0} \quad E = \frac{\beta}{ma}$$

где  $\beta$  – коэффициент, зависящий от поперечного расширения грунта;  
 $a_v$  – коэффициент относительной сжимаемости.

Модуль деформации и коэффициент сжимаемости используются при расчетах осадок фундаментов.

## Лабораторная работа 15

### Определение относительной просадочности грунта

Выявление и определение *просадочности грунтов* имеет большое практическое значение при проектировании строительства различных сооружений на лёссовых грунтах. Под *просадочностью* понимают уменьшение объёма грунта при увлажнении под действием внешней нагрузки или собственного веса. К *просадочным* относятся пылевато-глинистые грунты, которые под действием внешней нагрузки или собственного веса при замачивании водой дают дополнительную осадку (просадку).

Основными характеристиками просадочных свойств грунтов являются:

- относительная просадочность  $\varepsilon_{st}$ ;
- начальное просадочное давление  $P_{st}$ ;
- начальная просадочная влажность  $w_{st}$ .

Характеристики просадочности  $\varepsilon_{st}$  и  $P_{st}$  определяются по ГОСТ 23161-78.

Относительной просадочностью  $\varepsilon_{st}$  называется отношение приращения осадки  $\Delta h_{np}$ , вызванной воздействием заданной ступени нагрузки на переувлажнённый образец грунта, к первоначальной высоте  $h_0$  этого образца при его естественной влажности и природном давлении.

$$\varepsilon_{st} = \frac{\Delta h_{np}}{h_0} = \frac{h^r - h_{np}}{h_0},$$

где  $h$  - высота образца грунта природной влажности обжато без возможного бокового расширения при давлении, равном давлению от веса сооружения и собственного веса вышележащей породы;

$h_{np}$  – высота образца грунта после пропуска через него воды при сохранении того же давления;

$h_0$  – высота образца породы природной влажности, обжато давлением, равным природному, без возможного бокового расширения.

При значении  $\varepsilon_{st} < 0,01$  – грунты непросадочные (ГОСТ 25100-2011).

Начальным просадочным давлением  $P_{st}$  считается такое давление, при котором возникает просадка, оцениваемая значением  $\varepsilon_{st}=0,01$ . Начальной просадочной влажностью  $w_{st}$  считают такую влажность, при которой грунты, нахо-

дящиеся в напряженном состоянии, вызванном внешней нагрузкой и собственным весом грунта (или только собственным весом), начинают проявлять просадочные свойства при значении  $\varepsilon_{st} = 0,01$ .

Образец просадочного грунта, как и непросадочного, исследуется в одометре. Разница состоит в том, что образец, нагруженный давлением  $P$ , после стабилизации осадки замачивается водой. От воздействия замачивания дополнительно нарастает деформация (просадка), которая для различных просадочных грунтов различна. После стабилизации просадки давление на образец увеличивается и выявляется дальнейшая компрессионная зависимость, поэтому компрессионная кривая для просадочных грунтов имеет вид, показанный на рис.13.

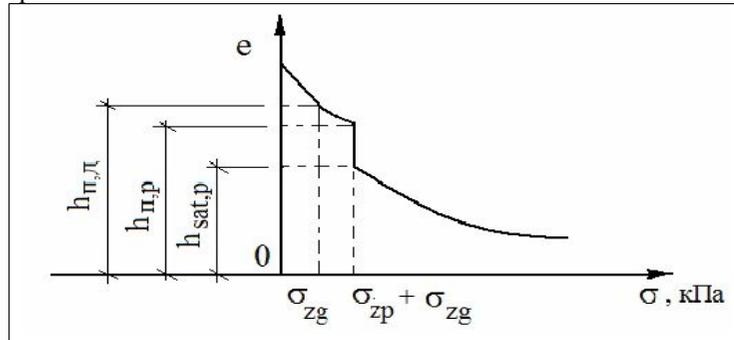


Рис.13 Схема компрессионной кривой

Для определения величины относительной просадочности методом «одной кривой» при давлении

$P = 0,3$  МПа проводим эксперимент на приборе конструкции «Гидропроекта». Результаты определения относительной просадочности необходимо выражать с точностью до 0,001. Регистрировать в журнале испытаний с указанием наименований видов грунта и значений его физических характеристик. Замачивание образцов грунта следует производить снизу вверх в последовательности, определяемой схемой испытаний («одной кривой» или «двух кривых») при неизменном градиенте напора, равном 1-1,1.

