

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ АРХИТЕКТУРЫ, ДИЗАЙНА И СТРОИТЕЛЬСТВА

Кафедра экспертизы и управления недвижимостью

УДК 624.131(076)  
М 55

Рецензент

*М. Ч. Апсеметов* – канд. техн. наук

Составители:

*У. Т. Шекербек, Г. Ж. Адыракаева*

Рекомендовано к изданию

кафедрой экспертизы и управления недвижимостью КРСУ

## МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов направления 08.03.01. «Строительство»

М 55 МЕХАНИКА ГРУНТОВ: методические указания к лабораторным работам для студентов направления 08.03.01. «Строительство» / сост. У. Т. Шекербек, Г. Ж. Адыракаева. Бишкек: КРСУ, 2019. 40 с.

В методических указаниях приводятся современные методы определения состава, состояния и основные физико-механические характеристики грунтов.

Целью лабораторных занятий по курсу «Механика грунтов» является определение показателей физических и механических свойств грунтов, которые широко используются при проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений.

При выполнении лабораторных работ студенты осваивают методику лабораторных исследований грунтов, знакомятся с необходимым оборудованием и проводят лабораторные испытания песчаных и глинистых грунтов.

Предназначены для студентов направления 08.03.01. «Строительство».

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Лабораторная работа № 1.</b> Определение гранулометрического состава песчаных грунтов ситовым методом.....	4
<b>Лабораторная работа № 2.</b> Определение плотности грунта методом режущего кольца.....	8
<b>Лабораторная работа № 3.</b> Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы.....	9
<b>Лабораторная работа № 4.</b> Определение плотности сухого грунта, пористости, коэффициента пористости и степени влажности.....	11
<b>Лабораторная работа № 5.</b> Определение оптимальной влажности и плотности сухого грунта методом стандартного уплотнения.....	13
<b>Лабораторная работа № 6.</b> .....	17
А) Определение границы текучести.....	17
Б) Определение границы раскатывания (пластичности).....	18
В) Определение естественной влажности грунта.....	18
<b>Лабораторная работа № 7.</b> Набухание и усадка глинистых грунтов ..	19
А) Определение набухания глинистого грунта.....	21
Б) Определение усадки глинистого грунта.....	22
<b>Лабораторная работа № 8.</b> Определение показателей сжимаемости грунта в компрессионном приборе.....	26
<b>Лабораторная работа № 9.</b> Определение компрессионных показателей для глинистого водонасыщенного грунта нарушенной структуры.....	30
А) Определение влажности и построение компрессионной кривой.....	32
Б) Прочность (предельное сопротивление сдвигу) грунтов.....	33
<b>Лабораторная работа № 10.</b> Определение показателей прочности грунта методом прямого среза образца.....	35
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	39

## Лабораторная работа № 1. Определение гранулометрического состава песчаных грунтов ситовым методом

Сыпучие грунты бывают крупнообломочные и песчаные. Отличаются по зерновому составу, по плотности сложения, по степени влажности, по характеру – отсутствием связей между зернами породы, которые являются продуктами физического разрушения скальных и полускальных горных пород и последующих процессов сортировки, истирания и отложения в различных условиях. В зависимости от размеров и окатанности формы обломков породы выделяют: валуны (глыбы при неокатанной форме)  $d > 200$  мм; галька (щебень)  $d = (40...200)$  мм; гравий (дресва)  $d = (2...40)$  мм; песок  $d = (0,05...2)$  мм; пыль  $d = (0,05...0,005)$  мм; глина  $d < 0,005$  мм.

Для гранулометрического анализа песчаных грунтов выделяют фракции  $d(\text{мм})$ :  $> 10$ ;  $10 \div 5$ ;  $5 \div 2$ ;  $2 \div 1$ ;  $1 \div 0,5$ ;  $0,5 \div 0,25$ ;  $0,25 \div 0,1$ ;  $0,1 \div 0,05$ ;  $0,05 \div 0,01$ ;  $0,01 \div 0,005$ ;  $< 0,005$ . Содержание фракций оценивается по массовой доле в общей навеске в % (таблица 1).

Таблица 1 – Фракции частиц

Наименование фракции	Диаметр частиц
1	2
Валун (окатанный), глыба (неокатанная)	более 200 мм
Галька (окатанная), щебень (неокатанный)	от 20 до 200 мм
Гравий (окатанный), дресва (неокатанная)	от 2 до 20 мм
Песчаные	от 2 до 0,05 мм
Пылеватые	от 0,05 до 0,005 мм
Глинистые	менее 0,005мм

Гранулометрический анализ на ситах является основным методом определения гранулометрического состава песчаных грунтов. В этом методе сухой песчаный грунт просеивается через

ситы с диаметром отверстий 10; 5; 2, 0,5, 0,25, 0,1 мм (ГОСТ 12536-79).

Удельная поверхность: в 1 г грунта (глина – монтмориллонит) = 800 м<sup>2</sup>; В 1 г грунта (песок) = 0,8 м<sup>2</sup>.

Если грунт содержит менее 3 % глинистых частиц, то он относится к песчаным. Пылевато-глинистые грунты содержат 3 и более процента глинистых частиц. Песчаные грунты делятся на следующие виды и классификации (таблицы 2, 3, 4).

Таблица 2 – Виды песчаных грунтов

Содержание частиц в % по массе	Наименование песка
Масса частиц крупнее 2 мм составляет более 25 %	гравелистый
Масса частиц крупнее 0,5 мм составляет более 50 %	крупный
Масса частиц крупнее 0,25 мм составляет более 50 %	средней крупности
Масса частиц крупнее 0,1 мм составляет 75 % и более	мелкий
Масса частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75 %	пылеватый

Таблица 3 – Классификация грунтов по содержанию глинистых частиц

Наименование грунта	Содержание глинистых частиц, % по весу
Песок	< 3
Супесь	3 ÷ 10
Суглинок	10 ÷ 30
Глина	> 30

Таблица 4 – Виды глинистых грунтов по гранулометрическому составу

Разновидность грунтов	Содержание песчаных частиц (2...0,5 мм), % по массе
Супесь: песчанистая	≥50
пылеватая	<50
Суглинок: легкий песчанистый	≥40
легкий пылеватый	<40
тяжелый песчанистый	≥40
тяжелый пылеватый	<40

Разновидность грунтов	Содержание песчаных частиц (2...0,5 мм), % по массе
Глина: легкая песчанистая	≥40
легкая пылеватая	<40
тяжелая	Не регламентируется

### Приборы и оборудование

Сита с отверстиями 10; 5; 2, 0,5, 0,25, 0,1 мм с крышкой и поддоном. Сушильный шкаф с терморегулятором и нагревом до 105°–110°. Ступка для растирания грунта. Пестик с резиновым наконечником. Сок. Весы технические.

### Порядок выполнения работы

Сперва собирают сито в колонку так, чтобы диаметры их отверстий уменьшались сверху вниз. Нижнее сито закрывается поддоном, далее осуществляют отбор средней навески, для чего высушенный на воздухе образец тщательно перемешивают, затем шпателем или линейкой распределяют на листе бумаги тонким ровным слоем толщиной в несколько мм и двумя взаимно перпендикулярными линиями разделяют на равные части (квадранты); два противоположных квадранта (по диагонали) оставляют в качестве сокращенной пробы, а два других удаляют. Такое деление производится до тех пор, пока не останется необходимое количество – 100 г. Взвешенную пробу помещают на верхнее сито собранной колонки, закрывают крышкой и просеивают до полной сортировки частиц грунта на ситах. Контроль полной сортировки частиц грунта осуществляется просеиванием содержимого каждого сита над листом бумаги. При выпадении частиц, содержимое бумаги высыпать на нижележащее сито, снятое сито поставить на место и продолжать обработку до тех пор, пока от грунта не перестанут отделяться мелкие частицы. Содержимое каждого сита высыпать в предварительно взвешенные фарфоровые чашечки или листики бумаги, взвесить с точностью до 0,01 г (по ГОСТ 5180-84) и вычислить массу каждой фракции. Суммарная масса всех фракций не должна отличаться более чем на 0,5% массы образца, взятой для анализа.

