

Министерство образования и науки Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

Кафедра геотехники

Дисциплина: Механика грунтов

Отчет по лабораторным работам

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ ГРУНТОВ**

Выполнила студентка  
группы 13-С-3

\_\_\_\_\_Кораблёва В.Р.

Принял преподаватель

\_\_\_\_\_Гурский А. В.

Санкт-Петербург  
2019

## Лабораторная работа №1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА ПОЛЕВЫМ МЕТОДОМ

**Цель работы:** Определение гранулометрического состава грунта полевым методом.

**Объект исследования** – грунт нарушенной структуры, высушенный на воздухе при обычной температуре.

**Материалы и оборудование:** градуированные цилиндры объемом 100 мл – 2 шт.; раствор хлористого кальция ( $\text{CaCl} - 5\%$ ); колба с водой; сосуд для слива суспензии; ложка; палочка с резиновым наконечником; секундомер.

#### Ход работы:

##### *Определение содержания песчаных частиц:*

Способ основан на разной скорости падения частиц грунта в воде в зависимости от их крупности (закон Стокса) и состоит в отмывании глинистых и пылеватых частиц от песчаных.

- Сухой грунт насыпают в цилиндр и уплотняют до  $10\text{см}^3$
- Грунт разрыхляют и доливают воду до  $50...60\text{см}^2$
- Грунт перемешивают и доливают воду до  $100\text{см}^3$
- Суспензию перемешивают и оставляют на 90с. После  $\frac{2}{3}$  объема сливают. Процесс повторяют до практически полного осветления жидкости
- Уменьшают время до 30с и объём жидкости до  $30\text{см}^3$ . Сливают пока вода не станет прозрачной
- После отмучивания наливают воду в цилиндр до  $100\text{см}^3$ .  
Определяют объём песка, после его отстаивания

#### Результаты определения содержания песчаных частиц (размер от 0,05 до 2,0 мм)

Начальный объем грунта, $\text{см}^3$	Объем оставшегося грунта, $\text{см}^3$	Содержание песчаных частиц, %
10	4,5	45

**Результаты определения содержания глинистых частиц  
(размер менее 0,002 мм)**

Начальный объем грунта $V_1$ , $\text{см}^3$	Объем набухшего грунта $V_2$ , $\text{см}^3$	Приращение объема $V_2 - V_1$ , $\text{см}^3$	Относительное приращение объема $\frac{V_2 - V_1}{V_1}$	Содержание глинистых частиц $\frac{V_2 - V_1}{V_1} K$ , %
10	15	5	0,5	11,35

Примечание:  $K$  – эмпирический коэффициент, равный 22,7.

**Результаты определения гранулометрического состава грунта**

Частицы	Размер частиц, мм	Содержание, %
Песчаные	0,05...2,0	45
Пылеватые	0,002...0,05	43,65
Глинистые	Менее 0,002	11,35

**Вывод:** используя гранулометрическую классификацию, т.к. содержание глинистых частиц в образце находится в диапазоне 10...30 (11,35), определяем, что наименование грунта – суглинок.

## Лабораторная работа №2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА МЕТОДОМ РЕЖУЩЕГО КОЛЬЦА (ГОСТ 5180–84)

**Цель работы:** определение плотности глинистого грунта методом режущего кольца

**Объект исследования** – образец глинистого грунта ненарушенной структуры.

**Материалы и оборудование:** режущее кольцо с паспортом, салфетка, нож, стекло, правило, весы.

#### Ход работы:

- Режущее кольцо устанавливают на поверхность монолита и погружают его на 2...3мм в грунт, срезая грунт с внешней стороны кольца
- Действие повторяют пока грунт не заполнит кольцо и выйдет из него на 1...2мм
- Образец грунта с кольцом извлекают и устанавливают на стекло вверх конусом.
- Поверхность грунта зачищают вровень с краями кольца
- Кольцо с грунтом переворачивают и тоже самое делают с другой стороны
- Кольцо с грунтом взвешивают и затем рассчитывают плотность и удельный вес