#### Оборудование и материалы

1. Прибор конструкции «Гидропроекта»
2. Индикаторы для изменения деформации – 2 шт.
3. Весы с разновесками.
4. Фильтровальная бумага.
5. Стекло.
6. Шпатель.
7. Секундомер.
8. Глинистый грунт.
9. Набор гирь массой по 3 кг.

Эксперимент в лабораторных условиях проводится по ускоренной схеме!

#### Ход работы – 1 часть

1. Рабочее кольцо ставится острым краем на монолит грунта и лёгким нажимом постепенно врезается в грунт, для чего острым ножом необходимо вырезать столбик грунта диаметром, равным диаметру кольца. Лишний грунт вокруг кольца удалить при помощи ножа.

2. Кольцо с образцом грунта с двух сторон покрыть увлажненными фильтрами, вставить в верхнюю часть стакана и произвести сборку одометра.
3. На поверхность образца установить перфорированный штамп, в углубление которого положить шарик.
4. Собранный прибор поместить на столик компрессионного прибора так, чтобы шток пресса рычажного устройства находился над шариком.
5. Закрепить индикаторы в рабочем положении на нулевой отсчет, соответствующий начальному положению поверхности образца до приложения нагрузки.
6. Через каждые три минуты увеличивать нагрузку ступенями по 0,05 МПа до конечной нагрузки 0,3 МПа (на рычаге подвески 18 кг).
7. Опыт закончен. Записи ведутся в журнале (таблица 1).

Журнал компрессионных испытаний

Таблица 1

Груз на подвеске, N, кг	Давление P, МПа	Деформации образца, мм			Относительная деформация $\varepsilon_i$	Изменение коэффициента пористости $\Delta e_i = \varepsilon_i(1+e_0)$	Коэффициент пористости $e_i = e_0 - \Delta e_i$
		№ 1	№ 2	среднее $\Delta h_i$			
0							
3	0,05						
6	0,10						
9	0,15						
12	0,20						
15	0,25						
18	0,30						
Замачивание							
18	0,30						
24	0,40						

Величина относительной деформации образца грунта:  $\varepsilon_i = \Delta h_i / h_0$ .

Коэффициенты пористости  $e_i$ , соответствующие давлению  $P_i$ , вычисляют, используя формулу:

$$e_i = e_0 - \Delta e_i; \quad \Delta e_i = \frac{\Delta h_i}{h_0} (1 + e_0) = \varepsilon_i (1 + e_0).$$

По известным значениям  $e_i$  и  $P_i$  строят график зависимости  $e_i = f(P_i)$  - компрессионную кривую.

Коэффициент уплотнения (сжимаемости) в интервале давлений 0,1-0,3 МПа вычисляется по формуле:

$$a_{0,1-0,3} = \frac{e_{0,1} - e_{0,3}}{0,3 - 0,1} \text{ 1/МПа,}$$

где  $e_{0,1}$  и  $e_{0,3}$  - коэффициенты пористости, соответствующие давлениям 0,1 и 0,3 МПа.

Модуль деформации грунта  $E$  в интервале давлений 0,1-0,3 МПа вычисляют по формуле:

$$E_{0,1-0,3} = \frac{1 + e_0}{a_{0,1-0,3}} \beta \text{ МПа,}$$

где  $\beta$  - безразмерный коэффициент, зависящий от коэффициента бокового расширения грунта и принимаемый равным: 0,74 - для лёссовидных супесей, 0,63 - для лёссовидных суглинков, 0,40 - для лёссовидных глин.

### **Ход работы – 2 часть**

1. После относительной стабилизации осадки в компрессионном приборе при давлении  $P = 0,3$  МПа в резервуар прибора залить воду для замачивания образца и поддерживать уровень воды в резервуаре по верхнему торцу образца грунта до окончания испытания.

Для замачивания образцов грунта надлежит использовать воду питьевого качества температурой 10-25° С.