Процентное содержание каждой фракции определяется по формуле:

$$x = \frac{A \cdot 100}{B},$$

где  $x$  – процентное содержание фракций в грунте;

$A$  – масса фракции;

$B$  – масса навески.

Данные анализа заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты просеивания грунта на ситах

Масса навески грунта _____	Дата испытаний _____						
Наименование показателей	Размеры фракций грунта в мм						
	>10	10–5	5–2	2–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	<0,1
1	2	3	4	5	6	7	8
Масса фракций грунта, г							
Содержание фракций, %							
Содержание частиц крупнее данного диаметра, %							
Содержание частиц менее данного диаметра, %							

По данным таблицы 5 подсчитываем сумму процентов по массе частиц 10, 5, 2, 0,5, 0,25 и 0,1 мм. Наименование песка по крупности установить по таблице 1,1–1,4.

Для сравнения различных грунтов между собой гранулометрический состав обычно изображают графически. Кривая гранулометрического состава строится в системе прямоугольных координат, в полулогарифмическом масштабе.

По оси абсцисс откладывают логарифмы диаметров частиц, а по оси ординат – суммарные процентные содержания частиц менее данного размера. Для этого последовательно суммируют содержание фракций, начиная с самой мелкой. По кривой гранулометрического состава находят показатель максимальной неоднородности – мера неоднородности гранулометрического состава песка, который определяется по формуле:

$$U = d_{60} \frac{d_{100}}{d_{10}},$$

где  $d_{100}$ ,  $d_{60}$ ,  $d_{10}$  – диаметры частиц, мм, процентное содержание которых в грунте менее 100, 60 и 10%.

Чем выше  $U$ , тем зерновой состав грунта более неоднороден.

Рассматриваемые песчаные грунты будут называться однородными, если  $U \leq 3$  и неоднородными, если  $U > 3$ . По результатам определения гранулометрического состава составляется заключение по наименованию песчаного грунта с учетом его однородности.

## Лабораторная работа № 2.

### Определение плотности грунта методом режущего кольца

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

#### Приборы и оборудование

Режущее кольцо вместе с крышками, нож, совок, весы технические.

#### Порядок выполнения работы.

Сперва определяют массу  $m_1$  режущего кольца вместе с крышками, затем определяют объем кольца  $V$ . Далее, зачистив поверхность грунта, устанавливают на ней кольцо режущим краем вниз. Придерживая кольцо рукой, острым ножом вырезают столбик грунта высотой 5–10 мм и диаметром на 1–2 мм больше наружного диаметра кольца. По мере срезания грунта, легким нажимом на верхний край насаживают кольцо на столбик грунта, не допуская перекосов. Операция вырезания столбика грунта и погружения кольца в грунт продолжается до полного заполнения кольца. При пластичном или сыпучем грунте кольцо плавно, без перекосов, вдавливают в него и удаляют грунт вокруг кольца. После заполнения кольца грунт, выступающий сверху, срезают вровень с краями кольца и накрывают крышкой. Поддерживая кольцо рукой, подрезают грунт на 8–10 мм ниже режущего края кольца и отделяют его. Затем производят зачистку нижней поверхности и закрывают кольцо

второй крышкой. Кольцо с грунтом и крышками взвешивают ( $m_2$ ), г. Далее определяем плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}.$$

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Разница в результатах параллельных определений более  $0,03 \text{ г/см}^3$  не допускается. Результаты полученных данных сводим в таблицу 6 и определяем нормативное значение плотности грунта по формуле:

$$\rho_n = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n},$$

где  $n \geq 2$  – количество опытов.

Таблица 6 – Результаты определения плотности грунта

Вид грунта _____				Дата испытаний _____	
№ опыта	№ кольца	Масса кольца, г		Объем кольца V, см <sup>3</sup>	Плотность грунта $\rho_i$ , г/см <sup>3</sup>
		пустого с крышками, $m_1$	с крышками и грунтом, $m_2$		
1	2	3	4	5	6

### Лабораторная работа № 3.

#### Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы

##### Приборы и оборудование

Стакан, нож, совок, весы технические, сушильный шкаф.

##### Порядок выполнения работы.

Сперва взвешиваем пронумерованный стакан с крышкой ( $m_1$ , г).

В стакан помещают пробу грунта массой 15–20 г, закрывают крышкой и взвешивают ( $m_2$ , г). Сняв крышку, стакан помещают в нагретый сушильный шкаф, где грунт высушивают до постоянной массы при температуре  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Песчаные грунты

высушивают в течение 3 ч, а остальные – в течение 5 ч, после чего производят взвешивание ( $m_3$ , г). Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1 ч, остальных – в течение 2 ч. Высушивание производят до получения разности масс грунта со стаканом при двух последующих взвешиваниях не более 0,02 г.

Влажность грунта в % вычисляют по формуле:

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100.$$

Для каждой пробы грунта делают 2 параллельных определения. Разница между определениями более 2% не допускается.

Полученные данные записываем в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты испытания влажности грунта

Вид грунта _____			Дата испытаний _____		
№ стакана	Масса пустого стакана, г ( $m_1$ )	Масса стакана с влажным грунтом, г ( $m_2$ )	Масса стакана с сухим грунтом, г ( $m_3$ )	Влажность, %	
				Опытные данные (w)	Средний результат ( $w_c$ )
1	2	3	4	5	6

Определяем нормативное (среднее) значение влажности ( $w_c$ ).

##### Плотность частиц грунта

Плотность частиц грунта определяется отношением массы частиц грунта к их объему. Плотность частиц грунта обуславливается только минералогическим составом и изменяется в пределах от  $2,4 \text{ г/см}^3$  до  $2,8 \text{ г/см}^3$ . Для выполнения расчета ориентировочную плотность частиц грунта можно принимать равной  $2,66 \text{ г/см}^3$ ; суглинок –  $2,71 \text{ г/см}^3$ , глин –  $2,74 \text{ г/см}^3$ . Определяется плотность частиц грунта с помощью пикнометра (мерный сосуд), емкостью не менее  $100 \text{ см}^3$ . Определив плотность частиц грунта, далее находим удельный вес частиц грунта ( $\gamma_s/\text{м}^3$ ):

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g,$$

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

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

#### Лабораторная работа № 4.

#### Определение плотности сухого грунта, пористости, коэффициента пористости и степени влажности

Плотностью сухого грунта называется отношение массы сухого грунта к его объему. (Плотность сухого грунта определяется с исключением массы воды в его порах, но включая имеющиеся в грунте поры).

Плотность сухого грунта определяют по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01 \cdot w},$$

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

$w$  – влажность грунта, %.

Пористостью грунта называется отношение объема пор к общему объему грунта. Пористость определяется по формулам:

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad \text{или} \quad n = 1 - \frac{\rho}{(1 + 0.01 \cdot w) \cdot \rho_s},$$

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

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

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

$w$  – влажность грунта, %.

Коэффициентом пористости называется отношение объема пор к объему скелета грунта. Коэффициент пористости определяется по формулам:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad \text{или} \quad e = \frac{n}{1 - n}.$$

Песчаные грунты по плотности их сложения разделяют в зависимости от коэффициента пористости на плотные, средней плотности и рыхлые.

Степень влажности грунта характеризует долю заполнения пор водой.

Степень влажности вычисляется по формуле:

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

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

$w$  – весовая влажность, в долях единицы.

В зависимости от степени влажности песчаные грунты делятся на: маловлажные  $0 < S_r \leq 0,5$ ; влажные  $0,5 < S_r \leq 0,8$ ; насыщенные  $0,8 < S_r \leq 1$ .