#### Результаты определения удельного веса грунта

Объем кольца $V, \text{см}^3$	Масса кольца $m_1, \text{г}$	Масса кольца с грунтом $m_2, \text{г}$	Масса грунта $(m_2 - m_1),$ г	Плотность грунта $\rho = \frac{m_2 - m_1}{V},$ г/см <sup>3</sup>	Удельный вес грунта $\gamma = \rho g,$ кН/м <sup>3</sup>
40	11,99	86,02	74,03	1,85	18,16

Примечание:  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

**Вывод:** в данной работе методом режущего кольца была определена масса и рассчитана плотность грунта, которая составила 1,85 г/см<sup>3</sup> и удельный вес грунта 18,16 кН/м<sup>3</sup>

### Лабораторная работа №3

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА МЕТОДОМ ВЗВЕШИВАНИЯ (ГОСТ 5180–84)

**Цель работы:** определение природной влажности глинистого грунта методом взвешивания.

**Объект исследования** – образец глинистого грунта.

**Материалы и оборудование:** бюкс, нож, весы, шкаф сушильный с термометром.

**Ход работы:**

- Четверть грунта, оставшегося в кольце (после определения плотности в лабораторной работе № 2), помещают в бюкс и взвешивают
- Помещают в термостат, где он высушивается при температуре 105 °С в течение 4...6 ч затем снова взвешивают
- Далее влажность вычисляют по формулам

#### Результаты определения природной влажности грунта

Номер бюкса	Масса бюкса $m_1$ , Г	Масса бюкса с влажным грунтом $m_2$ , Г	Масса бюкса с сухим грунтом $m_3$ , Г	Влажность грунта $w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$
242	21,96	43,34	39,18	0,24

#### Дополнительные характеристики грунта

Плотность сухого грунта

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,85}{1 + 0,24} = 1,49 \text{ г/см}^3$$

Относительное содержание твердых частиц (скелетность)

$$m = \frac{\rho_d}{\rho_s} = \frac{1,49}{2,70} = 0,55208$$

где  $\rho_s = 2,70 \text{ г/см}^3$  – плотность частиц суглинка\*;

Пористость

$$n = 1 - m = 1 - 0,55208 = 0,44792$$

Коэффициент пористости грунта

$$e = \frac{n}{m} = \frac{0,44792}{0,55208} = 0,811$$

Влажность при полном насыщении пор водой

$$w_{sat} = \frac{n \rho_w}{m \rho_s} = \frac{0,44792 \cdot 1}{0,55208 \cdot 2,71} = 0,3004$$

где  $\rho_w$  – плотность воды,  $\rho_w = 1,0 \text{ г/см}^3$ .

Коэффициент водонасыщения

$$S_r = \frac{w}{w_{sat}} = \frac{0,24}{0,3004} = 0,8003$$

**Вывод:** в ходе выполнения данной работы была определена влажность глинистого грунта, а также дополнительные физические характеристики образца грунта после его высушивания при температуре  $105^\circ \text{C}$  в сушильном шкафу.

## Лабораторная работа №4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВЛАЖНОСТЕЙ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА (ГОСТ 5180–84)

**Объект исследования** – образец глинистого грунта нарушенной структуры (в виде пасты и сухой в виде порошка).

**Материалы и оборудование:** балансирный конус с металлическим стаканчиком и подставкой; технический вазелин; салфетка; нож; бюкс – 2 шт.; весы; шкаф сушильный с термометром.

#### **Ход работы:**

##### *Определение влажности на границе текучести $w_L$ :*

Определение границы текучести состоит в подборе соответствующей влажности испытываемого грунта

- Грунт в виде порошка смешивают с водой, получая грунтовое тесто, которым заполняют металлический стаканчик
- Острие конуса подносят к поверхности грунта и мгновенно опускают. Через 5с отмечают положение круговой черты
- Если погружение менее 10мм добавляют воду, если более – сухой грунт.
- Отбирают пробу грунта и помещают в бюкс. Определяют влажность  $w_L$ , как описано в лабораторной работе № 3

##### *Определение влажности на границе пластичности $w_p$*

Определение границы раскатывания состоит в подборе (путем подсушивания) соответствующей влажности грунта.