2. Наблюдения вести через 1,2,5,10,20,30 минут, 1 час и записывать в журнал (таблица 1).

3. Приложить нагрузку 0,1 МПа и через 3 минуты взять заключительный отсчет.

4. По результатам испытаний, используя данные таблицы 1, определить:

а) величины деформации образца грунта после замачивания  $\Delta h_i$  в мм с точностью 0,01, вычисленные как средние арифметические значения показателей индикаторов;

б) величины относительной деформации образцов грунта  $\varepsilon_i$  после замачивания с точностью 0,001 при соответствующих значениях давления.

5. По величинам коэффициентов пористости (таблица 1) построить компрессионную кривую (рис. 13).

6. По величинам относительной деформации образцов  $\varepsilon_i$  построить график зависимости  $\varepsilon = f(P_i)$  с отображением просадочных деформаций, предварительно заполнив журнал (таблица 2).

7. Затем подсчитать относительную просадочность грунта  $\varepsilon_{st}$  при давлении  $P = 0,3$  МПа по испытаниям по схеме «одной кривой».

Таблица 2

Журнал расчета величины относительного сжатия в зависимости от давления

Давление на образец $P$ , МПа	Величина деформации грунта $\Delta h_i$ , мм	Относительная деформация грунта $\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h_0}$
0,1		
0,2		
0,3		
После замачивания		
0,3		
0,4		

**Вывод (критический анализ):**

### Лабораторная работа 16

#### Определение прочностных характеристик грунтов

##### **Оборудование и материалы**

1. Основные части прибора ГПП-30.
2. Стол прибора.
3. Механизм передачи касательной нагрузки.
4. Срезная коробка.
5. Механизм передачи нормальной нагрузки.

6. Два индикатора для производства замеров вертикальных и горизонтальных перемещений.

В лабораторных условиях опыт проводится по схеме - *быстрый сдвиг*, когда сдвигающее усилие непрерывно увеличивается, не дожидаясь стабилизации от предыдущей нагрузки.

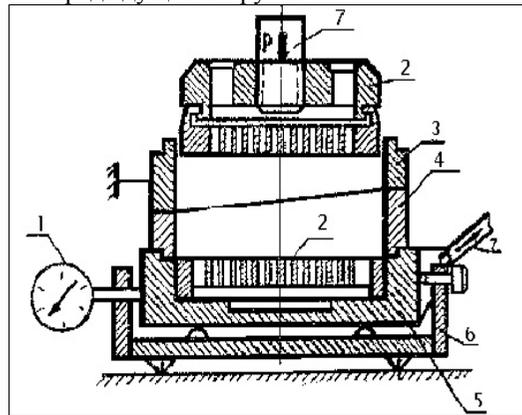


Рис. 14 Схема одноплоскостного сдвигового прибора ПС -10:  
1 – индикатор часового типа для замера деформации образца грунта; 2 – жесткие перфорированные сплошные штампы для передачи нормального давления на образец; 3, 4 – рабочее кольцо, состоящее из двух полуколец; 5, 6 – срезная коробка, состоящая из неподвижной части и подвижной каретки; 7 – механизмы для создания вертикальной и горизонтальной нагрузок

**Ход работы** 1. Подготовить 3 образца. Для этого металлическую обойму смазать вазелином и загрузить грунт в кольцо. Ножом срезать лишний грунт и кольцо покрыть влажной фильтровальной бумагой.

2. Прибор полностью собрать.

3. Предохранительный винт на поршне завернуть до отказа.

4. Горизонтальный рычаг соединить непосредственно с выдвигной обоймой одометра. Стопорные винты завернуть до отказа.

5. Рычаг вертикальной нагрузки раздвинуть на полную длину, навесить подвески для гирь и рычаг уравновесить.

6. Приложить вертикальную нагрузку  $\sigma_1 = 0,1 \text{ МПа}$  и отпустить стопорный винт. Выдержать эту нагрузку 15 мин. (до загасания осадок).

7. Вывернуть до конца стопорные винты и приложить сдвигающую нагрузку  $T$  ступенями по 100г (1Н). Зафиксировать деформации по индикатору и записать в тетради (приложение 1).

