

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра оснований, фундаментов, динамики сооружений и  
инженерной геологии

**МЕХАНИКА ГРУНТОВ**

Учебно-методическое пособие по определению физико-механических свойств  
грунтов для студентов очной и заочной форм обучения  
всех строительных специальностей

Казань 2015

УДК 55  
ББК 26

Механика грунтов: Учебно-методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов для студентов очной и заочной форм обучения всех строительных специальностей / Сост.: И.Т. Мирсаяпов, И.В. Королева, М.И. Шакиров. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. Ун-та, 2015. – 42 с.

В настоящих методических указаниях дано описание лабораторных работ по механике грунтов. Все методы определения характеристик физических и механических свойств грунтов изложены в виде инструктивных указаний и сопровождаются описанием приборов и оборудования.

Дается разъяснение физического смысла характеристик и их назначения.

Рецензент:  
Кандидат технических наук, директор ООО  
«НППФ «Фундаментспецремонт»  
**И.Ф. Шакиров**

УДК 55  
ББК 23

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2015

© Мирсаяпов И.Т., Королева И.В., Шакиров М.И., 2015

## **ВВЕДЕНИЕ**

Грунтами называются горные породы, почвы, техногенные образования, представляющие многокомпонентную геологическую систему и являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Грунты могут служить:

- 1) материалом оснований зданий и сооружений;
- 2) средой для размещения в них сооружений;
- 3) материалом самого сооружения.

Грунты разделяются по общему характеру структурных связей на классы. Различают классы: природных скальных грунтов, природных дисперсных грунтов, природных мерзлых грунтов, техногенных (скальных, дисперсных, мерзлых) грунтов.

Задачей лабораторного практикума по курсу “Инженерная геология, механика грунтов и фундаменты” является изучение основных методов лабораторных определений физических и механических характеристик свойств дисперсных грунтов.

Дисперсными называют грунты, состоящие из отдельных минеральных частиц (зерен) разного размера, слабо связанных друг с другом, и образованных в результате выветривания скальных грунтов с последующей транспортировкой продуктов выветривания водным или эоловым путем и их отложения.

Студент должен не только знать, как определяются характеристики свойств грунтов, но и уметь на основании имеющихся характеристик оценить строительные свойства грунтов и использовать их в инженерных расчетах.

Практикум заключается в выполнении под руководством преподавателя лабораторных работ в кафедральной лаборатории и самостоятельном решении задач по расчету оснований и фундаментов.

### **ПРАВИЛА ДЛЯ СТУДЕНТОВ:**

До того, как приступить к работе, студент обязан:

1. Ознакомиться с соответствующими методическими указаниями по выполнению лабораторной работы.
2. Занести в свою тетрадь основные схемы, определения, формулы, обозначения, журналы, таблицы для результатов.

В процессе проведения работ необходимо:

1. Строго соблюдать требования техники безопасности.
2. Выполнять работы только под контролем преподавателя и в указанной им последовательности.

В конце занятия студент должен оформить отчет по данной работе и предъявить его преподавателю.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ

Цель работы: 1) ознакомление с методикой лабораторных способов определения физических характеристик грунтов; 2) использование найденных характеристик для классификации и нормирования грунтов.

Задачи работы:

- 1) определение основных характеристик, физических свойств грунтов;
- 2) вычисление производных характеристик, физических свойств грунтов;
- 3) классификация грунтов; нормирование грунтов.

Физические свойства грунтов зависят от соотношения твердых частиц, жидкости (воды) и газа; гранулометрического и минералогического состава.

Следует выделить три основные физические характеристики грунта: плотность грунта  $\rho$ ; влажность  $W$  и плотность частиц грунта  $\rho_s$ .

Основными они называются потому, что определяются только экспериментальным путем и служат для расчета других, так называемых производных характеристик. К последним относят: пористость; коэффициент водонасыщения  $S_r$  и др.

Основные и производные характеристики применяются для оценки свойств любых грунтов: скальных, полускальных, дисперсных.

Имеются характеристики, применяемые для классификации только глинистых грунтов: влажность на границе текучести  $W_L$ , влажность на границе раскатывания  $W_p$ , число пластичности  $I_p$  и показатель текучести  $I_L$ .

Физические характеристики используются для классификации грунтов, для выполнения расчетов, для косвенной оценки прочностных и деформационных свойств.

Методы лабораторного определения физических характеристик определены в ГОСТ 5180-2015. Классификация грунтов по физическим характеристикам производится по ГОСТ 25100-2011.

### ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работу выполняет бригада из 4-5 студентов. 2 человека определяют свойства песчаного грунта, 2-3 человека – глинистого. Исследуются грунты нарушенной структуры. Один студент выполняет все работы, связанные с взвешиванием. Одновременно производятся все расчеты. Результаты сразу же показываются преподавателю. При серьезных ошибках работа переделывается.

# 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТОВ МЕТОДОМ РЕЖУЩИХ КОЛЕЦ

Плотность грунта определяется из соотношения:

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

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

Плотность грунта зависит от пористости, влажности, минералогического состава и может находиться в пределах от 1,3 до 2,2  $\text{г/см}^3$ .

Для определения плотности чаще всего применяют метод режущего кольца. Суть его заключается в том, что кольцо известного объема  $V$  врезается в грунт, а затем путем взвешивания определяют массу  $m$  грунта, заключенного в кольцо.

## 1.1. ПОРЯДОК РАБОТЫ

1.1.1. Определить массу режущего кольца  $m_1$

1.1.2. Определить объем режущего кольца по формуле:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h \quad (1.2)$$

где  $d$  – внутренний диаметр кольца, см;  $h$  – высота кольца, см. Размеры кольца измеряют с точностью 0,01 см.

1.1.3. Поверхность грунта (монолита) выровнять ножом с прямым лезвием. На поверхность поставить кольцо острым краем вниз. Придерживая кольцо рукой, вырезать столбик грунта под кольцом несколько большего диаметра, чем диаметр кольца. Насадить кольцо на столбик, слегка нажимая на кольцо и не допуская перекосов. Поверхность грунта должна слегка выступать над верхним концом режущего кольца.

Грунт ниже кольца подрезать “на конус” и кольцо извлечь из грунта. Избыток грунта, выступающий из кольца, срезать вровень с краями кольца. Кольцо положить на стол на стекло. Торцы тщательно зачистить, а мелкие раковины зашпаклевать грунтом.

1.1.4. Наружную поверхность кольца тщательно очистить от грунта. Определить массу кольца с грунтом и стеклом  $m_2$ . Массу стекла  $m_3$  определить заранее.

1.1.5. Определить плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1 - m_3}{V} = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3 \quad (1.3)$$

1.1.6. Результаты измерений занести в таблицу

Вид грунта	Объем	Масса, г	Плотность
------------	-------	----------	-----------

	кольца, $V, \text{см}^3$	Кольца, $m_1$	Кольца с грунтом и стеклом, $m_2$	Стекла, $m_3$	$\rho, \text{г/см}^3$
1	2	3	4	5	6
Песчаный					
Глинистый					

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

Влажностью  $W$  называют отношение массы воды  $m_w$ , содержащейся в порах грунта, к массе сухого грунта  $m_s$

$$W = \frac{m_w}{m_s}, \text{ д.ед} \quad (1.4)$$

или

$$W = \frac{m_w}{m_s} 100, \% \quad (1.5)$$

В лаборатории влажность определяют весовым методом путем взвешивания пробы влажного грунта и после его высушивания в сушильном шкафу при температуре  $100-105^0 \text{С}$  до постоянной массы.

Влажность определяют для тех же грунтов, для которых определялась плотность.

### 2.1. ПОРЯДОК РАБОТЫ

2.1.1. Определить массу бюкса (алюминиевый стаканчик)  $m_1$

2.1.2. В бюкс поместить примерно 20-30 г влажного грунта, извлеченного из кольца после определения плотности. Определить массу бюкса с грунтом  $m_2$ .

2.1.3. Высушить грунт до постоянной массы и определить массу бюкса с грунтом после высушивания  $m_3$ .

2.1.4. Вычислить влажность грунта по формуле:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}, \text{ д. ед.} \quad (1.6)$$

Работа выполняется одинаково для песчаного и глинистого грунтов.

2.1.5. Результаты измерений занести в таблицу

Вид грунта	№ бюкса	Масса, г.			Влажность $W, \text{д.ед}$
		Бюкса, $m_1$	Бюкса с влажным грунтом, $m_2$	Бюкса с су- хим грунтом, $m_3$	
Песчаный					

Глинистый					
-----------	--	--	--	--	--

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВЛАЖНОСТЕЙ, ЧИСЛА ПЛАСТИЧНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕКУЧЕСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

При изменении влажности свойства глинистых грунтов существенно меняются. В зависимости от содержания воды, количества и минералогического состава глинистых частиц грунт может иметь твердую, пластичную или текучую консистенцию.

Для классификации глинистых грунтов и оценки их состояния по консистенции необходимо знать те характерные влажности  $W_p$  и  $W_L$ , при которых грунт переходит из твердого состояния в пластичное, а из пластичного состояния в текучее. Характерные влажности  $W_p$  и  $W_L$  называют также границами пластичности:  $W_p$  – нижний предел пластичности,  $W_L$  – верхний предел пластичности. Кроме того, часто используют термины:  $W_p$  – граница раскатывания,  $W_L$  – граница текучести.

Введение границ между консистенциями достаточно условно. Поэтому для определения  $W_p$  и  $W_L$  ГОСТ 5180-2015 предусматривает стандартные испытания, условия которых следует тщательно исполнять.

#### 3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЖНЕГО ПРЕДЕЛА ПЛАСТИЧНОСТИ $W_p$ – ГРАНИЦЫ РАСКАТЫВАНИЯ

Границей раскатывания считают такую влажность, при которой грунт, раскатываемый в жгут диаметром 3 мм, начинает распадаться на кусочки длиной 3-8 мм.

Определение границы раскатывания состоит в подборе (путем подсушивания) такой влажности, при которой из грунта удастся получить требуемый жгут.

##### **Работа производится в следующей последовательности:**

3.1.1. Из грунта, растертого после просушивания и просеянного через сито с ячейками 1 мм, и воды приготавливают в фарфоровой чашке густое грунтовое тесто.

3.1.2. Приготавливаемое тесто тщательно перемешивают, берут из него небольшой комочек и раскатывают пальцами на стеклянной пластинке, глянцевой бумаге или ладони до образования жгута диаметром около 3 мм. Раскатывание ведут, слегка нажимая на жгут. Длина жгута не должна превышать ширины ладони. Если при этой толщине жгут сохраняет пластичность и связность, его собирают в комочки и вновь раскатывают до диаметра 3 мм. Операцию повторяют до тех пор, пока жгут диаметром 3 мм, не покроется сетью трещин и начнет распадаться на кусочки длиной до 8-10 мм.

3.1.3. Кусочки жгута помещают в заранее взвешенный стаканчик. Во время работы для предохранения кусочков жгута от высыхания стаканчик следует дер-

жать закрытым. Необходимо набрать не менее 10 г кусочков грунта. Далее определяют влажность в соответствии с п.2. Результаты заносят в таблицу (см. ниже).

### 3.2.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРХНЕГО ПРЕДЕЛА ПЛАСТИЧНОСТИ $W_L$ – ГРАНИЦЫ ТЕКУЧЕСТИ

Под границей текучести подразумевают такую влажность, при которой стандартный конус весом 76 г с углом при вершине  $30^\circ$  погружается в грунтовое тесто на 10 мм за 5 с.

**Работа производится в следующей последовательности:**

3.2.1. Грунтовое тесто с помощью шпателя переносят (“вмазывают”) в стандартный металлический стаканчик, не допуская наличия воздушных полостей. Поверхность грунта заглаживают вровень с краями стаканчика.

3.2.2. Стаканчик устанавливают на подставку. (рис.1.1).

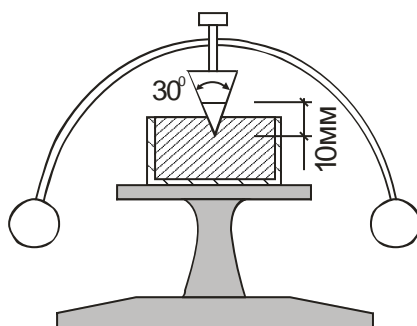


Рис.1.1. Балансирный конус А. М. Васильева.