#### Определение оптимальной влажности и плотности сухого грунта.

Оптимальной называется такая влажность грунта, при которой достигается заданное его стандартное уплотнение при наименьшей затрате уплотняющей работы.

Оптимальной влажностью можно достичь наибольшего уплотнения, поскольку в этом случае комки грунта разрушаются относительно легко. Частицы грунта, имея на контактах смазку в виде пленок воды, смещаются друг относительно друга и более компактно располагаются в объеме грунта. При оптимальной влажности часть порового объема заполнена воздухом, который сжимается и не препятствует уплотнению. Оптимальная влажность зависит от состава грунта, характера уплотняющего воздействия, его интенсивности и количества затраченной на уплотнение работы. Например, оптимальная влажность супесей составляет 9–15%, суглинков – 15–22% и т. д. Чем интенсивнее уплотняющее воздействие (например, больше вес катка), тем ниже оптимальная влажность. Строительные нормы требуют, чтобы уплотнение грунтов при укладке в тело насыпи производилось при оптимальной влажности. Если влажность ниже оптимальной, приходится прибегать к искусственному увлажнению грунта. Показателем степени уплотненности грунта служит величина удельного веса сухого грунта. Пробы грунта различной влажности уплотняются определенным образом в специальном приборе стандартного уплотнения. Определяется удельный вес полученных образцов грунта, а затем вычисляется плотность сухого грунта ( $\rho_d$ ). По вычисленным значениям строится график зависимости

$$\rho_d = f(w),$$

где  $w$  – влажность грунта.

По данному графику определяется оптимальная влажность  $W_{opt}$ .

### Лабораторная работа № 5. Определение оптимальной влажности и плотности сухого грунта методом стандартного уплотнения

#### Приборы и оборудование

Прибор стандартного уплотнения, нож, совок, весы технические.

Оптимальная влажность и плотность сухого грунта определяется с использованием прибора стандартного уплотнения (рисунок 1), который состоит из двух полых, соединенных друг с другом металлических цилиндров: рабочего (разъемного) 2 и вспомогательного 3. Сечение цилиндров одинаково. Разъемный цилиндр закреплен в поддоне 7 зажимными винтами 8. Для уплотнения грунта, который закладывается в цилиндры, используется трамбовка 6, которая сбрасывается по направляющей штанге 5 с высоты  $h$  и ударяет по пуансону 4. Благодаря разъемной конструкции рабочего цилиндра помещенный образец грунта может быть легко извлечен из него для последующего взвешивания.

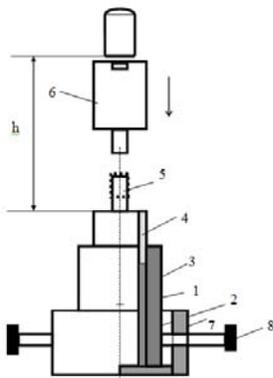


Рисунок 1 – Прибор стандартного уплотнения грунта

#### Порядок выполнения работы

Берем навеску воздушно-сухого грунта  $m_z$ , гигроскопическая влажность которого  $w_z$  известна ( $w_z = 1,8\%$ ) с таким расчетом, чтобы масса абсолютно сухого грунта  $m_d$  составляла 300 г. Тогда

$$m_z = m_d \cdot (1 + 0,01 \cdot w_z) = 300 \cdot (1 + 0,018) = 305,4 \text{ г.}$$

Определяется количество воды  $v_w$ , которое необходимо добавить к исходной навеске грунта для получения следующих влажностей: 4, 6, 8, 10, 12 и 14 % по формуле:

$$V_w = 300 \cdot (w_i - w_z) \cdot 0,01,$$

где  $w_i$  – заданная влажность;

$$m_{w_i} = m_d \cdot (1 + 0,01 \cdot w_i) = 300 \cdot (1 + 0,01 \cdot w_i);$$

$$m_z = m_d \cdot (1 + 0,01 \cdot w_i) = 300 \cdot (1 + 0,01 \cdot w_z).$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 4.

В начале грунт высыпается на противень, мензуркой отмеряется количество воды, необходимое для получения первого из заданных значений влажности (4 %), соответствующее  $\Delta V_i = 6,6 \text{ см}^3$ . Далее грунт ложкой тщательно перемешивается с водой и перетирается. Полученная масса должна иметь однородную окраску и не содержать комков грунта крупнее 1–2 мм. Производится сборка прибора. Половинки рабочего цилиндра соединяются, на них надевается неразъемный цилиндр и в таком виде цилиндр закрепляется в поддоне прибора затяжкой винтов так, чтобы плоскость разреза была перпендикулярна оси зажимных винтов. В рабочий объем прибора закладывается полоска восковой бумаги так, чтобы она плотно прилегала к боковой поверхности цилиндра. Поверхность неразъемного цилиндра смазывается тонким слоем солидола. Цилиндры заполняются грунтом следующим образом: грунт ложкой переносится в цилиндр и укладывается слоями толщиной 1–2 см. Каждый слой уплотняется деревянным пестиком. Укладку грунта следует прекратить, когда до кромки верхнего прибора остается 4–5 мм. На противне при этом остается некоторый избыток грунта. В цилиндр вставляется пуансон со штоком и трамбовкой. Прибор в собранном виде размещается на подставке и производится стандартное уплотнение: трамбовка сбрасывается с полной высоты штока 30 раз. Производится разборка прибора для извлечения образца грунта. Снимается шток с трамбовкой. Поворотом снимается верхний цилиндр

прибора, при этом грунт следует придавить пуансоном. Разъемный цилиндр с грунтом вынимается из поддона, устанавливается на противень. Верхний торец образца тщательно выравнивается правилом. Цилиндр снаружи очищается от частиц грунта. Над чашкой, снятой с технических весов, образец грунта осторожно извлекается из разъемного цилиндра, при этом грунт должен целиком попасть на чашку весов. Образец взвешивается, результаты заносятся в таблицу 8. Вычисляются плотность ( $\rho$ ) и плотность сухого грунта ( $\rho_d$ ) после уплотнения.

По полученным данным строится график зависимости  $\rho_d = f(w)$  при уплотнении для следующих влажностей – 6, 8, 10, 12 и 14 % (рисунок 2). По графику определяется оптимальная влажность  $w_{\text{опт}}$  грунта, как ордината точки, соответствующая перегибу кривой.

Таблица 8 – Результаты определения оптимальной влажности

Вид грунта _____				Дата испытаний _____		
Влажность грунта, $w(\%)$	Масса воды в образце, $m_w$ (г/см <sup>3</sup> )	Объем добавляемой воды, $v_w$ (см <sup>3</sup> )	Масса образца после уплотнения, $m_z$ (г)	Объем цилиндра, $v$ (см <sup>3</sup> )	Плотность грунта после уплотнения, $\rho$ (г/см <sup>3</sup> )	Плотность сухого грунта, $\rho_d$ (г/см <sup>3</sup> )
1	2	3	4	5	6	7

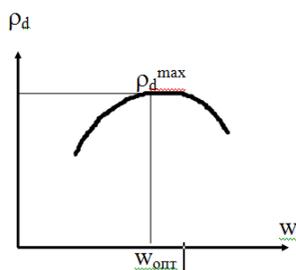


Рисунок 2 – График зависимости плотности сухого грунта от влажности при стандартном уплотнении

### Пластичность пылевато-глинистых грунтов

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

разрыва сплошности в результате воздействия внешнего давления и сохранять ее, когда внешнее давление снимается.

Характеристики пластичности пылевато-глинистых грунтов – это влажности на границе текучести  $W_l$  и раскатывания  $W_p$ , а также число пластичности  $J_p$  и показатель текучести  $J_l$ .