После осуществления сдвига (испытание считается законченным, если при приложении очередной ступени горизонтального давления происходит мгновенный сдвиг одной части образца по отношению к другой или стрелка индикатора пройдет более 5 кругов) подсчитать величину сдвигающего усилия  $T$  (вес гирь плюс 100г – вес горизонтального рычага). Данные записать в таблицу.

8. Образец № 1 снять и на его место установить сначала образец № 2 ( $\sigma_2 = 0,2 \text{ МПа}$ ) и затем № 3 ( $\sigma_3 = 0,3 \text{ МПа}$ ) и произвести сдвиг, как в описанном случае.

9. Обработка результатов заключается в определении сдвигающих напряжений и построении графика сопротивления сдвигу. Все данные записаны в таблице (приложении 1).

10. При построении графика напряжения  $\tau$  и  $\sigma$  откладываются в одном и том же масштабе:  $0,1 \text{ МПа} = 5 \text{ см}$ . По полученным опытным точкам производится осреднённая прямая до пересечения с осью ординат.

11. Угол внутреннего трения грунта  $\phi$  и сцепление  $C$  определяются из графика:  $\phi$  – по тангенсу угла наклона прямой по таблице Брадиса (точность  $1^\circ$ );  $C$  – выражается отрезком, отсекаемым прямой на оси ординат, и измеряется с точностью до  $0,001 \text{ МПа}$ .

12. При быстром сдвиге работают три человека. Один укладывает грузы на подвеску, другой снимает показания с индикатора, регистрирующего сдвиг, третий записывает показания.

### Обработка результатов

По результатам испытания трех образцов в тетради лабораторных работ строится график зависимости  $\tau = f(\sigma)$ .

Прочностные характеристики грунтов: угол внутреннего трения  $\phi$  с точностью до  $1^\circ$  и удельное сцепление  $C$  с точностью до  $0,001 \text{ МПа}$  определяют:

$$\text{tg}\phi = (\tau_3 - \tau_1) / (\sigma_3 - \sigma_1),$$

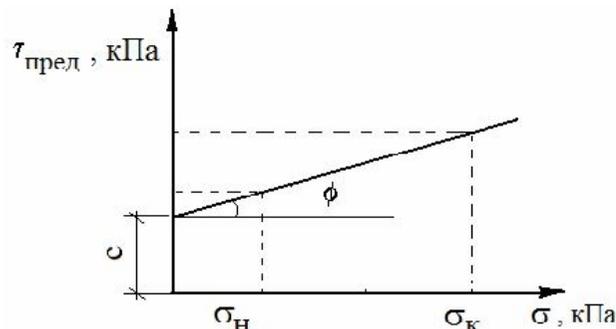
$$C = \tau_1 - p_1 \cdot \text{tg}\phi,$$

где индексы при  $\tau$  и  $\sigma$  соответствуют номерам образцов.

Результаты вычислений записывают в таблицу.

Вертикальное давление, МПа	0,1	0,2	0,3	C=
Сдвигающее напряжение, $\tau$ , МПа				$\phi=$

По принятым значениям нормальных давлений и соответствующим им сопротивлениям грунта срезу  $\tau_{\text{пред}}$ , полученным в результате испытания, строят график зависимости  $\tau_{\text{пред}}$  от  $\sigma$ , откладывая по оси абсцисс величины  $\sigma$ , кПа, а по оси ординат – соответствующие им значения  $\tau_{\text{пред}}$ , кПа (рис. 15).



Так как зависимость  $\tau_{\text{пред}}$  от  $\sigma$  не является линейной (особенно при малых величинах нормальных давлений), а лишь приближается к линейной, то необходимо через опытные точки провести прямую линию, занимающую среднее положение между всеми точками.

Рис. 15. График зависимости  $\tau = f(\sigma)$  сопротивления срезу от нормального давления

## Теоретическая часть

### Испытание грунтов на срез

Нарушение прочности (устойчивости) грунтовых оснований сопровождается образованием поверхностей скольжения, по которым происходит сдвиг (срез) одной части грунта по другой. Испытания грунтов на срез проводятся для определения прочностных характеристик грунтов – угла внутреннего трения  $\varphi$  (град) и удельного сцепления  $c$  (кПа). Сопротивлением грунтов срезу называется наименьшее касательное напряжение  $\tau$ , при котором образец грунта срезается по заранее намеченной плоскости при заданном нормальном давлении.