- Небольшой комочек грунтового теста (диаметром 10 мм) раскатывают на ладони до образования жгута диаметром около 3 мм
- Если жгут не распадается на куски, его скатывают в шарик и снова раскатывают в жгут до указанного диаметра. Раскатывание продолжают до тех пор, пока жгут при диаметре 3 мм не покроется сетью трещин и не начнет распадаться на отдельные кусочки длиной 3...8 мм
- Полученные кусочки грунта помещают в бюкс и взвешивают. Необходимо набрать не менее 10 г грунта
- Определяют влажность  $w_p$ , как описано в лабораторной работе № 3
-

### Результаты определения характерных влажностей

Характерная влажность грунта	Номер бюкса	Масса бюкса $m_1$ , Г	Масса бюкса с влажным грунтом $m_2$ , Г	Масса бюкса с сухим грунтом $m_3$ , Г	Влажность грунта $w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$
$w_L$	202	22,42	34,88	32,09	0,288
$w_P$	242	21,96	32,52	30,9	0,181

Влажность на границе текучести

$$w_L = \frac{34,88 - 32,09}{32,09 - 22,24} = 0,288 \text{ д. ед.} = 28,8\%$$

Влажность на границе раскатывания (пластичности)

$$w_P = \frac{32,52 - 30,9}{30,9 - 21,96} = 0,18 \text{ д. ед.} = 18\%$$

Число пластичности

$$I_P = w_L - w_P = 28,8 - 18 = 10,8\%$$

Показатель текучести

$$I_L = \frac{w - w_P}{w_L - w_P} = \frac{0,24 - 0,18}{0,288 - 0,18} = 0,56$$

**Вывод:** по ГОСТ 25100–2011 исследованный грунт является суглинком мягкопластичным, легкий песчанистый.

Согласно табл. 2 и 3 прил. 1 СНиП 2.02.01–83\* исследованному грунту с  $e = 0,76$  соответствуют механические характеристики:

удельное сцепление  $c_n = 18$  кПа;

угол внутреннего трения  $\varphi_n = 17^\circ$ ;

модуль деформации  $E = 10$  МПа.



## Лабораторная работа №5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОРИСТОСТИ ПЕСКА В ПРЕДЕЛЬНО РЫХЛОМ И ПРЕДЕЛЬНОМ ПЛОТНОМ СЛОЖЕНИИ

**Цель работы** - определить коэффициент пористости песка и установить его плотность.

**Объект исследования** – песок средней крупности.

**Материалы и оборудование:** цилиндр с дном; ложка; воронка; резиновый молоточек; правило; весы.

**Ход работы:**

- Взвешивают цилиндр с дном и ставят на поддон, наполняя песком
- Для получения предельно рыхлого сложения, песок насыпают тонкой струйкой с высоты 5...10 см без уплотнения, срезая избыток и взвешивают
- Для получения предельно плотного сложения цилиндр заполняют песком, насыпая его слоями толщиной 1...2 см с уплотнением каждого слоя. Лишний песок срезают и взвешивают
- Вычисляют коэффициент пористости  $e$

#### Результаты исследования песка средней крупности

Сложение песка	Масса цилиндра $m_1$ , г	Масса цилиндра с грунтом $m_2$ , г	Масса песка ( $m_2 - m_1$ ), г	Объем цилиндра $V$ , см <sup>3</sup>	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости $e$
Предельно рыхлое	317,15	719,09	401,94	250	1,607	0,6482
Предельно плотное	317,15	758,2	441,05	250	1,7642	0,502

Плотность

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

Так как опыт проводится с песком в воздушно-сухом состоянии, то, пренебрегая его гигроскопичной влажностью (т.е., считая  $w = 0$ ), определяем плотность грунта  $\rho$  и приравниваем ее к плотности сухого грунта  $\rho_d$ :

$$\rho_d = \rho.$$

Коэффициент пористости

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d},$$

где  $\rho_s = 2,65 \text{ г/см}^3$  – плотность частиц песка<sup>\*</sup>;  $\rho_d$  – плотность сухого грунта.