Влажность, при которой грунт находится на границе твердого и пластичного состояний, называют границей раскатывания (пластичности) –  $w_p$ .

Влажность, при которой грунт находится на границе пластичного и текучего состояний, называют границей текучести –  $W_l$ .

Разность между влажностями на пределе текучести и раскатывания, выраженная в процентах или долях единицы, называется числом пластичности:

$$J_p = W_l - W_p .$$

Пылевато-глинистые грунты подразделяются по числу пластичности на супеси, суглинки и глины.

По величинам характерных влажностей  $W_p$  и  $W_L$  и естественной влажности  $w$  можно оценить консистенцию грунта, т. е. степень подвижности слагающих грунт частиц при механическом воздействии, характеризуемой величиной показателя текучести –  $J_L$ :

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

По консистенции пылевато-глинистые грунты подразделяются на группы от твердых до текучих.

Характеристики  $W_p$ ,  $W_L$  и  $J_p$  являются косвенными показателями состава (гранулометрического и минералогического) пылевато-глинистых грунтов. Более высокие значения этих характеристик свойственны грунтам с большим содержанием глинистых частиц, а также грунтам, в минералогический состав которых входит монтмориллонит.

Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо выделять лессовые грунты и илы. Лессовые грунты – это макропористые грунты, содержащие карбонаты кальция и способные при замачивании водой давать под нагрузкой просадку, легко размокать и

размываться. Ил – водонасыщенный современный осадок водоемов, образовавшийся в результате протекания микробиологических процессов, имеющий большую деформативность, просадочность и размокаемость.

Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо также выделять грунты, проявляющие специфические неблагоприятные свойства при замачивании: просадочные и набухающие. К просадочным грунтам относятся грунты, которые при замачивании водой дают просадку (осадку), и при этом относительная просадочность  $\varepsilon_{si} \geq 0,01$ . К набухающим относятся грунты, которые при замачивании водой или химическими растворами увеличиваются в объеме, и при этом относительное набухание без нагрузки  $\varepsilon_{sw} = 0,04$ .

### **Лабораторная работа № 6.**

#### **Определение границы текучести и раскатывания**

##### **А) Определение границы текучести**

Граница текучести характеризуется как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой балансирный конус погружается под действием собственного веса за 5 с на глубину 10 мм (рисунок 3).

##### **Приборы и оборудование**

Балансирный конус, сито с отверстиями в 1 мм, стеклянный сосуд, фарфоровые чашки, нож, шпатель, весы технические.

##### **Порядок выполнения работы**

Из грунта, прошедшего через сито с отверстиями в 1 мм, с добавлением небольшого количества дистиллированной воды приготавливают грунтовую пасту, которую выдерживают в закрытом стеклянном сосуде не менее 2 ч. Грунтовую пасту тщательно перемешивают в фарфоровых чашках и укладывают с помощью шпателя в стаканчик прибора, заполняя его без оставления пустот. Поверхность пасты сглаживают шпателем в уровень с краями стаканчика. Подносят к поверхности грунтовой пасты, находящейся в стаканчике, смазанный тонким слоем вазелина конус и, опустив его, дают в течение 5 с свободно погружаться в пасту под давлением от собственной массы. Если конус за 5 с погрузился в пасту до черты, то верхний предел считается достигнутым. Погружение

конуса за 5 с на глубину менее 10 мм показывает, что влажность пасты еще не достигла искомой границы текучести. В этом случае вынимают грунтовую пасту из стаканчика, добавляют в него немного воды (дистиллированной), тщательно перемешивают и повторяют операции. При погружении конуса на глубину более 10 мм грунтовую пасту вынимают из стаканчика, кладут на стекло, перемешивают шпателем, давая ей немного подсохнуть, и повторяют операции. Отбирают из испытываемой пасты пробу не менее 15 г и производят определение влажности по ГОСТ 5180-84. Производят не менее двух параллельных определений. Расхождение более 2 % не допускается.

##### **Б) Определение границы раскатывания (пластичности)**

Граница раскатывания (пластичности) определяется как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой раскатываемая в жгут паста толщиной 3 мм начинает распадаться на отдельные кусочки длиной 5–10 мм.

##### **Порядок выполнения работы**

Приготовленную грунтовую пасту подсушивают до тех пор, пока она при раскатывании не перестанет прилипать к ладоням рук. Из подсушенной грунтовой пасты берут небольшие кусочки и раскатывают их на стекле до образования жгута диаметром около 3 мм и длиной, равной ширине ладони. Если при такой толщине грунтовой жгут начинает крошиться, то считают, что предел раскатывания достигнут. Если при толщине около 3 мм жгут сохраняет связность и эластичность и не крошится, его переминают руками, а затем вновь раскатывают до указанной толщины. Если жгут начинает крошиться, не достигнув толщины 3 мм, добавляют несколько капель дистиллированной воды и перемешивают, а затем раскатывают. Взяв не менее 10 г жгута грунта в предварительно взвешенный бюкс, определяют его влажность. Для каждого образца грунта производят не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах более 2 % не допускается.

##### **В) Определение естественной влажности грунта**

Естественную влажность определяют весовым методом. Результаты определения влажности на границах текучести и раскатывания и естественной влажности выражаются в процентах (%).

За границы текучести и раскатывания и естественной влажности принимается среднее арифметическое результатов параллельных определений. Результаты определения влажности заносятся в таблицу 9.

По влажностям границы текучести, границы раскатывания и естественной влажности определяют наименование и состояние пылевато-глинистого грунта и делают заключение по выполняемой работе.

Таблица 9 – Результаты определения влажности

Вид грунта				Дата испытаний		
Показатели пластичности	№№ бьюкса	Масса бьюкса, г	Масса бьюкса с влажным грунтом, г	Масса бьюкса с сухим грунтом, г	Влажность, %	
					опытные данные	средний результат
1	2	3	4	5	6	7
$W_L$						
$W_P$						
$W$						

Заключение по результатам определения  $W_L$ ,  $W_P$ ,  $W$ .

### Лабораторная работа № 7. Набухание и усадка глинистых грунтов

Набухание грунта – это способность грунта увеличиваться в объеме при взаимодействии с водой. Набухание определяет водоустойчивость глинистых грунтов и характеризуется приращением объема грунта в процессе насыщения его водой, влажностью и силой набухания. Набухание определяется для оценки устойчивости и деформируемости оснований зданий и сооружений, откосов и подземных сооружений.

Относительное набухание грунта определяется по зависимости

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

где  $\Delta h$  – приращение высоты образца, мм;  
 $h$  – начальная высота образца природной влажности, мм.

По относительному набуханию выделяют следующие разновидности грунтов:

- ненабухающие  $\varepsilon_{sw} \leq 0,04$ ;
- слабонабухающие  $0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$ ;
- средненабухающие  $0,08 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,12$ ;
- сильнонабухающие  $\varepsilon_{sw} > 0,12$ .

Под усадкой понимается уменьшение объема образца грунта при его высыхании. Усадка характеризуется величиной объемной усадки  $V_y$ . Усадка является сложным физико-химическим процессом, сопровождающимся уменьшением объема при дегидратации, зависит от их минералогического состава, структуры, текстуры, а также от условий испарения воды (рисунок 3).

Некоторое практическое значение при оценке устойчивости стенок котлованов и других земляных сооружений имеет и величина размокания глинистых грунтов. Ее основные показатели: время, в течение которого образец грунта, помещенный в воду, теряет связность и распадается; характер распада.