Сопротивление срезу, помимо нормального давления, зависит от прочностных характеристик и пористости грунта, существенно уменьшаясь с увеличением последней. Такое же значительное влияние на сопротивление грунта срезу оказывает и влажность. Последнее особенно характерно для глинистых грунтов. Сопротивление срезу также зависит от природы внутренних структурных связей и схемы среза, от гранулометрического и минерального составов грунтов. У кварцевых песков сопротивление срезу больше, чем у слюдяных, а у крупных – больше, чем у пылеватых.

Прочностные характеристики грунта – угол внутреннего трения  $\varphi$  (град) и удельное сцепление  $c$  (кПа) – в лабораторных условиях, как правило, определяют на срезных приборах путем установления зависимости между сопротивлением грунта срезу  $\tau$  (кПа) и нормальным давлением на образец  $\sigma$  (кПа). Зависимость между этими величинами графически изображается кривой, которая без существенных погрешностей в расчетах обычно заменяется прямой. Такой прием был впервые введен Ш.Кулоном, предложившим указанную зависимость математически выражать в виде уравнения прямой – закон Кулона. Согласно закону Кулона предельное сопротивление грунта сдвигу  $\tau_{пред}$  (кПа) определяется по формуле

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

где  $\sigma$  – нормальное давление, кПа;

$\varphi$  – угол внутреннего трения грунта, град;

$c$  – удельное (отнесенное к единице площади) сцепление грунта, кПа.

Параметры уравнения прямой  $\varphi$  и  $c$  как бы делят общее сопротивление грунта срезу на сопротивление трения и сцепления (разрыву) грунта. При этом внутреннее трение зависит от величины  $\sigma$ , а сцепление считается независимым от  $\sigma$  и определяется внутренними структурными связями грунта. Прочностные характеристики  $\varphi$  и  $c$  используются при определении расчетного  $R$  (кПа) и предельного  $N_u$  (кН) сопротивлений грунта, при оценке несущей способности оснований и при расчетах устойчивости массивов (откосов), горизонтального давления на ограждения и т.д.

Оба параметра сдвига ( $\varphi$  и  $c$ ) определяют на образцах грунта как нарушенной, так и ненарушенной структуры при естественной влажности или в водонасыщенном состоянии, в зависимости от решаемой задачи.

Применяют два метода испытания грунта на срез – по открытой и закрытой системам. Первый метод, называемый «консолидированным срезом», пре-

дусматривает определение величины  $\tau$  предельной после того, как грунт под действием приложенного давления  $\sigma$  приобретает максимально возможную для данной нагрузки плотность – обычные условия строительства. Метод применяется для исследования грунтов в условиях уплотненного состояния и дает возможность оценить прочность основания построенного сооружения. По второму методу – «неконсолидированному срезу» (быстрый сдвиг) –  $\tau_{пред}$  определяют сразу после приложения нормального давления, не ожидая уплотнения грунта. Данные условия характерны для интенсивного строительства на мягкопластичных водонасыщенных глинистых грунтах.

Срез грунта производится нагрузкой, прикладываемой ступенями по 5-10 % от вертикальной нагрузки по одной из схем:

1) *медленный сдвиг*, когда сдвигающее усилие прикладывается ступенями, причем каждая ступень прикладывается после затухания деформации, вызванной предыдущей ступенью; за условную стабилизацию деформации среза принимают ее скорость 0,01 мм/мин;

2) *быстрый сдвиг*, когда сдвигающее усилие непрерывно увеличивается с таким расчетом, чтобы все испытание протекало не более 2-х минут.

Прибор для испытания грунтов на срез позволяет производить определение сопротивления срезу глинистых и песчаных грунтов как после их предварительного уплотнения под заданной нагрузкой, так и без предварительного уплотнения. Площадь поперечного сечения образца равна 40 см<sup>2</sup>.