**Вывод:** в ходе данной работы был определён коэффициент пористости песка в предельно рыхлом состоянии (0,65), и в предельно плотном (0,51). В данной работе опыт выполняют с песком средней крупности.

## Лабораторная работа №6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСКА (ГОСТ 25584–90)

**Цель работы** - определить коэффициент фильтрации грунта.

**Объект исследования** – песок средней крупности.

**Материалы и оборудование:** фильтрационный прибор (КФ-1 или трубка СПЕЦГЕО); мерный сосуд Мариотта; цилиндр с дном, крышкой (муфтой) и латунными сетками, колба с водой, секундомер.

**Ход работы:**

- Корпус прибора заполняют на  $\frac{2}{3}$  объема водой. Цилиндр с песком устанавливают на подвижную площадку, опускают его в воду и выдерживают до полного водонасыщения песка.
- Цилиндр вынимают из корпуса прибора, воду выливают, а подвижную площадку поднимают в верхнее положение
- На поверхность песка кладут латунную сетку, на цилиндр надевают крышку и цилиндр с песком устанавливают на площадку.
- Мерный сосуд заполняют водой, зажимают отверстие сосуда пальцем, быстро поворачивают его вниз дном и вставляют в крышку прибора так, чтобы стекло касалось латунной сетки.
- После появления пузырьков воздуха в мерном сосуде берут отсчет по его шкале, замечают время по секундомерной стрелке часов и принимают его за  $t = 0$ ; второй отсчет по часам берут, когда уровень воды совпадет с делением шкалы  $90 \text{ см}^3$
- Не извлекая песок, выполняют опыт еще два раза и затем вычисляют коэффициент фильтрации

#### Результаты исследования водопроницаемости песка с коэффициентом пористости $e = 0,67$

Номер опыта	Начальный отсчет по шкале мерного сосуда $Q_1, \text{см}^3$	Конечный отсчет по шкале мерного сосуда $Q_2, \text{см}^3$	Объем профильтровавшейся воды $Q = Q_2 - Q_1, \text{см}^3$	Продолжительность фильтрации $t, \text{с}$	Гидравлический градиент $I$	Площадь сечения грунта $A, \text{см}^2$	Коэффициент фильтрации $K_f, \text{см/с}$	Средний коэффициент фильтрации $K_f, \text{см/с}$
1	0	90	90	68	1	25	0,0529	0,04842
2	0	90	90	74	1	25	0,0486	

3	0	90	90	82	1	25	0,0439	
---	---	----	----	----	---	----	--------	--

Коэффициент фильтрации

$$K_{\phi} = \frac{Q}{A I t},$$

где  $Q$  – объем профильтровавшейся воды, см<sup>3</sup>;  $A$  – площадь поперечного сечения образца грунта, см<sup>2</sup>;  $I$  – гидравлический градиент  $t$  – время фильтрации, с.

**Вывод:** для песка средней крупности с коэффициентом пористости  $e = 0,6482$  коэффициент фильтрации равен 0,04842 см/с.