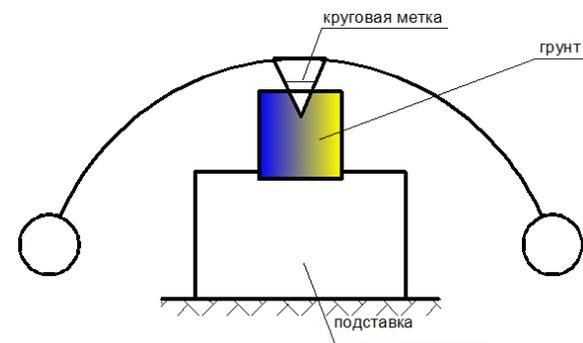


Рисунок 3 – Балансирный конус

## А) Определение набухания глинистого грунта

### Приборы и оборудование

Набухание определяется в приборе ПНЗ (рисунок 4), который состоит из режущего кольца 5, обоймы 3 с винтом 2, в отверстие которой устанавливается индикатор 1, перфорированного поддона 6, поршня 4 и ванночки 7.

### Порядок выполнения работы

Разобрав прибор, с помощью кольца производят отбор пробы из монолита. Кольцо вдавливают в монолит до появления над верхним краем слоя грунта высотой 0,5–1,5 см, который затем аккуратно срезают вровень с его краями.

Собирают прибор в следующем порядке: в углубление диска кладут бумажный фильтр 8, ставят кольцо с грунтом, поверх него кладут второй бумажный фильтр 8 и устанавливают поршень.

Собранный прибор устанавливают на дно ванночки и укрепляют в обойме индикатор таким образом, чтобы его ножка касалась головки поршня.

Снимают первоначальные показания по индикатору.

Ванночку заполняют водой до верхней кромки образца и фиксируют время заливки.

Через 10-минутные промежутки времени снимают показания индикатора до тех пор, пока набухание грунта полностью не прекратится. Данные записывают в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты определения набухания грунта

Вид грунта _____ ( по визуальному определению)					Дата испытаний _____			
№№ пп	Время замера от начала опыта, мин. ( t <sub>i</sub> )	Начальная высота образца, мм (h)	Показания индикатора, мм (i <sub>n</sub> )	Приращение вы- соты образца, мм (Δh <sub>i</sub> )	Масса бюкса с влажным грунтом, г (m <sub>1</sub> )	Масса бюкса, г (m)	Масса бюкса с сухим грунтом, г (m <sub>2</sub> )	Влажность набухания грунта, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Относительное набухание определяют по формуле:

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

где  $\Delta h_i$  – приращение высоты образца за расчетный период, мм;

$h$  – начальная высота образца в кольце, мм.

Строят график скорости набухания грунта, откладывая по горизонтальной оси время, а по вертикальной – величину относительного набухания. После опыта прибор разбирают и отбирают образец грунта для определения весовым способом влажность набухания.

### Б) Определение усадки глинистого грунта

Усадка глинистого грунта определяется с помощью устройства для определения усадки грунтов, содержащего емкость с проницаемыми стенками, перфорированную крышку с отверстием в центре, стаканообразный штамп и индикатор часового типа, установленный на стойку. Емкость выполнена в виде конуса с углом при вершине в пределах  $\alpha = 45^\circ$ .

Образец, равномерно высыхая, всесторонне уменьшается в объеме, сохраняя при этом точное геометрическое подобие конуса, заданного емкостью устройства. При этом объемное уменьшение образца сводится к направленному перемещению по центральной оси конуса в направлении его вершины за счет силы тяжести (рисунок 5).

### Порядок выполнения работы

Влажную глину с нарушенной структурой помещают в перфорированную коническую емкость 1, изготовленную совместно с основанием 2. Глину помещают в емкость малыми порциями для предотвращения попадания в образец испытуемого грунта пузырьков воздуха.

Поверхность образца зачищается по верхней кромке конической емкости при помощи ножа.

Емкость с образцом закрывается перфорированной крышкой 3, имеющей центрирующий буртик 4.

В центральное отверстие крышки опускается стаканообразный штамп 5 так, чтобы его дно находилось на поверхности грунта.

С помощью стойки 6, держателя 7 и крепежных винтов 8 устанавливают индикатор часового типа 9.

Устройство с образцом помещают в сушильный шкаф для высухания при постоянной температуре.

Данные опытов и результаты определения заносят в таблицу 11.

Усадку образца вычисляют по формуле:

$$\varepsilon_{wh} = \frac{R^2 \cdot H - r^2 \cdot h}{R^2 \cdot H} \cdot 100\%,$$

где  $\varepsilon_{wh}$  – относительная объемная усадка образца глинистого грунта;

$R$  и  $r$  – радиусы основания конического образца до и после усадки, мм;

$H$  и  $h$  – высота конического образца до и после усадки, мм.

Радиус конического образца после усадки рекомендуется определять по таблице 12 через величину высоты конического образца после усадки.

Таблица 11 – Результаты определения усадки пылевато-глинистого грунта

Вид грунта		Дата испытаний						
№ опыта	Время замера деформаций образца грунта от начала опыта, мин (t)	Высота конического образца, мм		Радиус основания конического образца, мм		Показания индикатора, мм		Усадка образца грунта, % ( $\varepsilon_{whi}$ )
		До усадки (H)	После усадки (h)	До усадки (R)	После усадки (r)	До усадки (i <sub>in</sub> )	После усадки (i <sub>с</sub> )	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0	32	–	23	23	0	0	

Таблица 12 – Результаты определения конического образца

Высота конического образца после усадки, мм (h)	31.5	31.0	30.5	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5
Радиус основания конического образца после усадки, мм (r)	22.8	22.6	22.4	22.2	22.0	21.8	21.6	21.4	21.2

## Сжимаемость грунтов

Сжимаемостью грунтов называют способность их уменьшаться в объеме (давать осадку) под действием внешнего давления. Степень сжимаемости зависит от структуры грунта и является важной характеристикой механических свойств грунта, которая используется для расчета осадок зданий и различных сооружений. Сжимаемость грунтов обусловлена изменением их пористости при приложении нагрузки и происходит за счет возникновения взаимных сдвигов частиц, уменьшения толщины водно-коллоидных пленок, отжатия воды в водонасыщенных грунтах и за счет разрушения кристаллизационных связей в сильно структурированных грунтах. В связи с тем, что сжимаемость грунтов связана с уменьшением его пористости, в механике грунтов принято характеризовать сжимаемость грунта зависимостью коэффициента пористости  $e$  от уплотняющего давления  $P$  (рисунок б). Эта зависимость называется компрессионной и определяется в лабораторных условиях экспериментально в приборах двух типов:

- одометре (приборе одноосного сжатия с жесткими боковыми стенками обоймы, в который заключен образец грунта), называемом также компрессионным прибором;
- стабилометре (приборе трехосного сжатия с эластичными боковыми стенками, в которые заключен грунт).

При относительно малых давлениях  $P < P_{cmp}$  сжимаемость грунта может быть сравнительно небольшой, значительно меньшей, чем при больших давлениях. При изменении давления в практических целях заменяют зависимость между  $e$  и  $P$  прямолинейной, т. е. заменяют кривую на этом участке отрезком стягивающей ее хорды. Тогда из геометрических соображений получим

$$tg\alpha = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} = m_0,$$

где  $m_0$  – коэффициент сжимаемости грунта,  $кПа^{-1}$ .

Для расчета осадок удобнее пользоваться коэффициентом относительной сжимаемости  $m_v$ , который равен

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0}, \text{ кПа}^{-1},$$

где  $e_0$  – начальный коэффициент пористости.

Показатель сжимаемости грунта  $m_0$  (или  $m_v$ ) необходим для расчета величин осадок зданий или сооружений. Для этих же целей нам нужны и показатели:  $E_0$  (МПа) – модуль общей деформации и  $\nu$  – коэффициент относительной поперечной деформации. Однако  $E_0$  и  $\nu$  используются как для расчета деформации оснований, так и при установлении распределения величин реактивных давлений под гибкими фундаментными блоками и плитами. В одометре можно определить только один показатель – коэффициент сжимаемости  $m_0$ . В стабилометре мы имеем возможность непосредственно определить уже два показателя ( $m_v$  и  $\nu$  или  $E_0$  и  $\nu$ ).