Приложение 1

Определение угла внутреннего трения и сцепления

Плотность грунта, \_\_\_\_\_ г/см<sup>3</sup>      Определение влажности после опыта:

Обжимающая нагрузка \_\_\_\_\_ кг/см<sup>2</sup>  
 Нормальная нагрузка при сдвиге \_\_\_\_\_ кг/см<sup>2</sup>  
 Время и дата загрузки:  
 \_\_\_\_\_

№ бюкса	Вес пустого бюкса, г	Вес с влажным грунтом, г	Вес с сухим грунтом, г	Вес воды, г	Абс. сух. навеска, г	Влажность, доп.ед.

Ступень нагрузки _____ кг/см <sup>2</sup>			Ступень нагрузки _____ кг/см <sup>2</sup>			Ступень нагрузки _____ кг/см <sup>2</sup>		
Суммарная нагрузка	Время, мин.	Показания индикатора	Суммарная нагрузка	Время, мин.	Показания индикатора	Суммарная нагрузка	Время, мин.	Показания индикатора
	1			31			61	
	2			32			62	
	3			33			63	
	4			34			64	
	5			35			65	
	6			36			66	
	7			37			67	
	8			38			68	
	9			39			69	
	10			40			70	
	11			41			71	
	12			42			72	
	13			43			73	
	14			44			74	
	15			45			75	
	16			46			76	
	17			47			77	
	18			48			78	
	19			49			79	
	20			50			80	
	21			51			81	
	22			52			82	
	23			53			83	
	24			54			84	
	25			55			85	
	26			56			86	
	27			57			87	
	28			58			88	
	29			59			89	
	30			60			90	

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- 1 ГОСТ 25100-00. Грунты. Классификация. М, Издательство стандартов, 1996.
- 2 ГОСТ 12248-2100. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М, Издательство стандартов, 2000.
- 3 ГОСТ 12248-00. Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний. М, Издательство стандартов, 2000.
- 4 ГОСТ 23161–78. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. М, Издательство стандартов, 1988
- 5 ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава
- 6 ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик
- 7 ГОСТ 25584-90 Грунты. Метод лабораторного определения коэффициента фильтрации. М, Издательство стандартов, 1980
- 8 СП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений
- 9 Дмитриев В.В., Ярг Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов. М, КДУ, 2008.
- 10 Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород. Издательство «Недра», Л, 1972.
- 11 Чаповский Е.Г Инженерная геология. М, Высшая школа, 1975.
- 12 Чаповский Е.Г Лабораторные работы по инженерной геологии. М, Высшая школа, 1977.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Перечень лабораторных работ .....	4
Требования к оформлению лабораторных работ .....	4
Требования техники безопасности при проведении лабораторных работ .....	5
Лабораторная работа 1. Определение гранулометрического состава песчаного грунта ситовым методом .....	5
Лабораторная работа 2. Определение гранулометрического состава глинистого грунта (сито + ареометр) .....	7
Лабораторная работа 3. Определение естественной и гигроскопической влажности грунта .....	8
Лабораторная работа 4. Определение плотности грунта методом гидростатического взвешивания .....	10
Лабораторная работа 5. Определение плотности грунта методом режущего кольца .....	11
Лабораторная работа 6. Определение плотности твердых частиц .....	12
Лабораторная работа 7. Определение плотности песчаного грунта в предельно рыхлом и максимально плотном сложении .....	14
Лабораторная работа 8. Определение пористости песка методом насыщения в предельно рыхлом и максимально плотном сложении .....	15
Лабораторная работа 9. Определение угла естественного откоса песчаных пород в сухом и водонасыщенном состоянии .....	16
Лабораторная работа 10. Определение нижнего предела пластичности глинистого грунта (предел раскатывания).....	17
Лабораторная работа 11. Определение верхнего предела пластичности глинистого грунта (предел текучести).....	18
Лабораторная работа 12. Определение свободного набухания в приборе Васильева.....	19
Лабораторная работа 13. Определение коэффициента фильтрации песков .....	20
Лабораторная работа 14. Определение компрессионной зависимости, характеристик сжимаемости и характера развития деформации грунта во времени .....	21
Лабораторная работа 15. Определение относительной просадочности грунта .....	28
Лабораторная работа 16. Определение прочностных характеристик грунтов .....	31
Приложение .....	36
Информационное обеспечение .....	37