К поверхности грунта подносят острие конуса, смазанного тонким слоем вазелина, так, чтобы острие его коснулось поверхности грунта. Отпускают конус, включая одновременно секундомер, и следят в течение 5 с за погружением конуса под влиянием собственного веса.

3.2.3. Погружение на 10 мм (до риски) в течение 5 с показывает, что влажность грунтового теста соответствует влажности на границе текучести. В этом случае из стаканчика берут пробу 10-15 г и определяют ее влажность в соответствии с п.2.

3.2.4. Погружение конуса на глубину менее 10 мм за 5 с служит показателем того, что влажность грунта ниже влажности на границе текучести. В этом случае грунтовое тесто перекладывается в чашку, и после добавления воды и тщательного перемешивания опыт повторяют.

3.2.5. Если конус погрузится в грунт более чем на 10 мм, то следует добавить сухого грунта, смесь тщательно перемешать и повторить опыт.

Результаты испытаний заносят в таблицу.

Пределы пластичности	№ бюкса	Масса, г			Влажность
		Бюкса, $m_1$	Бюкса с влажным грунтом, $m_2$	Бюкса с сухим грунтом, $m_3$	



Нижний $W_p$					
Верхний $W_L$					

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

На основании трех основных физических характеристик расчетным путем следует определить производные характеристики грунтов.

Ниже использованы обозначения:  $V$  – объем всего грунта;  $V_s$  – объем частиц грунта;  $V_n$  – объем пор;  $V_w$  – объем воды;  $m$  – масса всего грунта, равная  $m = m_w + m_s$ , где  $m_w$  – масса воды в грунте;  $m_s$  – масса частиц в грунте. При расчетах плотность частиц грунта  $\rho_s$  – задается преподавателем.

##### 4.1. ПЛОТНОСТЬ СУХОГО ГРУНТА

Плотностью сухого грунта  $\rho_d$  называют отношение массы сухого грунта (частиц грунта) к объему всего грунта при ненарушенной структуре

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1.7)$$

Величина  $\rho_d$  характеризует плотность сложения грунта и особенно широко используется для оценки качества уплотнения грунтов в подушках, насыпях и других земляных сооружениях.

Плотность сухого грунта вычисляют по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}, \text{ г/см}^3 \quad (1.8)$$

##### 4.2. ПОРИСТОСТЬ ГРУНТА

Пористостью  $n$  называют отношение объема пор ко всему объему грунта

$$n = \frac{V_n}{V}, \text{ д. ед. или } n = \frac{V_n}{V} 100, \% \quad (1.9)$$

Пористость часто выражают в процентах.

Пористость вычисляют по формулам:

$$n = 1 - \frac{\rho}{\rho_s(1 + W)}; \text{ или } n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}, \text{ д. ед.} \quad (1.10)$$

##### 4.3. КОЭФФИЦИЕНТ ПОРИСТОСТИ

Коэффициентом пористости  $e$  называют отношение объема пор к объему частиц грунта:

$$e = \frac{V_n}{V_s}, \text{ д. ед.} \quad (1.11)$$

Понятие коэффициента пористости используется чрезвычайно широко, так как при воздействиях на грунт объем частиц остается постоянным, а изменение объема пор наглядно характеризуется изменением  $e$ .

Коэффициент пористости определяют по формулам

$$e = \frac{\rho_s(1+W)}{\rho} - 1 \text{ или } e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1, \text{ д. ед.} \quad (1.12)$$

#### 4.4. КОЭФФИЦИЕНТ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ

Коэффициентом водонасыщения  $S_r$  называют степень заполнения объема пор водой.

$$S_r = \frac{V_W}{V_{II}}, \text{ д. ед.} \quad (1.13)$$

Крупнообломочные и песчаные грунты по коэффициенту водонасыщения называются:

малой степени водонасыщения  $0 \leq S_r \leq 0,5$

средней степени водонасыщения  $0,5 \leq S_r \leq 0,8$

насыщенные водой  $0,8 \leq S_r \leq 1$

Коэффициент водонасыщения вычисляют по формуле:

$$S_r = \frac{W\rho_s}{e\rho_w}, \text{ д. ед.,} \quad (1.14)$$

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

#### 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ПЛАСТИЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Числом пластичности  $I_p$  называют разность влажностей, соответствующих двум состояниям грунта: на границе текучести  $W_L$  и на границе раскатывания  $W_p$ .

$$I_p = W_L - W_p, \% \quad (1.15)$$

По ГОСТ 25100-2011  $W_L$  и  $W_p$  выражаются в процентах.

Число пластичности характеризует величину интервала влажности, в пределах которого глинистый грунт сохраняет пластичное состояние.



## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕКУЧЕСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Показателем текучести  $I_L$  называют отношение разностей влажностей, соответствующих двум состояниям грунта, естественному  $W$  и на границе раскатывания  $W_p$ , к числу пластичности  $I_p$ ,

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p}, \text{ д. ед} \quad (1.16)$$

Показатель текучести  $I_L$  используется для численной оценки консистенции грунта. Поэтому нередко его еще называют и показателем консистенции.

## 7. КЛАССИФИКАЦИЯ И НОРМИРОВАНИЕ ГРУНТОВ

Для оценки строительных свойств грунтов производится их классификация по ГОСТ 25100-2011 и нормирование по СП 22.13330.2011.

Для песчаных грунтов определяются:

1. Разновидность по гранулометрическому составу;
2. Разновидность по плотности сложения (по  $e$ );
3. Разновидность по степени водонасыщения (по  $S_r$ ) (табл. Б.10, Б.17 и Б.18 ГОСТ 25100-2011)

Для глинистых грунтов определяются:

1. Разновидность по показателю пластичности  $I_p$ ;
2. Разновидность по гранулометрическому составу и числу пластичности  $I_p$ ;
3. Разновидность по показателю текучести  $I_L$ ;

Гранулометрический состав грунтов сообщает преподаватель.

На основании физических характеристик и классификации грунтов производится косвенное определение модуля деформации  $E$  и расчетного сопротивления  $R_0$  основания (по Прил.1 и 3 СП 22.13330.2011). Эти параметры используют для предварительных расчетов при определении размеров фундаментов, а в некоторых случаях, специально оговоренных в п.2.16, 2.42, 3.10,8.4 и 11.5 СП 22.13330.2011, и для назначения окончательных размеров фундаментов.

Результаты классификации и нормирования сводятся в таблицы:

Вид грунта	Разновидность песка			Расчетное сопротивление $R_0, кПа$	Модуль деформации $E, МПа$
	По гранулометрическому составу	По коэффициенту водонасыщения $S_r$	По коэффициенту пористости $e$		
Песок					

Вид грунта	Разновидность глинистого грунта			Коэфф. пористости $e$	Расчетное сопротивление $R_0, кПа$	Модуль деформации $E, МПа$
	По показателю пластичности $I_p$	По грансоставу и показателю пластичности $I_p$	По показателю текучести $I_L$			
Глинистый						

Кроме того, необходимо по табл. Б.27 ГОСТ 25100-2011 определить относительную деформацию пучения  $\mathcal{E}_{fh}$  и оценить разновидность песка и глинистого грунта по пучинистости при промерзании.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ. МЕТОД КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ

Цель работы – ознакомление с методикой основного лабораторного способа оценки сжимаемости грунтов и использование найденных характеристик для расчета осадки основания.

Задачи работы:

1. Испытание грунта на сжимаемость в компрессионном приборе;
2. Определение характеристик сжимаемости;
3. Расчет стабилизированной осадки слоя грунта.

Сжимаемостью грунтов называется их способность уменьшаться в объеме под действием внешней нагрузки. Как правило, считается, что сжимаемость обусловлена уменьшением пористости, а частички скелетной части грунта и вода в порах несжимаемы. Разумеется, это положение не относится к частицам органического происхождения.

Сжимаемость грунтов при испытании компрессионным методом характеризуется компрессионной кривой, выражающей зависимость изменения коэффициента пористости от давления, передаваемого на грунт.

Метод компрессионного сжатия используют для определения следующих характеристик деформируемости: коэффициента сжимаемости  $m_0$ , модуля деформации  $E$ , структурной прочности на сжатие  $P_{str}$ . Эти характеристики определяют по результатам испытания образцов грунта в компрессионных приборах (одометрах), исключающих возможность бокового расширения образца грунта при его нагружении вертикальной нагрузкой.

Характеристики сжимаемости (деформативности) необходимы для расчета осадок оснований и земляных сооружений.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЖИМАЕМОСТИ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ КПР-1 ГИДРОПРОЕКТА**

### **1. ОПИСАНИЕ ПРИБОРА И ОБОРУДОВАНИЯ**

В состав установки для испытания входят компрессионно-фильтрационный прибор (одометр) (рис.2.1.) и рычажный пресс секторного типа (рис.2.2.).

Основой прибора служит база 1, с верхней стороны которой выточено углубление, в котором уложено перфорированное дно 2. Вода через отверстия в дне 2 отводится или подводится к образцу грунта через штуцер 3.

Кольцо-обойма 4 ввинчивается в базу 1 и является направляющим для зажимного кольца 5, в котором находится образец грунта. С одного конца зажимное кольцо 5 заточено в виде ножа.

Стяжное кольцо 6 ввинчивается в кольцо-обойму 4 и прижимает кольцо 5 с грунтом к днищу 2. На образец устанавливается штамп 7, который имеет возможность вертикального перемещения в направляющем зажимном кольце 6. Внутренняя поверхность кольца 4 должна быть смазана машинным маслом.

Система измерения вертикальных перемещений штампа 7 включает консольный держатель 8, на котором закрепляется индикатор перемещений часового типа 9 с ценой деления 0,01 мм.

Рычажный пресс секторного типа включает загрузочную рамку 10, соединенную с тяговым тросом 11 посредством натяжного винта 12 с гайкой 13. К сектору 14 прикрепляется грузовой трос 15 с подвеской 16. Секторный рычаг уравнивается противовесом 17.

Рычажная система увеличивает вертикальную нагрузку от веса гирь 18 в 10 раз.

Кроме того, необходимо иметь: нож с прямым лезвием, фильтровальную бумагу, ветошь.

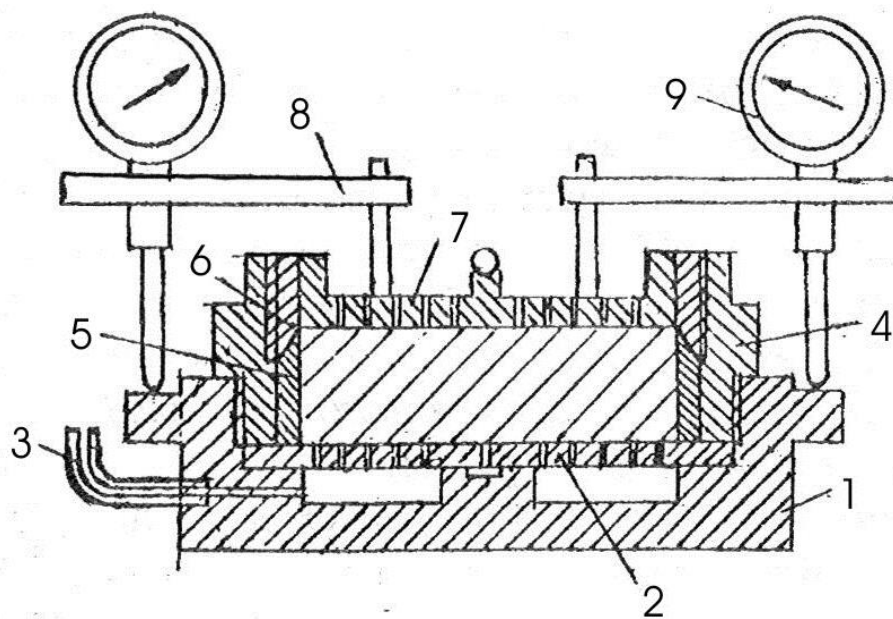


Рис. 2.1. Компрессионно-фильтрационный прибор (одометр) конструкции Гидропроекта.