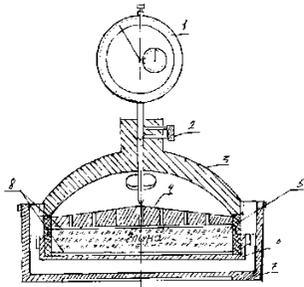


Рисунок 4 – Общий вид прибора ПНЗ для определения величины набухания глинистого грунта

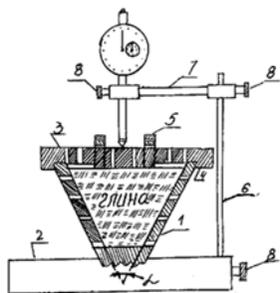


Рисунок 5 – Общий вид устройства для определения усадки грунтов

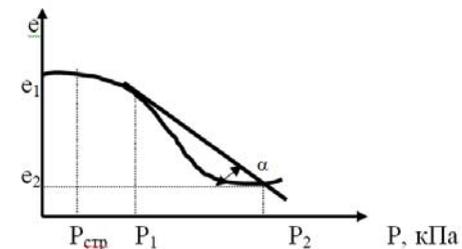


Рисунок 6 – Компрессионная кривая

$P_{стр}$  – структурная прочность грунта.

## Лабораторная работа № 8. Определение показателей сжимаемости грунта в компрессионном приборе

### Приборы и оборудование

Одометр (компрессионный прибор) предназначен для определения сжимаемости (уплотнения) грунтов под действием заданного вертикального давления при невозможности поперечных (боковых) деформаций. Схематический разрез одометра представлен на рисунке 7.

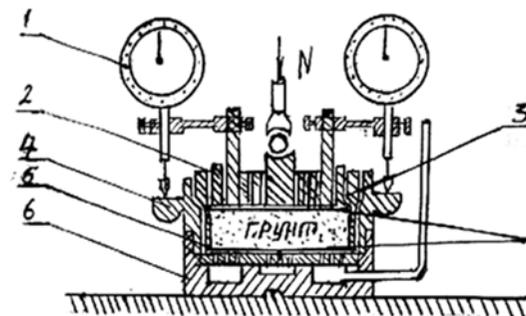


Рисунок 7 – Схема компрессионного прибора (одометр):  
1 – индикатор; 2 – перфорированный штамп; 3 – направляющее кольцо;  
4 – верхняя обойма; 5 – рабочее режущее кольцо; 6 – нижняя обойма  
с перфорированным дном; 7 – фильтр.

Собранный одометр помещается в нагрузочное устройство. Отношение плеч рычажного устройства, передающего нагрузку, 1:10. Высота образца грунта  $h = 25$  мм, площадь образца  $A = 60 \text{ см}^2 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ . Применение образцов небольшой, по сравнению с диаметром, высоты вызвано стремлением уменьшить по возможности влияние на результаты испытания сил трения, развивающихся по боковой поверхности образца. Кроме того, для еще большего уменьшения сил трения внутреннюю поверхность кольца одометра иногда смазывают маслом или применяют одометры с фторопластовым покрытием.

Сжатие образца происходит при свободном удалении выжимаемой из пор грунта воды через перфорированное дно нижней обоймы 6 и перфорированный штамп 2. Величина и количество ступеней давления, прикладываемых к грунту в процессе опыта, а также условное время стабилизации деформаций устанавливаются в соответствии с ожидаемыми нагрузками на грунт от проектируемого фундамента.

#### Порядок выполнения работы

Снять одометр со станины нагрузочного устройства и разобрать его.

Вырезать режущим кольцом 5 одометра образец из монолита грунта, зачистив торцы образца в уровень с краями кольца, и положить на торцы бумажные фильтры 7.

Собрать одометр и установить его на станину нагрузочного устройства, положить шариковый шарнир между штампом и нагрузочной рамой.

Закрепить на штампе 2 два индикатора часового типа, контролировать расположение тросиков на рычаге нагрузочного устройства и проверить правильность сборки прибора. При легком нажатии на рычаг нагрузочного устройства стрелки индикаторов 1 должны сместиться и при снятии усилия с рычага вновь вернуться в первоначальное положение.

Записать начальные отсчеты по индикаторам (по черной шкале) в журнал испытаний (таблица 9).

Загрузить подвеску рычага гириями массой 1,27 кг и 1,5 кг (2,3 кг – масса рамы нагрузочного устройства), после чего сразу же пустить в ход секундомер.

Записать в журнал испытаний отсчеты по индикаторам (по черной шкале) через 1, 2, 5 и 10 мин., считая от момента приложения нагрузки. Десять минут условно принимаются за время стабилизации деформаций образца. В действительности (ГОСТ 23908-79) за критерий условной стабилизации деформаций грунта при данной ступени давления следует принимать деформацию не более 0,01 мм: для пылеватых и мелких песков – 4 ч; для пылеватоглинистых грунтов – 16 ч.

Догрузить подвеску еще одной гирей массой 3 кг, сразу же включить секундомер и записать в журнал испытаний нарастающим итогом величины отсчетов по индикаторам через те же промежутки времени, что и ранее, считая время с момента увеличения нагрузки.

Повторить все операции при суммарной массе на подвеске 12, 18 и 24 кг.

Вычислить по величинам конечных (условно стабилизированных) осадок образца соответствующие значения коэффициента пористости и записать в журнал испытаний. Значение коэффициента пористости  $e_i$  находится по формуле:

$$e_i = e_0 - \frac{S_i}{h_0} \cdot (1 + e_0) = e_0 - \Delta e_i,$$

где  $e_i$  – коэффициент пористости при нагрузке  $P_i$ ;

$e_0$  – начальный коэффициент пористости грунта.

Результаты измерений и вычислений сводим в таблицу.

Построить компрессионную кривую  $e = f(P)$ .

Вычислить коэффициент сжимаемости  $m_0$  и коэффициент относительной сжимаемости  $m_v$  по формулам и для заданного интервала давлений  $P_2$  и  $P_1$ .

Для линейного участка вычислить модуль общей деформации:

$$E_0 = \frac{\beta_0}{m_v}, \text{ кПа,}$$

где  $\beta_0$  – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе и принимаемый для: песков – 0,8; супесей – 0,7; суглинков – 0,5; глин – 0,4.

Таблица 13 – Результаты компрессионных испытаний и вычислений

Вид грунта _____		Дата испытаний _____							
Масса гирь на подвеске, кг	Главное вертикальное напряжение, кПа	Время от начала приложения нагрузки, мин.	Показания индикаторов, мм			Условно стабилизированная вертикальная деформация		Коэффициент пористости	
			Первого	Второго	Среднее показание	Абсолютная, мм	Относительная	Приращение по сравнению с начальным	Значение
№	$P = \frac{10^4 \cdot N \cdot g}{A}$	t	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	$r = \frac{r_1 + r_2}{2}$	S <sub>i</sub> = Г	$\varepsilon_i = \frac{S_i}{h_0}$	$\Delta e_i = \varepsilon_i \cdot (1 + e_0)$	$e_i = e_0 - \Delta e_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0							
2.7 7 и т. д.	50	1							
		2							
		5							
		10							

### Лабораторная работа № 9. Определение компрессионных показателей для глинистого водонасыщенного грунта нарушенной структуры

Поскольку в водонасыщенном грунте все поры заполнены водой, то при его уплотнении пористость и влажность уменьшаются по одной закономерности. При этом существует следующая зависимость:

$$e = \gamma_s \cdot W_n,$$

где  $e$  – коэффициент пористости грунта;

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

$W_n$  – влажность грунта (в долях единицы) при полном заполнении его водой.