## Лабораторная работа №7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТОГО ГРУНТА (ГОСТ 12248–2010)

**Цель работы** - определить удельное сцепление и угол внутреннего трения пылевато-глинистого грунта.

**Объект исследования** – образцы глинистого грунта ненарушенной структуры (монолиты) в кольцах.

**Материалы и оборудование:** сдвиговые приборы ПСГ-2 – 3 шт. с наборами гирь, секундомер.

#### **Краткий ход работы:**

1. Образец грунта выдерживают под нагрузкой  $N$  до стабилизации (прекращения) вертикального смещения. Начало полной стабилизации считают с момента, когда скорость вертикального смещения штампа будет не более  $0,01$  мм/сут
2. Стопорные винты, соединяющие верхнюю и нижнюю обоймы срезователя, вывинчивают так, чтобы концы их на  $3...5$  мм не доходили до выступов нижней обоймы.
3. Придерживая винт за утолщенную часть с накаткой, обе гайки одновременно поворачивают на один-два оборота так, чтобы между верхней и нижней обоймами образовался зазор  $1...2$  мм.
4. Прикладывают гири первой ступени  $q_1$  сдвигающей силы. Укладываются на подвеску плавно, без удара, гири, замеряется время.
5. Вторую и все последующие ступени сдвигающей нагрузки прикладывают и выдерживают так же, как и первую ступень.
6. Сдвигающую нагрузку увеличивают до разрушения (сдвига) образца. Разрушение фиксируют по незатухающей или увеличивающейся скорости горизонтального смещения  $\delta$  верхней обоймы при постоянной нагрузке  $F$ .

**Данные хода опыта по определению предельной сдвигающей нагрузки  
при нормальном напряжении  $\sigma = 100$  кПа**

Номер ступени нагрузки	Величина ступени нагрузки $Q_i$ , Н	Суммарная нагрузка от начала опыта $F = \sum Q_i$ , Н	Время от начала опыта $t$ , мин	Отсчет по индикатору, мм	Приращение деформации сдвига за минуту, мм	Деформация сдвига от начала опыта $\delta$ , мм
0			0	8,14	0	0
1	8	8	1	7,81	0,33	0,33
			2	7,79	0,02	0,35
			3	7,77	0,02	0,37
2	4	12	1	7,16	0,61	0,98
			2	7,11	0,05	1,03
			3	7,07	0,04	1,07
			4	7,06	0,01	1,08
3	2	14	1	6,85	0,21	1,29
			2	6,80	0,05	1,34
			3	6,76	0,04	1,38
			4	6,75	0,01	1,39

**Данные хода опыта по определению предельной сдвигающей нагрузки  
при нормальном напряжении  $\sigma = 200$  кПа**

Номер ступени нагрузки	Величина ступени нагрузки $Q_i$ , Н	Суммарная нагрузка от начала опыта $F = \sum Q_i$ , Н	Время от начала опыта $t$ , мин	Отсчет по индикатору, мм	Приращение деформации сдвига за минуту, мм	Деформация сдвига от начала опыта $\delta$ , мм
0			0	7,37	0	0
1	16	16	0	7,20	0,17	0,17
			1	7,15	0,05	0,22
			2	7,13	0,02	0,24
			3	7,12	0,01	0,25
2	8	24	0	6,52	0,6	0,85
			1	6,24	0,28	1,13
			2	6,15	0,09	1,22
			3	6,09	0,06	1,28
			4	6,05	0,04	1,32
			5	6,03	0,02	1,34
			6	6,01	0,02	1,36
3	4	28	0	5,65	0,36	1,72
			1	4,72	0,93	2,65
			2	4,61	0,11	2,76
			3	4,52	0,09	2,85
			4	4,41	0,11	2,96
			5	4,36	0,05	3,01
			6	4,31	0,05	3,06
			7	4,27	0,04	3,10
			8	4,24	0,03	3,13

**Данные хода опыта по определению предельной сдвигающей нагрузки  
при нормальном напряжении  $\sigma = 300$  кПа**

Номер ступени нагрузки	Величина ступени нагрузки $Q_i$ , Н	Суммарная нагрузка от начала опыта $F = \sum Q_i$ , Н	Время от начала опыта $t$ , мин	Отсчет по индикатору, мм	Приращение деформации сдвига за минуту, мм	Деформация сдвига от начала опыта $\delta$ , мм
0				8,105	0	0
1	24	24	0	7,140	0,965	0,965
			1	7,105	0,035	1
			2	7,095	0,01	1,01
			3	7,086	0,009	1,019
			4	7,080	0,006	1,025
			5	7,075	0,005	1,03
2	12	36	0	6,600	0,475	1,505
			1	6,570	0,03	1,535
			2	6,540	0,03	1,565
			3	6,525	0,015	1,580
			4	6,510	0,015	1,595
3	6	42	0	6,230	0,28	1,875
			1	6,180	0,05	1,925
			2	6,140	0,04	1,965
			3	6,115	0,025	1,990
			4	6,095	0,02	2,01
			5	6,080	0,015	2,025