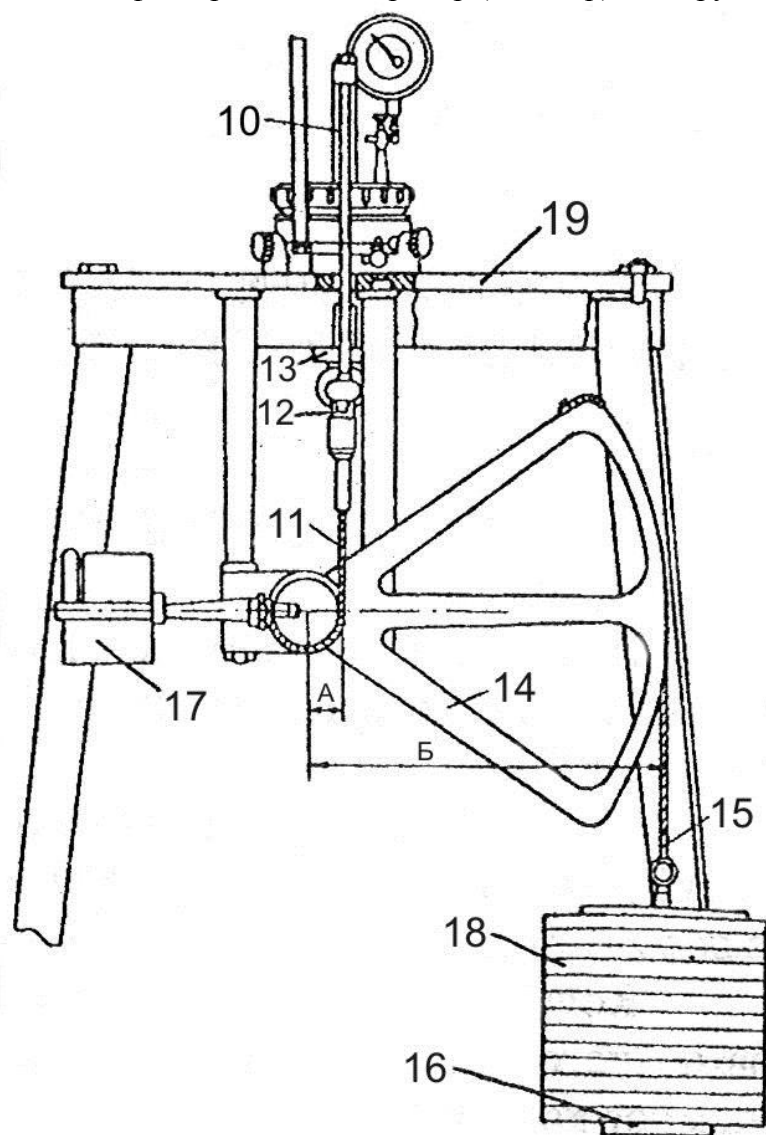


Рис.2.2. Схема установки испытания

## 2. ПОРЯДОК РАБОТЫ

### 2.1. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЮ

Работа проводится с заранее подготовленным глинистым грунтом пластичной консистенции нарушенной структуры.

2.1.1. Кольцо 5 ставится острым краем на образец грунта и легким нажимом постепенно врезается в грунт. Лишний грунт вокруг кольца 5 удаляется ножом. Верхний и нижний торцы образца очень тщательно выравниваются ножом вровень с краями кольца. После этого кольцо 5 с внешней стороны тщательно очищается, протирается ветошью и смазывается. На торцы образца укладываются кружки фильтрованной бумаги, смоченные водой.

2.1.2. Кольцо 5 с образцом устанавливается острым краем вверх на днище 2 одометра.

2.1.3. На кольцо 5 одевается кольцо-обойма 4, строго соблюдая соосность и исключая перекосы. Силу не применять! Кольцо-обойма 4 ввинчивается в базу 1 до упора.

2.1.4. В верхнюю часть кольца-обоймы 4 ввинчивается стяжное кольцо 6, обращенное острым краем вниз. Оно должно прижать кольцо 5 с грунтом к днищу 2.

2.1.5. Сверху на образец устанавливается штамп 7.

2.1.6. На штамп 7 устанавливают консольные держатели 8 с индикаторами 9.

2.1.7. Смонтированный одометр ставится на панель стола 19 пресса так, чтобы углубление в дне одометра попало на штифт, выступающий из панели стола 19.

2.1.8. В гнездо штампа 7 укладывается шарик.

2.1.9. Упор загрузочной рамки 10, передающий вертикальное усилие, опускается так, чтобы верхняя половина шарика заняла место в углублении упора рамки 10.

2.1.10. Вращением гайки 13 выпрямляется тяговый трос 11. При этом сектор 14 должен занять горизонтальное положение.

2.1.11. Поворотом шкалы индикаторов устанавливают начальный нулевой отсчет стрелок приборов.

### 2.2. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Вертикальная нагрузка на образец создается с помощью гирь, устанавливаемых на подвес 16. Гири необходимо ставить очень плавно, без ударов.

Испытание ведется при ступенчато-возрастающей и одноциклической нагрузке. Каждая ступень нагрузки выдерживается до тех пор, пока не наступит условная стабилизация деформации грунта.

По ГОСТу 12248-2010 за критерий условной стабилизации деформаций принимают скорость деформации, не превышающую 0,01 мм за последние 4 часа наблюдений для песков, 16 часов – для глинистых грунтов и 24 часа – для

биогенных грунтов. Учебный опыт производится ускоренно: каждая ступень нагрузки выдерживается 7 минут. Испытание производится при трех ступенях давления:  $P_1 = 50$  кПа;  $P_2 = 100$  кПа;  $P_3 = 200$  кПа.

2.2.1. Загрузить подвеску 16 гирей 3 кг ( $P_1=50$  кПа) и взять нулевой отсчет времени.

2.2.2. Записать в журнал испытаний отсчеты по индикаторам 9 через 1,3,5,7 минут с момента приложения ступени.

2.2.3. Аналогично произвести испытания при  $P_2 = 100$  кПа (масса гирь 6 кг) и  $P_3=200$  кПа (масса гирь 12 кг).

2.2.4. Произвести постепенную разгрузку по ступеням в течение 6 минут (2 минуты на ступень разгрузки) и записать показания индикаторов 9 в журнал.

2.2.5. Произвести разборку прибора в следующей последовательности:

1. Открутить гайку 13 и натяжной винт 12.
2. Снять индикатор 9
3. Снять упор загрузочной рамки 10
4. Разобрать одомер, промыть и протереть ветошью.

### 2.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ.

Результаты испытаний заносятся в журнал:

Журнал испытания грунта методом компрессионного сжатия:

Дата испытаний	№ ступени нагрузки	Время снятия отсчета по индикатору от начала опыта, мин	Масса груза на подвеске рычага, кг.	Давление на образец грунта $P, МПа$	Показание индикатора деформации образца, $S, мм$		Относительная деформация образца $\varepsilon_i = \frac{S_i}{h}$	Коэфф. пористости грунта $e_i = e_0 - \varepsilon_i(1 + e_0)$
					лев	прав		

2.3.1. По результатам испытания для каждой ступени нагружения вычисляют:

а) относительную стабилизированную вертикальную деформацию образца  $\varepsilon_i$ , за которую принимают деформацию при выдерживании ступени нагрузки в течение 7 минут

$$\varepsilon_i = \frac{S_i}{h} \quad (2.1)$$

где  $S_i$  – вертикальная деформация образца к моменту завершения выдержки очередной ступени нагрузки;  $h$  – начальная высота образца, равная 25 мм.

б) значение коэффициентов пористости  $e_i$  грунта при давлении  $P_i$  в момент окончания выдержки очередной ступени нагрузки, вычисляемые по формуле:

$$e_i = e_0 - \varepsilon_i(1 + e_0)$$



где  $e_0$  – начальный коэффициент пористости грунта при нулевом давлении (задается преподавателем).

2.3.2. По вычисленным значениям  $e_i$  строят график компрессионной зависимости  $e_i = f(P_i)$

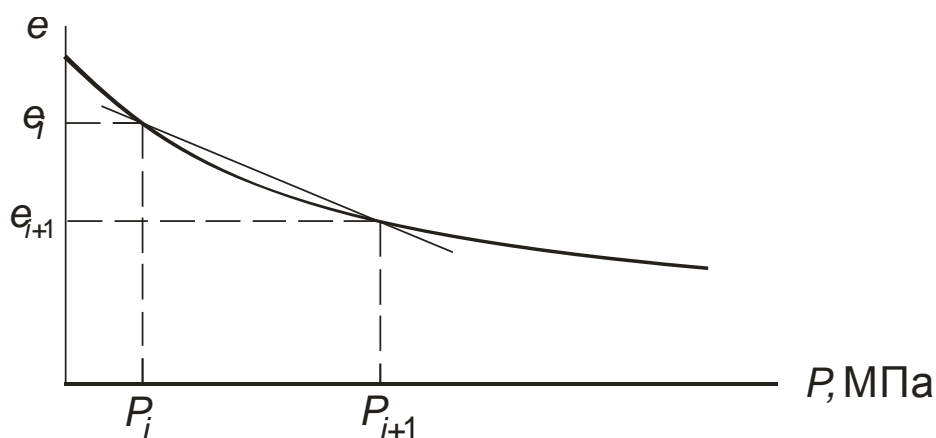


Рис.2.3 График компрессионной зависимости при статическом нагружении

2.3.3. По графику определяют коэффициент сжимаемости  $m_0$ , равный тангенсу угла наклона компрессионной кривой, выровненной в интервале давлений  $P_i$  и  $P_{i+1}$

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i}, \text{ МПа}^{-1} \quad (2.2)$$

где  $e_i$  и  $e_{i+1}$  – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям  $P_i$  и  $P_{i+1}$ .

2.3.4. Модуль деформации  $E_k$ , МПа в интервале давлений  $P_i$  и  $P_{i+1}$  вычисляют по формулам:

$$E_k = \frac{P_{i+1} - P_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \beta \quad \text{или} \quad E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta \quad (2.3)$$

где  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_{i+1}$  – значения деформаций относительного сжатия, соответствующие давлениям  $P_i$  и  $P_{i+1}$ ;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе, вычисляемый по формуле

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu} \quad (2.4)$$

где  $\nu$  – коэффициент поперечной деформации, принимаемый равным: 0,3–0,35 – для песков и супесей; 0,35–0,37 – для суглинков; 0,2–0,3 – при  $I_L < 0$ , 0,3–0,38 при  $0 \leq I_L \leq 0,25$ ; 0,38–0,45 при  $0,25 < I_L \leq 1,0$  – для глин. При этом меньшие значения  $\nu$  принимают при большей плотности грунта.

Модули деформации пылевато-глинистых грунтов, определенные при компрессионных испытаниях, не считаются вполне достоверными. Поэтому они должны корректироваться. Для зданий I и II класса корректировка должна производиться путем параллельно проводимых сопоставительных испытаний штампами, зондированием, либо прессиометрами. Для зданий III класса допускается производить расчет осадок по результатам компрессионных испы-

таний глинистых грунтов с показателем текучести  $0,5 < I_L \leq 1$  с использованием корректировочной формулы:

$$E = m_k E_k \quad (2.5)$$

где  $E_k$  – модуль деформации, определенный по компрессионным испытаниям в интервале давлений 0,1 – 0,2 МПа;  $m_k$  – корректировочный коэффициент, определенный на основе массовых сопоставительных испытаний грунтов в компрессионных приборах и штампами в полевых условиях:

Вид грунта	Значение коэффициентов $m_k$ при коэффициенте пористости $e_0$ , равном						
	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супеси	4	4	3,5	3	2	-	-
Суглинки	5	5	4,5	4	3	2,5	2
Глины	-	-	6	6	5,5	5	4,5

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЖИМАЕМОСТИ ГРУНТОВ ПРИ ПОВТОРНОМ ЗАГРУЖЕНИИ

(для студентов направления подготовки 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений, Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений»)

#### ПОРЯДОК РАБОТЫ

##### 3.1. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЮ

Работа проводится с заранее подготовленным глинистым грунтом пластичной консистенции нарушенной структуры.

3.1.1. Кольцо 5 ставится острым краем на образец грунта и легким нажимом постепенно врезается в грунт. Лишний грунт вокруг кольца 5 удаляется ножом. Верхний и нижний торцы образца очень тщательно выравниваются ножом вровень с краями кольца. После этого кольцо 5 с внешней стороны тщательно очищается, протирается ветошью и смазывается. На торцы образца укладываются кружки фильтрованной бумаги, смоченные водой.

3.1.2. Кольцо 5 с образцом устанавливается острым краем вверх на днище 2 одометра.