Компрессионная кривая используется для определения коэффициента сжимаемости грунта  $m_0$ , который на небольшом участке изменения давления определяется по формуле:

$$m_0 = tg \alpha = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1},$$

где  $e_1$  и  $e_2$  – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям  $P_1$  и  $P_2$ .

Коэффициент сжимаемости используется при расчете осадок насыпей, оснований зданий и сооружений, опор мостов и др.

#### Материалы и оборудование

Грунт водонасыщенной структуры; одометры – 7 шт.; бюксы – 7 шт.; фильтрованная бумага; весы с разновесками.

#### Подготовительные работы

Работа проводится с водонасыщенным грунтом на одометре. Компрессионный прибор (одометр) состоит из цилиндра 1, поршня с отверстиями 2, фильтрующего днища 3 и загрузочного столика 4 (рисунок 8). Работа выполняется на протяжении трех занятий.

### Порядок выполнения работы Зарядка одометров (занятие первое)

В операциях, указанных ниже одометр держится в положении «вверх дном». Перед зарядкой одометра фильтрующее днище отвинчивается и поршень отводится от края цилиндра примерно на 1,5 см. В этом положении поршень и цилиндр зажимаются в руке таким образом, чтобы исключить их взаимное смещение.

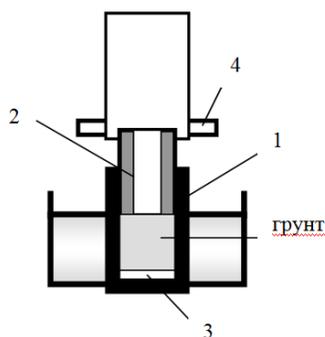


Рисунок 8 – Одометр с грунтом

На дырчатую поверхность поршня кладется кружок из фильтрованной бумаги. Второй кружок помещается в днище.

Грунт с помощью шпателя «вмазывается» в одометр (со стороны резьбы на цилиндре), поверхность грунта выравнивается с краем цилиндра, резьба вытирается и навинчивается днище.

Одометры устанавливаются в ванночки с водой, на столики помещаются гири, вес которых указывается в таблице 10. Грунт уплотняется до следующего занятия.

### Разгрузка одометров

Нагрузка со столика снимается, днище отвинчивается, и грунт поршнем выдавливается из цилиндра.

Оба бумажных фильтра удаляются, и капельная влага с поверхности образцов снимается сухой фильтрованной бумагой.

Грунт помещается в сухой бюкс, взвешивается и идет в термостат для сушки (определение влажности дано в лабораторной работе № 4).

### А) Определение влажности и построение компрессионной кривой

Бюксы с высушенным грунтом взвешиваются. Вычисляются влажности и коэффициенты пористости грунта.

Строится компрессионная зависимость  $e = f(P)$ .

При построении графика рекомендуется принять масштабы: для уплотняющего давления 0,1 МПа = 1 см, для коэффициента пористости 0,1 = 1 см.

Поскольку нас интересует не абсолютное положение кривой, а только ее кривизна, то для удобства построения за начало координат следует принять коэффициент пористости несколько меньше наименьшего из полученных значений (рисунок 9).

По компрессионной кривой требуется определить коэффициент сжимаемости грунта в интервале давления от  $P_1 = 0,05$  МПа до  $P_2 = 0,15$  МПа или при других значениях  $P$ , указанных преподавателем (таблица 14).

Таблица 14 – Результаты компрессионных испытаний водонасыщенного грунта

Вид грунта _____			Дата испытаний _____					
Нагрузка, кг (N)	Площадь прибора, см <sup>2</sup> (A)	Уплотняющее давление, МПа (P)	Определение влажности					Коэффициент пористости $e = \rho_s \cdot W_{Sd1}$
			№ бюкса	Масса бюкса с влажным грунтом, г (m <sub>2</sub> )	Масса бюкса с сухим грунтом, г (m <sub>3</sub> )	Масса бюкса, г (m <sub>1</sub> )	Влажность	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	0						
1	5	0.02						
2	5	0.04						
3	5	0.06						
5	5	0.1						
10	5	0.2						
15	5	0.3						

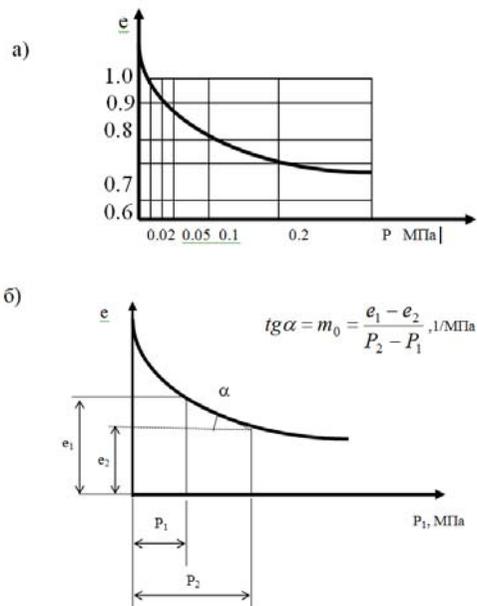


Рисунок 9 – Компрессионная кривая:  
 а) построение компрессионной кривой;  
 б) определение коэффициента сжимаемости.

### Б) Прочность (предельное сопротивление сдвигу) грунтов

Прочностью грунтов называется их такое состояние, при котором они могут сопротивляться воздействию нагрузок без разрушения. Предел прочности характеризуется такой нагрузкой, незначительное превышение которой вызовет разрушение грунта.

В связи с тем, что прочность связей между частицами в грунтах намного меньше, чем прочность самих частиц, прочность грунтов в целом определяется прочностью и состоянием связей между частицами. Разрушение грунта происходит вследствие возрастания сдвигающих усилий, возникающих между частицами при приложении к грунту нагрузки и разрушающих связи между частицами. Для небольших давлений (до 0,5 МПа) можно считать, что сопротивление грунта сдвигу состоит из двух частей – одной, не зависящей от величины нормального давления, действующего по пло-

щадке сдвига, и именуемой удельным сцеплением, и второй, являющейся функцией нормального давления, и именуемой трением.

Зависимость между сопротивлением сдвигу и нормальным давлением устанавливается экспериментально.

Предельное сопротивление сдвигу есть функция первой степени от нормального давления (закон Кулона):

- для сыпучих грунтов  $\tau \leq \sigma \cdot tg \varphi$  ;
- для связных грунтов  $\tau \leq \sigma \cdot tg \varphi + C$  ,

где  $\tau$  – сопротивление сдвигу, МПа;

$\sigma$  – нормальное напряжение по площадкам сдвига, МПа;

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

$C$  – удельное сцепление, МПа.

Параметры прочности  $\varphi$  и  $C$  используются в задачах, связанных с определением несущей способности оснований сооружений, устойчивости откосов, выемок и земляных сооружений, давления грунтов на подпорные сооружения, устойчивости сводов обрушения подземных выработок, при проектировании механизмов для разрушения грунтов и в ряде других случаев.

Показатели сопротивления грунтов сдвигу определяются различными способами, среди которых можно выделить три группы:

- 1) Способы определения сопротивления сдвигу по одной или двум заранее фиксированным плоскостям в сдвиговых приборах;
- 2) Способы определения сопротивления сдвигу путем раздавливания при одноосном и трехосном сжатии;
- 3) Способ определения сопротивления сдвигу по углу естественного откоса.

Наибольшее распространение в лабораторной практике получил метод одноплоскостного прямого сдвига.

Различают быстрый сдвиг, когда за время испытания плотность и влажность грунта практически не изменяются (закрытая система), и медленный, когда вода свободно выдавливается из пор грунта (открытая система).