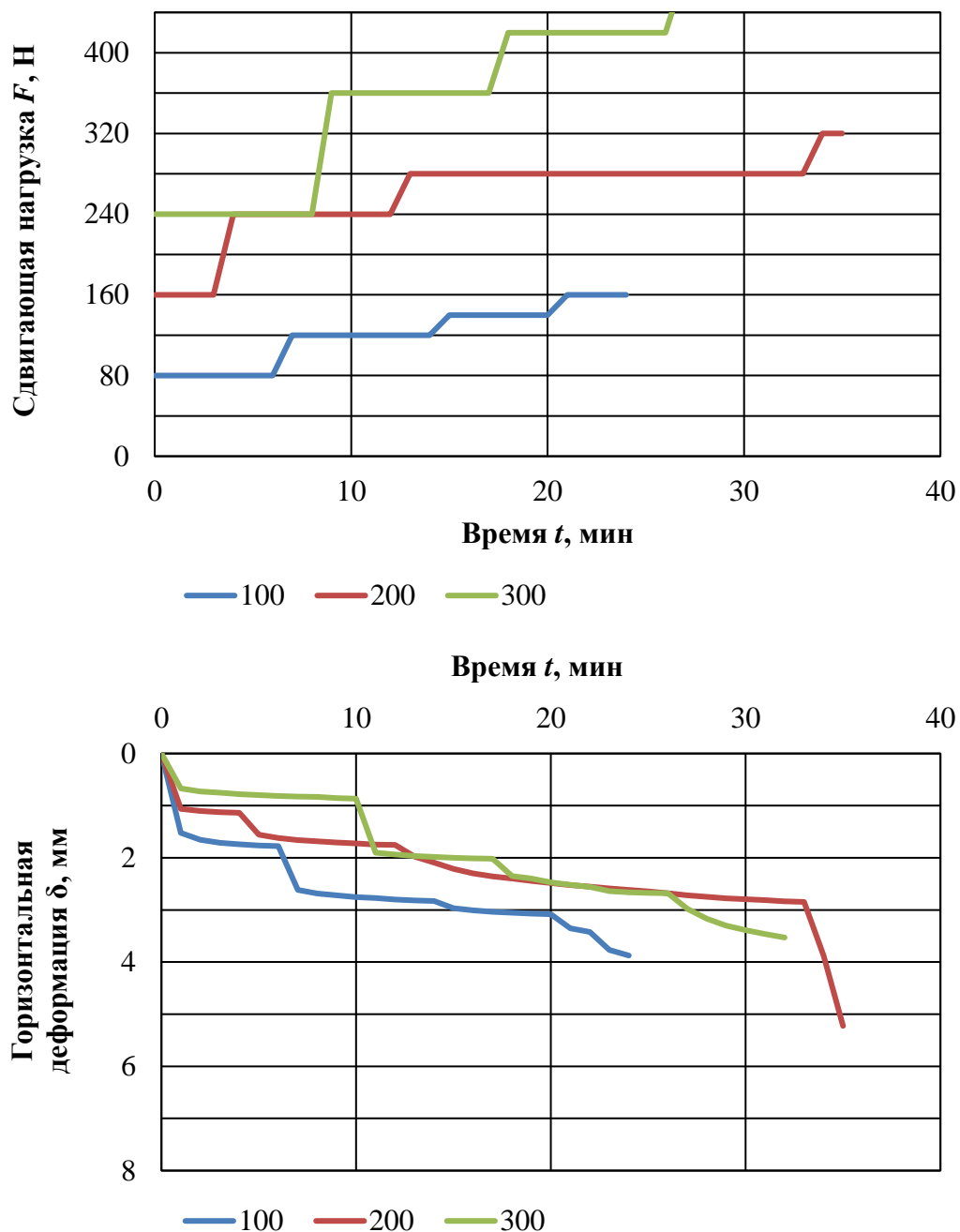


Рис. 1. График хода опыта по определению предельной сдвигающей нагрузки при различных нормальных напряжениях

За предельную сдвигающую нагрузку  $F_u$  принимают горизонтальную нагрузку перед разрушением образца (без последней ступени):

$$F_u = \sum_{i=1}^{n-1} Q_i = 10 \sum_{i=1}^{n-1} q_i,$$

где  $Q_i$  – величина  $i$ -й ступени сдвигающей нагрузки;  $q_i$  – вес гирь на подвеске рычага для создания сдвигающей нагрузки  $Q_i$ ; 10 – передаточное число рычага сдвигающей нагрузки.

Касательное напряжение  $\tau$  в плоскости сдвига, соответствующее нагрузке  $F_u$ , принимают равным сопротивлению грунта сдвигу при данном нормальном напряжении  $\sigma$ :

$$\tau_u = \frac{F_u}{A},$$