3.1.3. На кольцо 5 одевается кольцо-обойма 4, строго соблюдая соосность и исключая перекосы. Силу не применять! Кольцо-обойма 4 ввинчивается в базу 1 до упора.

3.1.4. В верхнюю часть кольца-обоймы 4 ввинчивается стяжное кольцо 6, обращенное острым краем вниз. Оно должно прижать кольцо 5 с грунтом к днищу 2.

3.1.5. Сверху на образец устанавливается штамп 7.

3.1.6. На штамп 7 устанавливают консольные держатели 8 с индикаторами 9.

3.1.7. Смонтированный одометр ставится на панель стола 19 пресса так, чтобы углубление в дне одометра попало на штифт, выступающий из панели стола 19.

3.1.8. В гнездо штампа 7 укладывается шарик.

3.1.9. Упор загрузочной рамки 10, передающий вертикальное усилие, опускается так, чтобы верхняя половина шарика заняла место в углублении упора рамки 10.

3.1.10. Вращением гайки 13 выпрямляется тяговый трос 11. При этом сектор 14 должен занять горизонтальное положение.

3.1.11. Поворотом шкалы индикаторов устанавливают начальный нулевой отсчет стрелок приборов.

### 3.2. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Вертикальная нагрузка на образец создается с помощью гирь, устанавливаемых на подвес 16. Гири необходимо ставить очень плавно, без ударов.

Испытание ведется при ступенчато-возрастающей и одноциклической нагрузке. Каждая ступень нагрузки выдерживается до тех пор, пока не наступит условная стабилизация деформации грунта.

По ГОСТу 12248-2010 за критерий условной стабилизации деформаций принимают скорость деформации, не превышающую 0,01 мм за последние 4 часа наблюдений для песков, 16 часов – для глинистых грунтов и 24 часа – для биогенных грунтов. Учебный опыт производится ускоренно: каждая ступень нагрузки выдерживается 7 минут. Испытание производится при трех ступенях давления:  $P_1 = 50$  кПа;  $P_2 = 100$  кПа;  $P_3 = 200$  кПа.

3.2.1. Загрузить подвеску 16 гирей 3 кг ( $P_1=50$  кПа) и взять нулевой отсчет времени.

3.2.2. Записать в журнал испытаний отсчеты по индикаторам 9 через 1,3,5,7 минут с момента приложения ступени.

3.2.3. Аналогично произвести испытания при  $P_2 = 100$  кПа (масса гирь 6 кг) и  $P_3=200$  кПа (масса гирь 12 кг).

3.2.4. Выполнить повторное загрузку путем разгрузки с  $P_3=200$  кПа(масса гирь 12 кг) до давления  $P_2 = 100$  кПа (масса гирь 6 кг), затем снова загрузить до ступени 3 с  $P_3=200$  кПа(масса гирь 12 кг)

3.2.5. Произвести постепенную разгрузку по ступеням.

3.2.6. Произвести разборку прибора в следующей последовательности:

5. Открутить гайку 13 и натяжной винт 12.

6. Снять индикатор 9

7. Снять упор загрузочной рамки 10

Разобрать одометр, промыть и протереть ветошью.

По вычисленным значениям  $e_i$  строят график компрессионной зависимости  $e_i = f(P_i)$

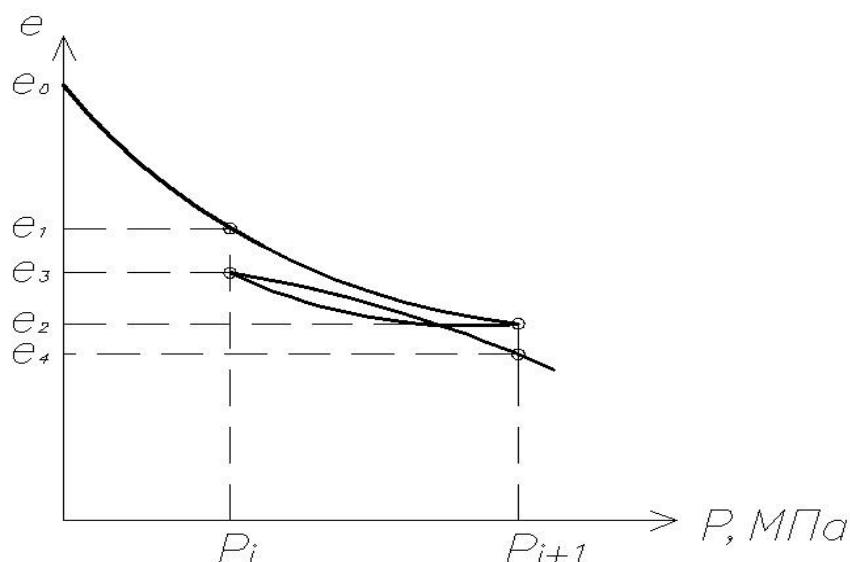
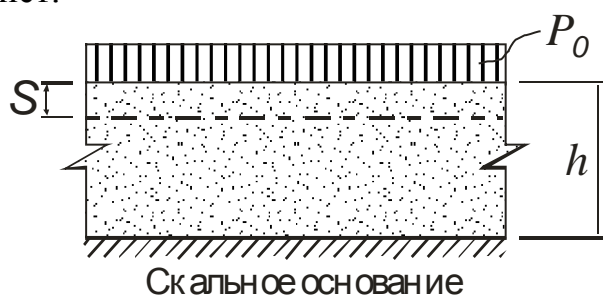


Рис.2.4 График компрессионной зависимости при повторном нагружении

3.2.7. Вычисление коэффициента сжимаемости  $m_0$  и модуля деформации  $E$  с учетом повторного нагружения производится аналогично по формулам 2.2 – 2.5 (п. 2.3.3 – 2.3.4).

#### 4. ЗАДАЧА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНЕЧНОЙ СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ОСАДКИ СЛОЯ ГРУНТА ПРИ СПЛОШНОЙ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКЕ

Такая задача является одномерной, так как деформации возникают только в вертикальном направлении. Горизонтальных деформаций, как и в компрессионном приборе, нет.



Для определения осадки слоя используют результаты компрессионных испытаний. При расчете принимают, что давление на грунт изменяется от начального природного, рассчитанного для середины слоя, до конечного.

В качестве конечного давления принимают сумму среднего природного давления и дополнительного.

Конечная стабилизированная осадка слоя вычисляется по формуле:

$$S = \frac{P_0 h \beta}{E} \quad (2.6)$$

Исходные данные: мощность слоя  $h = 10$  м, дополнительное давление  $P_0 = 0,2$  МПа. Плотность грунта задает преподаватель.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРУНТОВ СДВИГУ

Цель работы – ознакомление с методом одноплоскостного среза и применение параметров прочности при расчете устойчивости подпорной стенки.

Задачи работы: 1) проведение испытания на прямой срез; 2) определение прочностных характеристик грунта; 3) решение задачи с применением прочностных характеристик.

Сопротивление сдвигу характеризует прочность грунтов. В настоящее время считается, что разрушение грунта происходит в тот момент, когда величина касательных напряжений на поверхности разрушения достигает своего предельного значения, равного сопротивлению грунта сдвигу

$$\tau_{пр} = P \operatorname{tg} \varphi + C \quad (3.1)$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта;  $C$  – удельное сцепление;  $P$  и  $\tau_{пр}$  – нормальные и касательные напряжения, соответственно, действующие на поверхность разрушения.

Цель испытания грунтов на прочность – определить значения  $\tau_{пр}$ , соответствующие различным значениям  $P$ , выписать систему уравнений (как минимум двух) (3.1), и найти из решения системы два неизвестных – параметры прочности  $\varphi$  и  $C$ .

Параметры прочности могут быть найдены с помощью разных приборов, например, трехосного сжатия, одноосного сжатия с фиксированной плоскостью разрушения, кручения, вращательного сдвига. Однако наиболее простое и наглядное испытание производят на приборах прямого сдвига, которые по ГОСТ 12248-2010 называют приборами одноплоскостного среза.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ МЕТОДОМ ОДНОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА

#### 1. СУЩНОСТЬ МЕТОДА

1.1. Образцы грунта испытывают в одноплоскостных срезных приборах с фиксированной плоскостью среза путем сдвига одной части образца относительно другой. Сдвиг производят возрастающей касательной (горизонтальной) нагрузкой при одновременном воздействии на образец постоянной нагрузки, нормальной к плоскости среза.

1.2. Сопротивление срезу определяют как предельное касательное напряжение, при котором образец грунта срезается по фиксированной плоскости при заданном напряжении  $P$ .

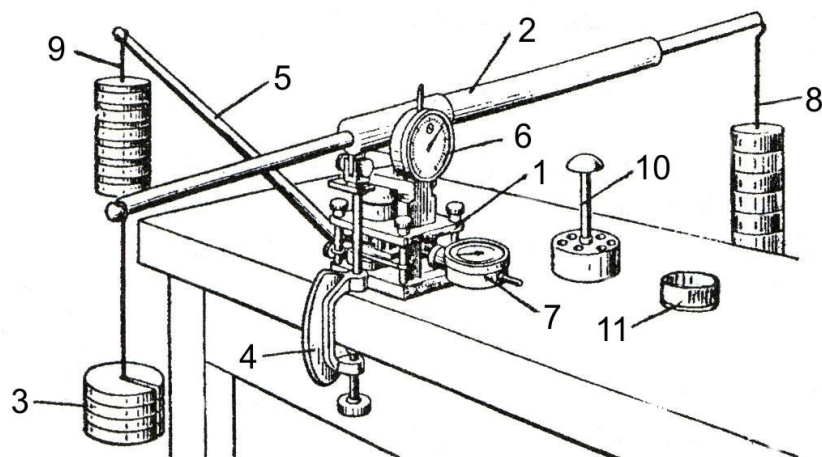


Рис.3.1 Общий вид прибора П10-С для испытания грунтов на сдвиг.

1 – основная часть прибора; 2 – рычажная система для вертикальной нагрузки с подвесками для грузов; 3 – противовес рычажной системы 2; 4 – струбцина для крепления прибора и рычажной системы 2; 5 – рычаг для горизонтальной нагрузки с подвеской и грузами; 6 – индикатор вертикальных перемещений поршня; 7 – индикатор горизонтальных перемещений нижней каретки; 8 – грузовой подвес вертикальной нагрузки; 9 – грузовой подвес горизонтальной нагрузки; 10 приспособление для перемещения образца грунта из гильзы в прибор; 11 – грунтоотборная гильза

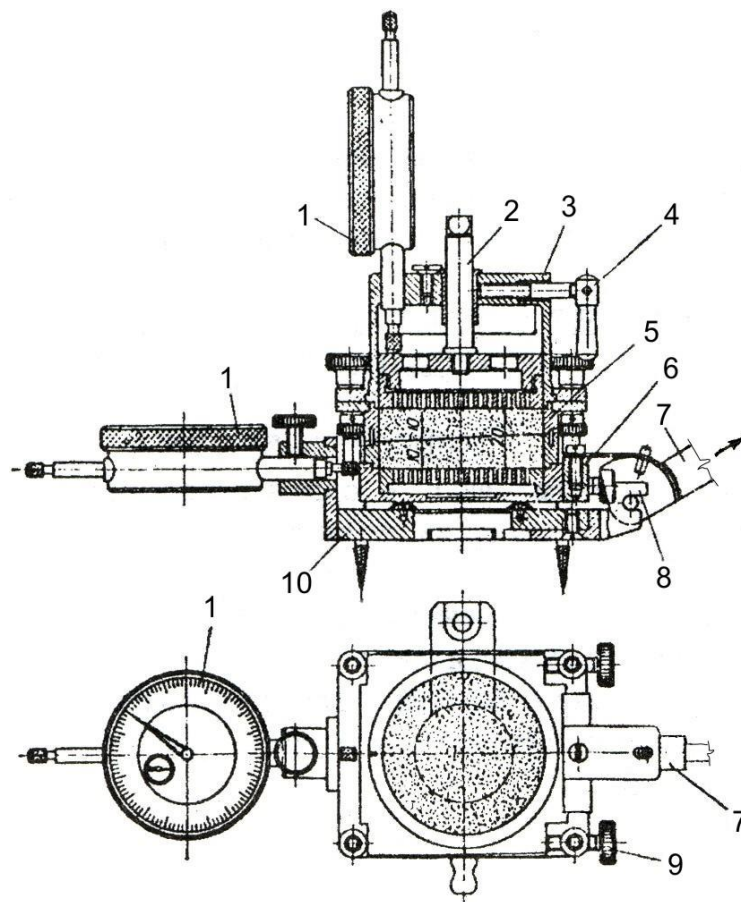


Рис.3.2 Разрез по основной части прибора:

1 – индикатор; 2 – шток с поршнем; 3 – цилиндр; 4 – винт тормозной; 5 – разрезная гильза; 6 – каретка; 7 – рычаг; 8 – держатель рычага; 9 – винт упорный; 10 – основание прибора.