## Лабораторная работа № 10. Определение показателей прочности грунта методом прямого среза образца

При использовании метода среза образец грунта помещается в обойму, имеющую горизонтальный разрез. По плоскости этого разреза происходит срез образца, нагруженного заданной вертикальной нагрузкой. При этом считается, что в плоскости разреза при срезе выполняется условие прочности. Таким образом, в этом виде испытания плоскость среза заранее predetermined. Такой вид испытания имеет как свои положительные стороны (простота испытания, простота прибора), так и отрицательные (напряженное состояние образца отличается от того, которое принимается в расчетной схеме; вместо плоскости среза получается некоторая зона, в которой происходит срез и др.).

### Приборы и оборудование

Сдвиговой прибор типа ГПП-30. Схематический разрез прибора представлен на рисунке 12.

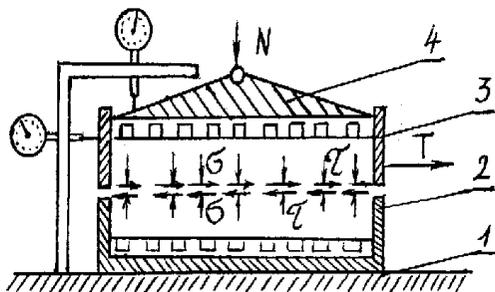


Рисунок 10 – Схема срезного прибора:  
N – нормальное усилие; T – сдвигающее усилие.

Прибор системы Гидропроекта состоит из следующих двух основных узлов: срезной камеры, оборудованной двумя индикаторами часового типа для измерения вертикальных и горизонтальных перемещений, и нагрузочного устройства, обеспечивающего передачу вертикальной и горизонтальной нагрузок на образец грунта.

Все узлы прибора смонтированы на металлическом столе 1. Срезыватель прибора установлен в средней части плиты стола

и состоит из нижней неподвижной 1 и верхней подвижной 2 частей обоймы. Перед загрузкой срезывателя грунтом обоймы скрепляются установочными винтами. На дно нижней обоймы уложен жесткий фильтр, служащий для отвода воды из-под образца грунта при его сжатии. На образец грунта, помещенный в срезыватель, устанавливается жесткий штамп с верхним фильтром, служащий для передачи вертикальной нагрузки непосредственно на образец. Размеры рабочего цилиндра срезывателя следующие: диаметр  $d = 71,4$  мм; высота  $h = 40$  мм; площадь  $A = 40$  см<sup>2</sup>. Соотношение плеч рычажных устройств составляет 1:10.

### Порядок выполнения работы

С помощью специального кольца из монолита грунта вырезается образец и вдавливается в рабочий цилиндр, состоящий из нижней и верхней обоймы. Снизу и сверху образца укладываются фильтрованная бумага и жесткие штампы.

Раму вертикального нагрузочного устройства устанавливают упорным винтом на штамп, на кронштейне закрепляют индикатор для измерения вертикального перемещения штампа.

На подвеску рычага укладывается соответствующий груз N. Обычно давления  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  выбираются таким образом, чтобы охватить весь диапазон действующих в основании давлений в зонах, где возможно нарушение прочности грунта. Испытания грунта на сдвиг производим при давлениях  $\sigma_1 = 0,1$  МПа,  $\sigma_2 = 0,2$  МПа и  $\sigma_3 = 0,3$  МПа.

Специальными винтами создаем зазор (0,5–1,0 мм) между верхней и нижней обоймами. Устанавливаем нулевой отсчет на индикаторе горизонтального перемещения и прикладываем к подвеске сдвигающей системы первую ступень нагрузки. Срезающую нагрузку в каждом опыте прикладывают так, чтобы приращение касательных напряжений  $\Delta\tau$  не превышало по абсолютной величине  $0,1\sigma$ . Таким образом, в первом опыте ступень срезающей нагрузки на подвеске равна 4 Н. После прекращения движения стрелки индикатора, фиксирующего деформации сдвига, записываем отсчет деформации в журнал испытаний. Каждую последующую ступень сдвигающей нагрузки  $\Delta T$  (в первом опыте очередные 4,0 Н) прикладываем к образцу только после затухания деформаций сдвига от воздействия предыдущей ступени. Наступило ли предельное состояние – срез образца, – мы устанавлива-

ем по незатухающей или увеличивающейся скорости горизонтального перемещения верхней обоймы, что определяется по разности между показаниями индикатора, фиксирующего горизонтальные перемещения. После среза образца прибор перезаряжают и производят таким же образом новые опыты, но при давлениях  $\sigma_2 = 0,2$  МПа и  $\sigma_3 = 0,3$  МПа. Результаты измерений и вычислений сводим в таблицу 11. Строим обобщающий график  $\tau = f(\sigma)$  (рисунок 11). График строится в одинаковом масштабе для  $\tau$  и  $P$ , который рекомендуется принять: 5 см = 0,1МПа. По полученным опытным точкам проводится осредненная прямая до пересечения с осью ординат.

Нормативные значения  $\phi$  и  $C$  вычисляются по формулам:

$$\operatorname{tg} \phi_n = \frac{1}{\Delta} \cdot (n \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_i - \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i);$$

$$C_n = \frac{1}{\Delta} \cdot (\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_i);$$

$$\Delta = n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - (\sum_{i=1}^n \sigma_i)^2,$$

где  $n$  – число определений величин  $\tau$ .

Таблица 11 – Результаты испытаний грунтов на срез и вычислений  $\sigma$  и  $\tau$

Вид грунта _____		Дата испытаний _____		
Вес гирь на подвеске нагрузочного устройства, МН		Напряжение в плоскости среза, МПа		Горизонтальная деформация, мм
вертикальное	горизонтальное	нормальное	сдвигающее	
N	T	$\sigma = 10N/A$	$\tau = 10T/A$	$\delta$
1	2	3	4	5

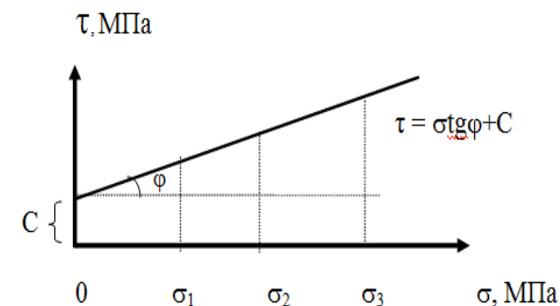


Рисунок 11 – График зависимости сопротивления грунтов сдвигу

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Цытович. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1973.
2. Б. И. Далматов. Механика грунтов, основания и фундаменты. М., 1981.
3. Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов и др. М.: Изд-во АСВ, 1994.
4. Механика грунтов. Основы геотехники. Ч. 1 / Б. И. Далматов и др. М., СПб.: Изд-во АСВ, 2000.
5. Бугров А. К. Механика грунтов: учебное пособие. СПб.: СПбГТУ, 2007.
6. Мангушев Р. А., Карлов В. Д., Сахаров И. И. Механика грунтов: учебник. М.: Изд-во АСВ, 2010.
7. СП 50-101–2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 2004.
8. Методические указания к лабораторным работам по курсам «Механика грунтов, основания и фундаменты», «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог». Ч. 2 / сост. П. С. Пойта и др. Брест, 2006.
9. СНиП 2-02-83. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования. М., 1983.
10. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
11. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
12. ГОСТ 23908-79. Грунты. Метод лабораторного определения сжимаемости.
13. ГОСТ 12248-78. Грунты. Методы лабораторного определения сопротивления срезу.

Составители:

*Уланбек Турсунбекович Шекербеков,  
Гульмира Джунушевна Адыракаева*

## МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов направления 08.03.01. «Строительство»

Редактор *А. А. Матвиенко*

Компьютерная верстка – *Э. А. Галяутдинова*

Подписано в печать 22.02.2019.

Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Офсетная печать.

Объем 2,5 п. л. Тираж 100 экз. Заказ 142

Отпечатано в типографии КРСУ  
720048, г. Бишкек, ул. Анкара, д. 2а