## 2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

Испытание производится на приборе П 10-С (рис.3.1 и 3.2).

В состав прибора входят (рис.3.2):

- Срезная коробка, состоящая из разрезной гильзы 5, имеющей верхнюю неподвижную и нижнюю подвижную часть; внутренний диаметр гильзы 56.5 мм, площадь сечения 25 см<sup>2</sup>, высота 20 мм.
- Подвижная каретка 6, на которую устанавливается нижняя часть разрезной гильзы 5.
- Перфорированный поршень со штоком 2 .
- Два индикатора 1 для измерения вертикальных и горизонтальных перемещений с ценой деления 0.01 мм.

Механизм для вертикального нагружения образца грунта (рис.3.1) состоит из рычажной системы, включающей телескопический рычаг 2 с подвесками для грузов 8 и противовеса 3.

Механизм для горизонтального нагружения (создания касательной нагрузки) (рис.3.1) состоит из рычага 5 с подвеской для грузов 9.

Рычажные системы дают 25 – кратное увеличение нагрузки.

Противовес 3(рис.3.1) служит для предварительного уравнивания веса рычажной системы вертикальной нагрузки. До загрузки подвеса 8 давление на шток поршня 2 (рис. 3.2) должно быть равно 0.

Кроме того, в комплект оборудования должны входить: 1 – грунтоотборная гильза 11 (рис.3.1); 2 – приспособление 10 для перемещения образца грунта из гильзы 11 в прибор (рис.3.1); 3 – лопатка; 4 – пестик для уплотнения грунта в гильзе; 5 – нож с прямым лезвием; 6 – фильтровальная бумага.

## 3. ПОРЯДОК РАБОТЫ

### 3.1. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЮ

Работа проводится с песчаным влажным грунтом нарушенного сложения. Плотность образцов принимается одинаковой во всех опытах.

3.1.1. Устанавливается прибор на край стола. При помощи струбцины 4 (рис.3.1) основание прибора 10 (рис.3.2) надежно прикрепляют к столу.

3.1.2. С верхней части прибора снимают направляющий цилиндр 3 с траверсой и поршнем 2 (рис.3.2).

3.1.3. Горизонтальными упорными винтами 9 (рис.3.2), находящимися у основания прибора, завинчивая их до отказа, фиксируют неподвижность каретки 6.

3.1.4. В пазы каретки 6 укладывают нижнюю часть разрезной гильзы 5, а сверху соосно с ней устанавливают верхнюю часть разрезной гильзы 5.

3.1.5. На перфорированное днище прибора укладывают кружок фильтровальной бумаги, смоченной водой.

3.1.6. Образец грунта нарушенной структуры изготавливают в грунтоотборной гильзе 11 (рис.3.1). Для этого гильза ставится на лист бумаги, уложенный на гладкую поверхность стола, и заполняется влажным песчаным грунтом с трамбованием пестиком. Трамбование производится легкими ударами пестика при послойной укладке песка в гильзу. У торцов грунт тщательно выравнивается вровень с краями гильзы. Затем гильза с грунтом взвешивается. Вес гильзы с грунтом не регламентируется, однако во всех опытах должен быть постоянным.

Один из членов бригады определяет влажность грунта (см. лабораторную работу №1)

3.1.7. На режущую заостренную часть гильзы 11 надевают направляющий цилиндр приспособления 10 (рис.3.1) для перемещения образцов грунта и при помощи поршня-выталкивателя образец грунта перемещают в прибор. На верхний торец образца укладывают кружок смоченной фильтровальной бумаги.

3.1.8. Устанавливают на место верхнюю часть прибора с поршнем 2 (рис.3.2) и закрепляют ее с помощью четырех гаек.

3.1.9. Плотно прижимают к поверхности грунта поршень 2, и фиксируют его положение винтом 4 (рис.3.2).

3.1.10. В соответствующих гнездах закрепляют два индикатора 1 (рис.3.2): один для замера деформации сжатия, другой – деформации сдвига. Индикаторы закрепляют в таком положении, чтобы подвижные части ножек были вдвинуты на 70-80 % свободного хода.

3.1.11. Устанавливают телескопический рычаг 2 (рис.3.1) для вертикальной нагрузки, закрепляя его на струбине 4 (рис.3.1).

3.1.12. Устанавливают подвесы для груза и противовеса 3 и 8 (рис.3.1). Уравновешивают эту рычажную систему, используя гирию противовеса массой 0,5 кг.

3.1.13. Отпускают тормозной винт 4 поршня (рис.3.2).

3.1.14. Устанавливают рычаг для горизонтальной нагрузки 5 с подвеской (рис.3.1)

3.1.15. Поворотные шкалы индикаторов деформации 1 (рис.3.2) устанавливают на нулевые деления.

## 3.2.ПРОВЕДЕНИЕ КОНСОЛИДИРОВАННО-ДРЕНИРОВАННОГО ИСПЫТАНИЯ

Схема консолидировано – дренированного испытания применяется для определения прочностных характеристик грунта при его 100% консолидации под действием заданного нормального напряжения. Нагружение образца проводят плавно без ударов, загружая подвесы гирями. Стандартные гири имеют массу 0,1; 0,2 и 0,5 кг. Расчет напряжений, передаваемых на образец, производят из следующих соображений. Рычажные системы



вертикальной и горизонтальной нагрузок дают 25-кратное увеличение веса груза. Площадь среза равна  $25 \text{ см}^2$  или  $25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

Нормальная  $N$  и сдвигающая  $T$  силы, действующие на плоскость среза равны:

$$N = 25 \cdot Q_1 \cdot g, \text{ Н} \quad (3.2)$$

$$T = 25 \cdot Q_2 \cdot g, \text{ Н} \quad (3.3)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  – массы грузов на рычагах, создающих вертикальное и горизонтальное усилия, кг.

Нормальные и касательные напряжения вычисляются по формулам:

$$P = \frac{N}{A} = \frac{25 \cdot Q_1 \cdot g}{25 \cdot 10^{-4}}, \text{ Н / м}^2 = Q_1 \cdot g \cdot 10^{-2}, \text{ МПа} \quad (3.4)$$

$$\tau^* = \frac{T}{A} = \frac{25 \cdot Q_2 \cdot g}{25 \cdot 10^{-4}}, \text{ Н / м}^2 = Q_2 \cdot g \cdot 10^{-2}, \text{ МПа} \quad (3.5)$$

Рычаг горизонтальной нагрузки неуравновешен и его собственный вес создает дополнительное сдвигающее напряжение, равное 0,0108 МПа. Поэтому полная величина касательного напряжения равна:

$$\tau = \tau^* + 0,0108 \text{ МПа} \quad (3.6)$$

при расчетах допускается округление (например,  $P = 0,0981 \text{ МПа} = 0,1 \text{ МПа}$ )

В дальнейшем описании воспользуемся округленными значениями напряжений.

3.2.2. Определение сопротивления срезу производится не менее чем при трех различных значениях  $P$ . Рекомендуется выполнить три опыта на срез при вертикальных напряжениях:  $P_1 = 0,1$ ;  $P_2 = 0,2$ ;  $P_3 = 0,3 \text{ МПа}$ .

Для первого опыта при  $P = 0,1 \text{ МПа}$  необходимо поставить на подвес 8 (рис.3.1) гири массой 1 кг.

Вертикальную нагрузку выдерживают до условной стабилизации деформации сжатия. Для учебных опытов принимают, что деформация стабилизировалась, если деформация сжатия не превышает 0,1 мм за 1 минуту.

3.2.3. После условной стабилизации вертикальной деформации сжатия образца вывинчивают горизонтальные винты 9 (рис.3.2) на 5-6 мм для обеспечения возможности горизонтального перемещения каретки 6 (рис.3.2)

3.2.4. Горизонтальную нагрузку прикладывают ступенями. Для этого нагружают гирями подвес 9 (рис. 3.1). Гири для каждой ступени выбирают так, чтобы приращение касательных напряжений в плоскости среза не превышало 10 % значения нормального напряжения. Например, при  $P_1=0,1 \text{ МПа}$   $\Delta \tau$  должно быть не более 0,01 МПа, то есть масса очередной гири не должна превышать 0,1 кг. При  $P_2 = 0,2 \text{ МПа}$  масса очередной гири не должна превышать 0,2 кг, при  $P_3 = 0,3 \text{ МПа}$  – 0,3 кг. При достижении 0,6 – 0,7 от ожидаемой величины предельной нагрузки среза ступени нагружения уменьшают в 2-3 раза.

Каждую ступень горизонтальной нагрузки выдерживают до условной стабилизации деформации сдвига. За условную стабилизацию принимают скорость деформации, не превышающую 0,01 мм/мин.

Показания индикатора горизонтальных деформаций при каждой ступени нагружения записывают в журнал испытаний.

3.2.5. Испытание считают законченным, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит мгновенный срез (срыв) одной части образца по отношению к другой или общая деформация сдвига превышает 5 мм. При срыве в журнале испытаний вместо величины деформации сдвига пишут слово «срез».

3.2.6. После среза прибор перезаряжают, приготовив образец грунта такой же плотности, как и первый. Второй опыт проводят при  $P_2 = 0,2$  МПа, а третий при  $P_3 = 0,3$  МПа.

3.2.7. На основании проведенных испытаний сразу же строят график сдвига (см. ниже). Если какая-либо точка графика весьма существенно отклоняется от положения осредняющей прямой, это испытание делают вновь.

3.2.8. После окончания испытаний необходимо разобрать прибор и тщательно очистить от грунта.

#### Журнал испытаний на срез

Дата испытаний	Давление на образец грунта. $P_i$ , МПа	Масса груза на подвесе рычага сдвигающей нагрузки, $Q_{2i}$ , кг	Сдвигающее касательное напряжение $\tau_i = Q_{2i} g 10^{-2}$ $+0,0108$ ; МПа	Показание индикатора деформации сдвига $\Delta l$ , мм	Абсолютная деформация грунта в момент среза $\Delta l_{пр}$ , мм

### 3.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

3.3.1. По измеренным в процессе испытания значениям сдвигающей и нормальной нагрузки по формулам (3.4) и (3.6) вычисляют касательные и нормальные напряжения  $\tau_i$  и  $P_i$  и заносят в журнал испытаний.

3.3.2. По измеренным в процессе испытания значениям деформаций сдвига, соответствующим возрастающим касательным напряжениям, строят графики зависимостей  $\Delta l = f(\tau)$  (см. рис.3.3) для каждого из трех испытаний.

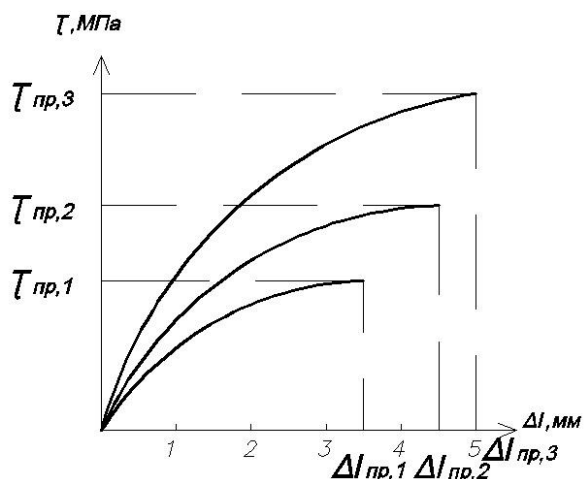


Рис.3.3 График  $\Delta l = f(\tau)$

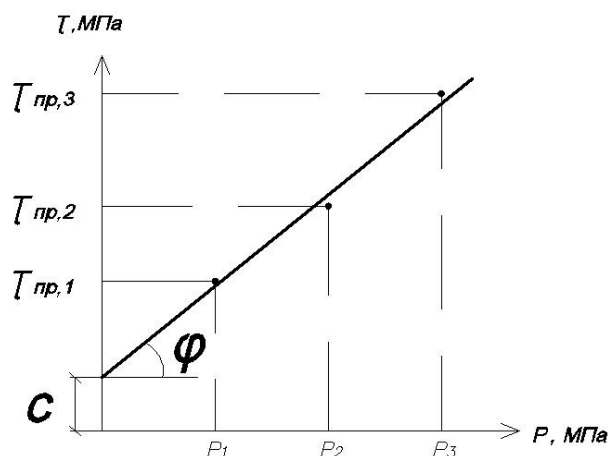


Рис.3.4 График сдвига  $\tau_{пр} = f(P)$

3.3.3. При построении графика сдвига  $\tau_{пр} = f(P)$  значения  $\tau$  и  $P$  откладываются в одном и том же масштабе: 0,1 МПа – 2 см. По полученным точкам проводится осредненная прямая, которая и называется графиком сдвига.

Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $C$  определяют как параметры линейной зависимости (3.1.). Угол  $\varphi$  определяется по значению тангенса угла наклона прямой графика сдвига к оси абсцисс;  $C$  определяется величиной отрезка, отсекаемого прямой на оси ординат.

Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $C$  вычисляют по формулам:

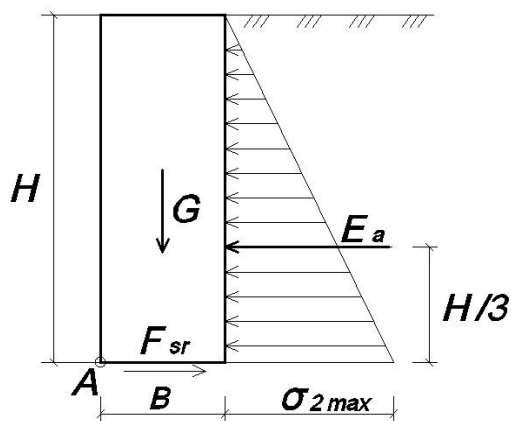
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \sum \tau_i P_i - \sum \tau_i \sum P_i}{n \sum (P_i)^2 - (\sum P_i)^2}; \quad (3.7)$$

$$C = \frac{\sum \tau_i \sum (P_i)^2 - \sum P_i \sum \tau_i P_i}{n \sum (P_i)^2 - (\sum P_i)^2}; \quad (3.8)$$

где  $n$  – число испытаний;  $\tau_i = \tau_{пр,i}$  – опытные значения сопротивления срезам, определенные при различных значениях  $P_i$ .

#### 4. ЗАДАЧА. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ НА СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ

Устойчивость подпорной стенки проверяется на сдвиг по подошве (плоский сдвиг) и опрокидывание относительно наружной грани от давления грунта. На рисунке приведена схема и исходные данные к расчету.



Дано:  $H = 3$  м;  $b = 1$  м. Грунт засыпки – песок. Угол внутреннего трения песка  $\varphi$  принимается по результатам лабораторной работы. Значением удельного сцепления  $C$  для песчаного грунта можно пренебречь, что идет в запас прочности. Удельный вес грунта засыпки принимается по результатам лабораторной работы.

Последовательность расчета.

1. Подсчитать собственный вес 1 п.м. подпорной стенки  $G$ , приняв удельный вес материала  $\gamma_m = 23$  кН/м<sup>3</sup>.

2. Определить величину удерживающего момента при ее опрокидывании относительно точки А:

$$M_{уд} = G \frac{b}{2}, \text{ кНм} \quad (3.9)$$

3. Найти опрокидывающий момент от воздействия активного давления грунта засыпки:

$$M_{опр} = E_a \frac{H}{3}, \text{ кНм} \quad (3.10)$$

где  $E_a$  – активное давление грунта засыпки, определяемое как равнодействующая эпюры горизонтального давления  $\sigma_2$

$$E_a = \sigma_{2max} \frac{H \cdot l}{2}, \text{ кН} \quad (3.11)$$

где  $l$  – длина участка подпорной стенки, равная 1 м;

$$\sigma_{2max} = \gamma H \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ кН/м}^2 \quad (3.12)$$

где  $\gamma$  – удельный вес грунта засыпки, кН/м<sup>3</sup>.

4. Подпорная стенка считается устойчивой на опрокидывание, если выполняется условие:

$$\eta = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} \geq 1,2 \quad (3.13)$$

где  $\eta$  – коэффициент устойчивости.

5. Подпорная стенка считается устойчивой против плоского сдвига, если выполняется условие:

$$F_{sa} < \frac{\gamma_c F_{sr}}{\gamma_n} \quad (3.14)$$

где  $F_{sa}$  – сдвигающая сила, равная  $1,2 E_a$ ;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы основания, равный 1 для скального грунта;  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по

назначению сооружения (принять 1.1);  $F_{sr}$  – удерживающая сила, принимаемая равной силе трения подошвы по основанию

$$F_{sr} = Gf \quad (3.15)$$

где  $f$  - коэффициент трения подошвы по скальному грунту (принять  $f=0,65$ ).

6. Сделать заключение по результатам расчета.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ГРУНТОВ

Цель работы: оценка водопроницаемости песчаного грунта и использование коэффициента фильтрации при прогнозе скорости стабилизации осадки основания.

Задачи работы: 1) Ознакомление с методикой определения коэффициента фильтрации на приборе КФ–00М; 2) решение задачи с применением коэффициента фильтрации.

При ламинарном характере течения воды через грунт справедлив закон Дарси

$$V = KI, \quad (4.1)$$

где  $V$  – скорость фильтрации, равна расходу воды, отнесенному к поперечному сечению фильтрующего грунта, за единицу времени;  $I$  – градиент напора, равный отношению напора к длине пути фильтрации.

Коэффициентом фильтрации  $K$  называют скорость фильтрации воды при градиенте напора, равном единице, и линейном законе фильтрации.

Коэффициент фильтрации песчаных грунтов определяют при постоянном заданном градиенте напора с пропуском воды сверху вниз или снизу вверх, при предварительном насыщении образца грунта водой снизу вверх. Для насыщения образцов грунта и фильтрации применяют грунтовую воду с места отбора образца или воду питьевого качества. Количество частных определений коэффициента фильтрации должно составлять не менее 6.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ В ПРИБОРЕ КФ–00М ПО ГОСТ 25584-2016

#### 1. ПРИБОР И ОБОРУДОВАНИЕ

В состав прибора КФ–00М, конструкция которого приведена на рисунке 4.1, входят: фильтрационная трубка 1, состоящая из прямого полого цилиндра внутреннем диаметром 56,5 мм (площадь поперечного сечения трубки  $25\text{см}^2$ ) и высотой 100 мм с заостренными краями, перфорированного дна 3 с отверстиями размером 2х2мм, надеваемого на нижнюю часть цилиндра 1, и муфты 2 с латунной сеткой 4, устанавливаемой на верхней части цилиндра; мерный стеклянный баллон (мариоттов сосуд) 9 объемом  $140\text{ см}^3$  и высотой 110мм со шкалой объема фильтрующейся жидкости; телескопическое приспособление для насыщения грунта водой и регулирования градиента напора, состоящее из подставки 5, подъемного винта 8, планки 10 со шкалой градиентов напора от 0 до 1 с ценой деления 0,02; корпус 6 с крышкой 7

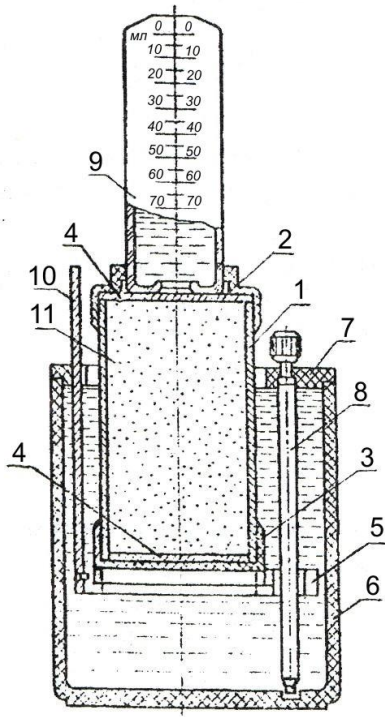


Рис. 4.1. Прибор КФ – 00М

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 жидкости; 10 – планка со шкалой градиентов напора; 11 – испытуемый образец грунта.

Кроме того, в комплект оборудования должны входить:

1. Весы лабораторные.
2. Термометр.
3. Секундомер.
4. Нож с прямым лезвием.
5. Лопатка.
6. Пестик с резиновым наконечником.
7. Колба с питьевой водой.
8. Пластины плоские с гладкой поверхностью (из стекла или металла)

## 2. ПОРЯДОК РАБОТЫ

### 2.1. Подготовка к испытанию

2.1.1. Из корпуса прибора извлекают фильтрационную трубку и разбирают ее.

2.1.2. Заполняют цилиндр испытываемым грунтом. Заполнение цилиндра грунтом в предельно рыхлом и предельно плотном состоянии выполняют в следующем порядке: цилиндр с дном и латунной сеткой взвешивают; для получения образца в предельно рыхлом состоянии цилиндр заполняют грунтом, насыпая его с высоты 5-10 см без уплотнения; в предельно плотном состоянии насыпают слоями толщиной 1-2 см с уплотнением каждого слоя трамбованием.

Заполнение цилиндра грунтом нарушенного сложения заданной преподавателем плотности так же производят слоями толщиной 1-2 см, при этом необходимую массу грунта вычисляют по формуле:

$$m = V\rho \quad (4.1)$$

где  $V$  – объем цилиндра ( $250 \text{ см}^3$ );  $\rho$  – заданная плотность,  $\text{г/см}^3$ .

Если грунт массой  $m$  не укладывается в цилиндр, то его уплотняют трамбованием. Коэффициент пористости грунта вычисляют по формуле:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + W) - 1$$

Влажность грунта  $W$  определяют по методике, изложенной в работе №1.

2.1.3. Зачищают поверхность образца вровень с краями цилиндра и взвешивают цилиндр с грунтом.

2.1.4. Определяют плотность грунта ( $\rho = m/V$ ).

При опытах с тонкозернистыми песками на дно трубки необходимо засыпать буферный слой песка из фракции 0,5-0,25 мм высотой в 2-3 мм. Если требуется определить коэффициент фильтрации грунта с ненарушенной структурой, то цилиндр следует задавить непосредственно в грунт.

## 2.2. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

2.2.1. После заполнения цилиндра грунтом в корпус (6) налить воды и вращением винта (8) поднять подставку (5) до совмещения отметки на планке (10) отметки напорного градиента  $I = 1$  с верхним краем крышки (7).

2.2.2. На подставку (5) установить фильтрационную трубку с испытываемым грунтом. Вращением винта (8) медленно погрузить фильтрационную трубку с грунтом в воду до отметки напорного градиента  $I = 0,8$ . В таком положении оставить прибор до момента появления влаги в верхнем торце цилиндра, о чем судят по изменившемуся цвету грунта

2.2.3. Поместить на грунт латунную сетку (4), одеть на трубку муфту (2) и вращением винта (8) опустить фильтрационную трубку в крайнее нижнее положение.

2.2.4. Заполнить мерный баллон (9) водой, предварительно измерив ее температуру, зажать отверстие большим пальцем и, быстро опрокинув, вставить в муфту (2) так, чтобы горлышко баллона соприкасалось с латунной сеткой.

Мерный баллон – мариоттов сосуд – приспособление, создающее постоянный напор воды. Когда сосуд перевернут отверстием вниз, вода из него будет вытекать только в том случае, если под вогнутую часть проникает наружный воздух. Если вода из-под вогнутой части расходуется на фильтрацию, то ее расход компенсируется из сосуда, при этом уровень воды во время испытания практически совпадает с поверхностью грунта. Этим обеспечивается постоянство напора при проведении испытания. Шкала на поверхности сосуда позволяет измерять расход воды. Мерный баллон автоматически поддерживает над грунтом постоянный уровень воды в 1-2 мм.

При нормальном ходе опыта в мерный баллон поднимаются мелкие пузырьки воздуха. Если в мерный баллон прорываются крупные пузырьки воздуха, то баллон следует опустить ниже на 1-2 мм и добиться того, чтобы в него равномерно поднимались мелкие пузырьки воздуха.



После этого установить планку (10) на градиент  $I = 0,6$  и долить воду в корпус (6) до верхнего края.

2.2.5. Отметить время, когда уровень воды достигнет деления шкалы мерного баллона, отмеченного цифрой 10 (или 20)  $\text{см}^3$ ; принимая это время за начало фильтрации воды. В дальнейшем фиксируют время, когда уровень воды достигнет соответственно делений: 20, 30, 40, 50 (или 20, 40, 60, 80)  $\text{см}^3$  или других кратных значений.

Производят четыре отсчета.

2.2.6. Опустив цилиндр с грунтом в крайнее положение, снять мерный баллон (9), заполнить его водой и вновь вставить в муфту (2).

2.2.7. Установить планку (10) на напорный градиент  $I = 0,8$  и долить воду в корпус 6 до верхнего края. Далее поступить согласно п.2.2.5. Так произвести определения для любого напорного градиента (всего 6 раз). Для  $I = 1$  телескопическим приспособлением можно не пользоваться, установив фильтрационную трубку на любую равную поверхность.

2.2.8. По окончании работы прибор КФ-00М разобрать, все детали промыть чистой водой и вытереть насухо.

## 2.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

2.3.1. Коэффициент фильтрации  $K_{10}$  м/сут, приведенный к условиям фильтрации при температуре  $10^{\circ}\text{C}$ , вычисляют по формуле:

$$K_{10} = \frac{864V_w}{t_m A T I} \quad (4.2)$$

где  $V_w$  – объем профильтровавшейся воды при одном замере,  $\text{см}^3$ ;

$t_m$  – средняя продолжительность фильтрации (по замерам при одинаковых расходах воды), с;  $A$  – площадь поперечного сечения цилиндра фильтрационной трубки,  $\text{см}^2$ ;  $I$  – градиент напора;  $T = (0,7 + 0,03 T_{\phi})$  – поправка для приведения значения коэффициента фильтрации к условиям фильтрации воды при температуре  $10^{\circ}\text{C}$ , где  $T_{\phi}$  – фактическая температура воды при испытании,  $^{\circ}\text{C}$ ; 864 – переводной коэффициент (из  $\text{см}^3/\text{с}$  в м/сут)

2.3.2. Полученные в ходе испытаний данные занести в журнал, форма которого приводится ниже:

Результаты определения коэффициента фильтрации песчаного грунта на приборе КФ – 00М

Дата испытания	№ испытания	Тип грунта	Сложение грунта	Влажность грунта в д.ед.	Масса, г		
					Цилиндра	Цилиндра с грунтом	Грунта

Продолжение

Плотность ,г/см <sup>3</sup>		Коэф- фициент пори- стости <i>e</i>	Гради- ент напора <i>I</i>	Объем профиль- тровав- шейся во- ды <i>V<sub>w</sub></i> , см <sup>3</sup>	Время фильтрации, с	
Грунта <i>ρ</i>	Сухого грунта <i>ρ<sub>d</sub></i>				Отдельные замеры	среднее

Продолжение

Температура воды <i>T<sub>ф</sub></i> , °С	Коэффициент фильтрации <i>K<sub>10</sub></i> , м/сут	Примечание

В таблицу записываются значения коэффициента фильтрации при  $I = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 0,9; 1,00$ .

Каждая бригада проводит испытания на фильтрацию грунта лишь одной заданной плотности сложения.

Плотность задается преподавателем.

2.3.3. После завершения экспериментов результаты всех бригад обобщаются в единой таблице

Сводная таблица коэффициентов фильтрации грунтов разной плотности сложения:

Плотность сложения песка <i>ρ<sub>d</sub></i> , г/см <sup>3</sup> и наименование по плотности сложения	<i>e</i>	Коэффициент фильтрации <i>K<sub>10</sub></i> , м/сут

Коэффициент фильтрации используется при расчетах скорости уплотнения грунтов под нагрузкой, определения притока воды к котлованам, дренажным и водозаборным устройствам, при расчетах фильтрационных потерь через земляные ограждающие сооружения, например, плотины и фильтрационные завесы.

### **3 ЗАДАЧА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВРЕМЕНИ ЗАТУХАНИЯ ОСАДКИ СЛОЯ ГРУНТА ПРИ УСЛОВИЯХ ОДНОМЕРНОЙ КОНСОЛИДАЦИИ**

Для водонасыщенного грунта время затухания осадки может быть определено на основе теории фильтрационной консолидации, по которой предла-

гается, что скорость протекания осадки зависит исключительно от скорости выжимания воды из пор грунта в результате его уплотнения под нагрузкой.

Время, необходимое для уплотнения слоя грунта может быть определено по формуле:

$$T = \frac{4h^2}{\pi^2 C_v} N \quad (4.3)$$

где  $h$  – мощность слоя грунта, м;  $N$  – постоянная, зависящая от степени консолидации и условий фильтрации;  $C_v$  – коэффициент консолидации, равный

$$C_v = \frac{K_\phi}{m_v \gamma} \quad (4.4)$$

где  $K_\phi$  – коэффициент фильтрации, м/сут;  $\gamma$  – удельный вес воды, кН/м<sup>3</sup>;  $m_v$  – коэффициент относительной сжимаемости, кПа<sup>-1</sup>, равный:

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_{cp}} \quad (4.5)$$

где  $e_{cp}$  – средний коэффициент пористости грунта при изменении давления на грунт от начального  $P_n$  до конечного  $P_k$  значения;  $m_0$  – коэффициент сжимаемости, кПа<sup>-1</sup>, равный:

$$m_0 = \frac{e_n - e_k}{P_k - P_n} \quad (4.6)$$

где  $e_n$  и  $e_k$  – начальный и конечный коэффициент пористости, соответственно;  $P_n$  и  $P_k$  – начальное и конечное давление на грунт, соответственно, кПа.

Исходные данные: значение  $K_\phi$  принимается как среднее значение при разных градиентах напора; мощность слоя песка 10м; начальное давление  $P_n=100$ кПа; конечное  $P_k = 300$  кПа; коэффициенты пористости  $e_n = 0,7$ ;  $e_k=0,65$ .

Необходимо определить время, необходимое для 90 % консолидации грунта ( $U = 0,9$ ). Степень консолидации равна  $U = \frac{S_t}{S_k}$ , где  $S_t$  – деформация за

время  $T$ ;  $S_k$  – полная стабилизированная осадка. При решении использовать соотношение: при  $U = 0,9$ ;  $N = 2,09$ .

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА СДВИГУ В ПРИБОРЕ ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цель работы: ознакомление с методом трехосного сжатия и проведение испытания грунта. Обработка результатов испытания и определение прочностных параметров грунта.

Основные термины и определения:

**Стабилометр** – прибор для испытания грунтов в условиях трехосного сжатия.

**Консолидация** – процесс уплотнения грунта, сопровождающийся отжатием воды из пор.

**Дренажное устройство** – процесс отведения воды из грунта.

**Схемы испытаний** на трехосное сжатие – неконсолидированно-недренированное (НН) – «быстрая схема», консолидированно-недренированное (КН) и консолидированно-дренированное (КД).

**Условная стабилизация деформаций** – падение скорости нарастания деформаций до некоторой заданной величины.

### 2. СХЕМА ПРИБОРА

Испытания цилиндрических образцов грунта проводится в условиях осесимметричной деформации, в рабочей камере, схема которой показана на рис. 1. Образец грунта имеет отношение высоты ( $H$ ) к диаметру ( $D$ ), как правило, не менее 2. Обычно диаметр образцов принимается равным 38 или 50 мм, значительно реже, диаметром 100 мм.

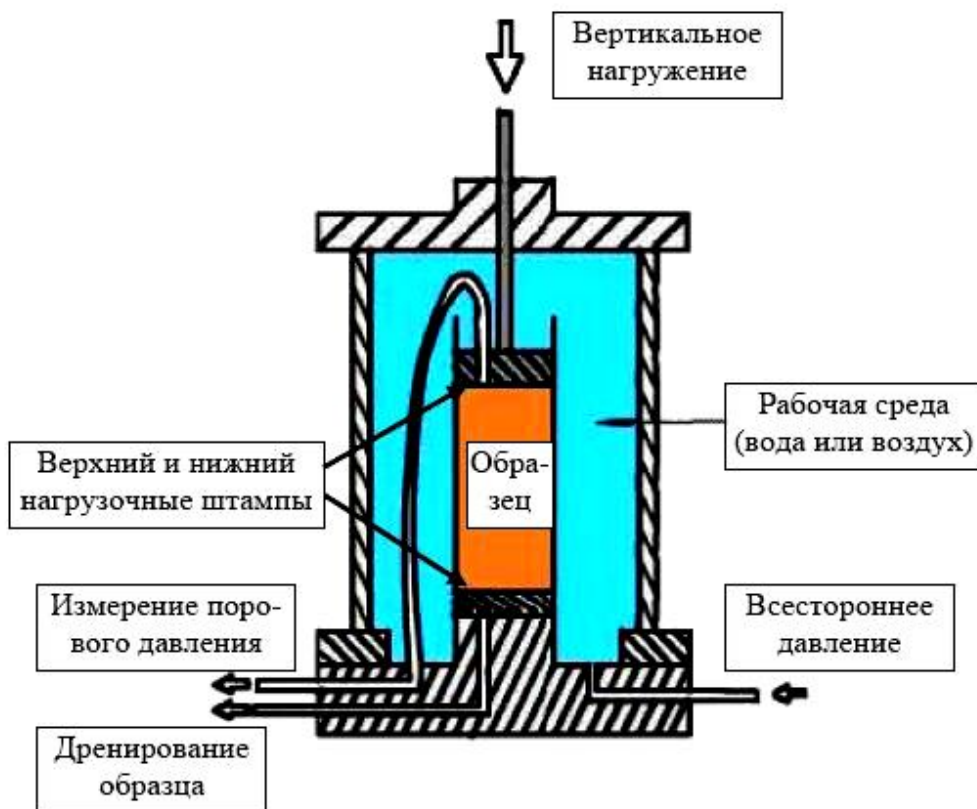


Рис. 5.1. Схема стабилометра.

### 3. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ.

Испытание грунта методом трехосного сжатия проводят для определения следующих характеристик прочности и деформируемости: угла внутреннего трения; удельного сцепления, модуля деформации, порового давления для песков, глинистых, органо-минеральных и органических грунтов.

Испытания проводятся по методике ГОСТ 12248-2010 в приборе трехосного сжатия (стабилометр), в условиях трехосного осесимметричного статического нагружения при

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3 ,$$

где  $\sigma_1$  – максимальное главное напряжение;

$\sigma_2 = \sigma_3$  – минимальные, они же промежуточные главные напряжения.

Результаты испытаний оформляют в виде графиков зависимостей деформаций образца от нагрузки и изменения деформаций во времени.

Испытания вертикальной нагрузкой проводят при заданном всестороннем давлении на образец грунта или заданном среднем нормальном напряжении.

Боковое давление, создаваемое воздухом или жидкостью в рабочей камере стабилометра,  $\sigma_2 = \sigma_3$ , поддерживается постоянным, а вертикальное напряжение  $\sigma_1$  увеличивается ступенями  $\Delta\sigma$  (рис. 2). При определенной величине разности (девиаторе) напряжений ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) наступает разрушение образца по наклонной плоскости. В отличие от испытаний на прямой срез, где плоскость среза определена конструктивно (горизонтальна) в приборе трехосного сжатия положение плоскости разрушения зависит от условий нагружения. В некоторых случаях в

образце не образуется видимой плоскости разрушения, образец деформируется в виде «бочки». В этом случае, за разрушающую нагрузку принимается значение, соответствующее 15% относительной вертикальной деформации (рис. 3).

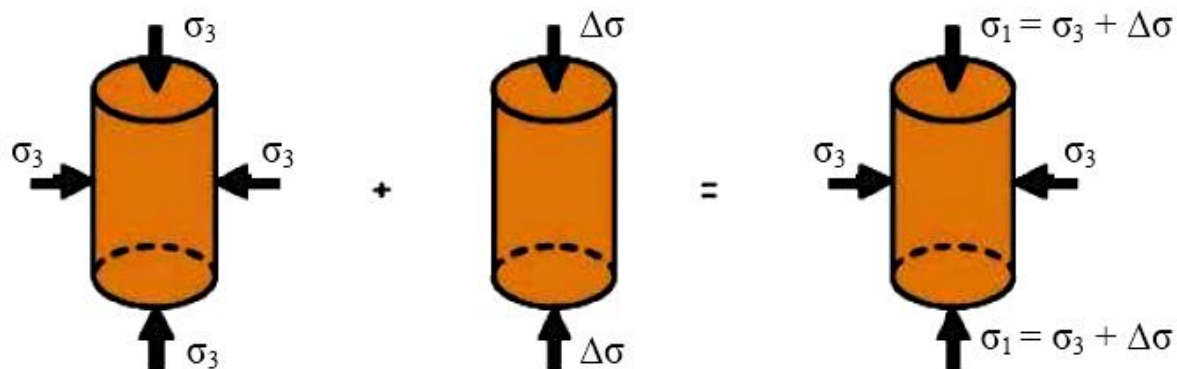


Рис. 5.2. Схема нагружения образца.

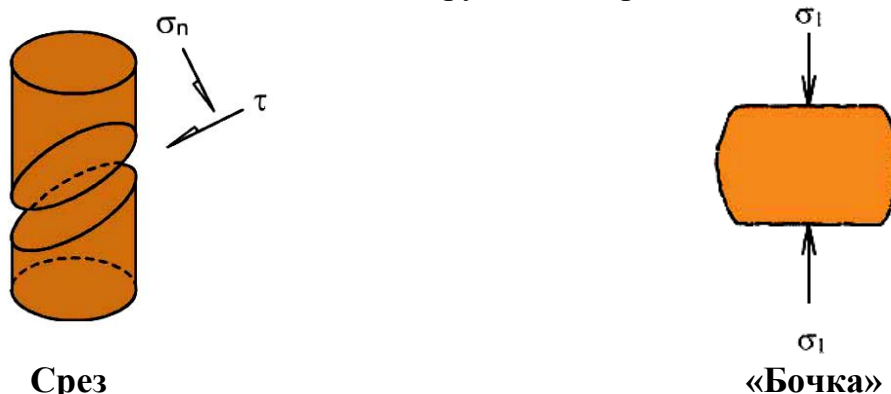


Рис. 5.3. Схемы разрушения образца.

### 3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ВРУЧНУЮ ПО ГОСТ 12248-2010.

По результатам испытаний получаем значения бокового давления  $\sigma_3^P$  и соответствующие разрушающие вертикальные давления  $\sigma_1^P$ , заносим эти данные в таблицу испытаний и выполняем там же вспомогательные вычисления. Все дальнейшие действия выполняем на основе этих данных.

#### Результаты определения сопротивления грунта сдвигу

Схема испытаний	Бок. давление $\sigma_{3i}^P$ , кПа	Разруш. вертикал. давление $\sigma_{1i}^P$ , кПа	Центр круга Мора на оси $\sigma^P$ $Ox_i = \frac{\sigma_{1i}^P + \sigma_{3i}^P}{2}$	Радиус круга Мора $R_i = \frac{\sigma_{1i}^P - \sigma_{3i}^P}{2}$
	100			
	200			
	300			

Вначале строят вспомогательный график (рис. 4) зависимости  $\sigma_I^P = f(\sigma_3^P)$ , представляющий собой прямую, по которому графическим методом определяют следующие вспомогательные параметры:

- M – как отрезок, отсекаемый проведенной прямой на оси  $\sigma_I^P$  (кПа);
- N – как тангенс угла наклона  $\theta$  проведенной прямой к оси  $\sigma_3^P$ ;

При этом масштабы по обеим осям графика принимают **одинаковыми**.

Полученные графическим методом параметры записываем рядом с графиком.

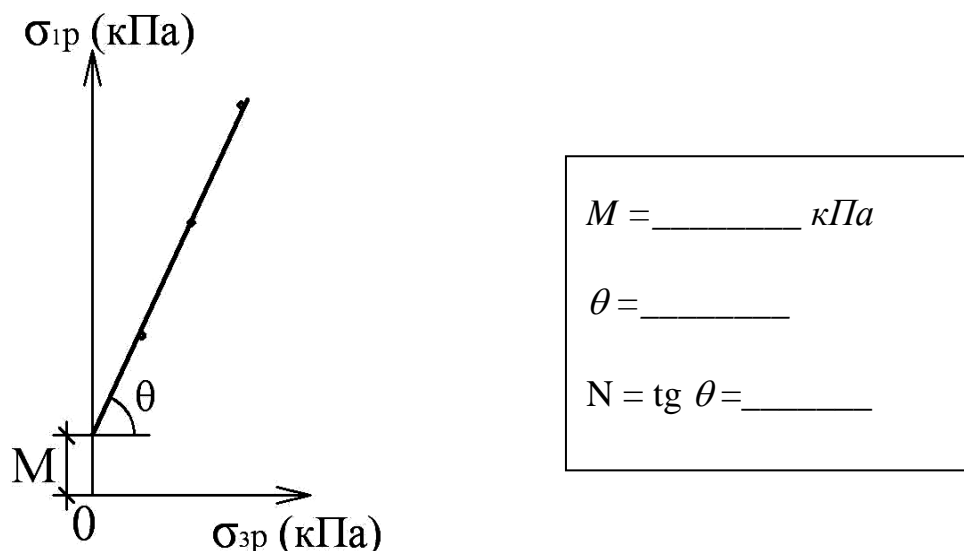


Рис. 5.4. График зависимости  $\sigma_I^P = f(\sigma_3^P)$ .

Эти же параметры определяют и аналитическим методом по формулам:

$$M = \frac{\sum(\sigma_{1i}^P) \times \sum(\sigma_{3i}^P)^2 - \sum\sigma_{3i}^P \times \sum(\sigma_{1i}^P \times \sigma_{3i}^P)}{n \times \sum(\sigma_{3i}^P)^2 - (\sum\sigma_{3i}^P)^2}$$

$$N = \text{tg } \theta = \frac{n \times \sum(\sigma_{1i}^P \times \sigma_{3i}^P) - \sum\sigma_{1i}^P \times \sum\sigma_{3i}^P}{n \times \sum(\sigma_{3i}^P)^2 - (\sum\sigma_{3i}^P)^2}$$

где n – число испытаний при разных значениях всестороннего давления  $\sigma_3^P$  (**n = 3**)

$\sigma_{1i}^P$  – опытные значения разрушающего вертикального давления, соответствующие боковым давлениям  $\sigma_{3i}^P$ .

На основе вычисленных ранее табличных данных в координатах  $\tau/\sigma^P$  строят круги Кулона-Мора, откладывая на оси  $\sigma^P$  центры этих кругов и проводя из них круги вычисленного радиуса (рис. 5):

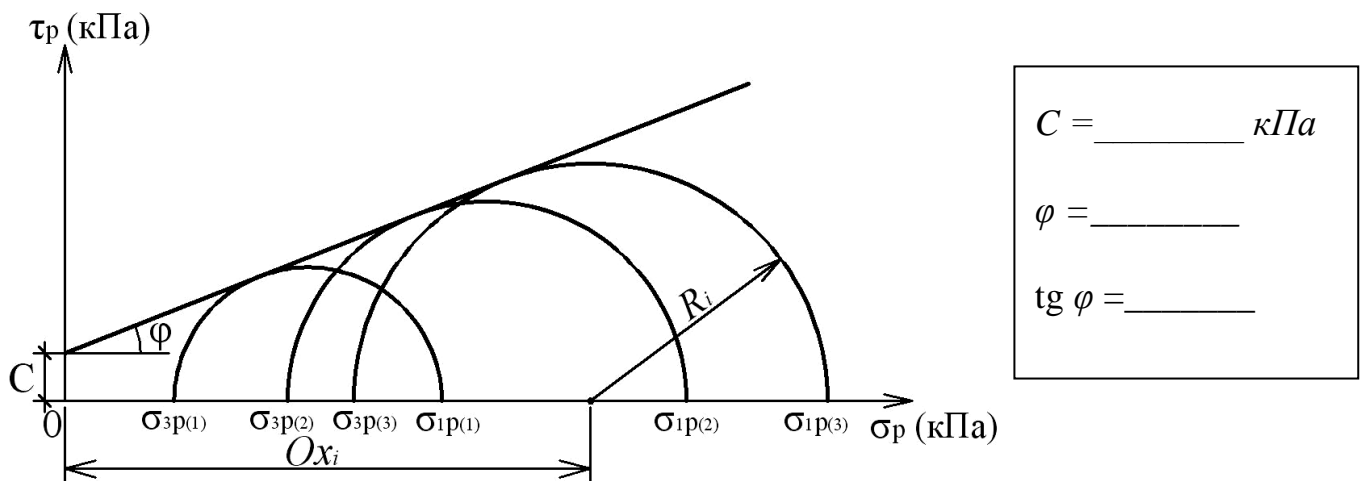


Рис. 5.5. Круги Мора.

Проведя касательную к построенным кругам Мора, получаем прямую предельного равновесия Кулона-Мора, из которой графическим методом можно получить параметры прочности грунта:

- угол внутреннего трения  $\varphi$  – как угол наклона построенной прямой к оси напряжений  $\sigma^p$ .
- удельной сцепление  $c$  – как отрезок, отсекаемый построенной прямой на оси напряжений  $\tau$ .

Полученные графическим методом параметры записываем рядом с графиком.

Эти же параметры можно определить и аналитическим методом, используя полученные ранее вспомогательные параметры, по формулам:

$$C = \frac{M}{2 \times \sqrt{N}};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{N-1}{2 \times \sqrt{N}}; \rightarrow \varphi.$$



### Контрольные вопросы:

- 1) Какие физические характеристики называют основными, а какие производными?
- 2) От каких факторов зависит плотность грунта?
- 3) Что называют влажностью грунта?
- 4) На какие физические характеристики влияет увеличение влажности и как?
- 5) В каких пределах изменяется коэффициент водонасыщения?
- 6) От чего зависит число пластичности: от гранулометрического состава, от минералогического состава?
- 7) Что такое граница раскатывания?
- 8) Как определяют границу текучести?
- 9) Что такое коэффициент пористости? О чем говорит изменение этого коэффициента при сжатии грунта?
- 10) Какими сведениями нужно располагать, чтобы оценить расчетное сопротивление: а) песка? б) глинистого грунта?
- 11) Что такое сжимаемость грунтов? Как она оценивается в лабораторных условиях?
- 12) Какие характеристики грунта определяют при компрессионных испытаниях?
- 13) Как определяется модуль деформации? В каких расчетах он используется?
- 14) Что называют условной стабилизацией деформации сжатия?
- 15) Какими способами оценивают прочность грунтов?
- 16) В чем суть испытания на срез?
- 17) Что такое график сдвига?
- 18) Как определить угол внутреннего трения грунта?
- 19) Как определить удельное сцепление грунта?
- 20) Какие параметры грунта называют прочностными?
- 21) В каких расчетах используются прочностные параметры грунта?
- 22) Что такое коэффициент фильтрации?
- 23) Что такое напорный градиент?
- 24) В каких расчетах используется коэффициент фильтрации грунта?
- 25) Что такое консолидация и дренирование?
- 26) Что такое условная стабилизация деформаций?
- 27) Назовите схемы испытаний в стабилометре?
- 28) Опишите схематичную конструкцию стабилометра.
- 29) Какова последовательность нагружения образца при испытании в стабилометре?
- 30) Назовите схемы разрушения образца при испытании в стабилометре?
- 31) В чем отличие испытаний в стабилометре от испытаний в сдвиговом приборе с точки зрения условий испытания образца?

## Литература

1. ГОСТ 30416-2012. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.
2. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
3. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости
4. ГОСТ 25584-2016. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.
5. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.
6. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений, М., 2011г.
7. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов, М., «Недра» 1972г.
8. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л. «Недра» 1990г.

## **МЕХАНИКА ГРУНТОВ**

Учебно-методическое пособие по определению физико-механических свойств  
грунтов для студентов очной и заочной форм обучения  
всех строительных специальностей

Составители: Мирсяпов Илизар Талгатович;  
Королева Ирина Владимировна;  
Шакиров Марат Илдусович

Редактор Л.З. Ханафиева

Издательство

Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать 29.04.15

Формат 60x84/16

Заказ № 177

Печать ризографическая

Усл.-печ. л. 3,0

Тираж 25 экз.

Бумага офсетная №1

Уч.-изд. л. 3,0

---

Отпечатано в полиграфическом секторе

Издательства КГАСУ

420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1.