где  $A$  – площадь поверхности сдвига, равная 40 см<sup>2</sup>.

#### Результаты определения сопротивления грунта сдвигу

Номер прибора	Нормальное напряжение в плоскости сдвига $\sigma$ , кПа	Величина предельной горизонтальной нагрузки $F_u$ , Н	Сопротивление грунта сдвигу $\tau_u$ , кПа
1	100	160	35
2	200	280	70
3	300	420	105

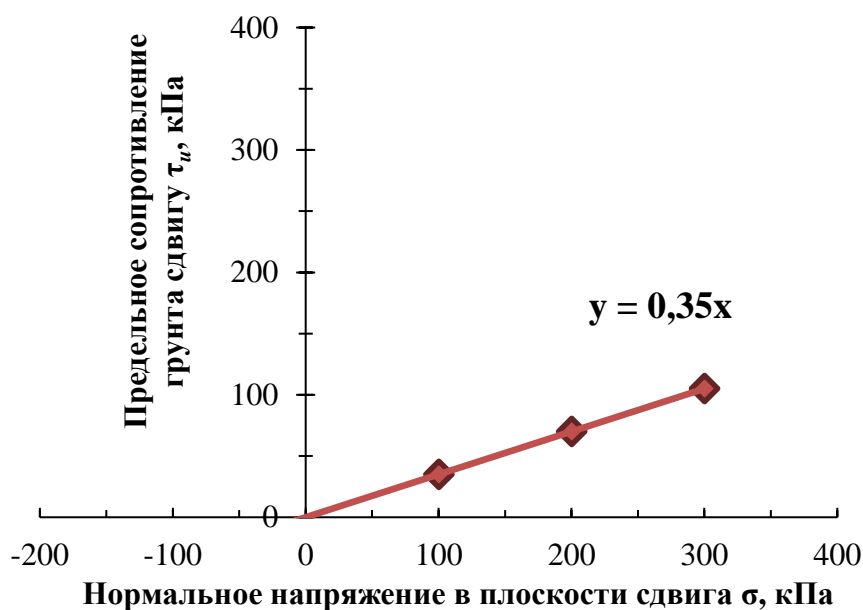


Рис. 2. График предельного сопротивления грунта сдвигу

**Вывод:** в ходе выполнения данной лабораторной работы были определены прочностные характеристики грунта:

коэффициент трения грунта  $f = \operatorname{tg} \varphi = 0,35$ ,

угол внутреннего трения грунта  $\varphi = \operatorname{arctg} (0,35) = 19,29^\circ$

удельное сцепление грунта  $c = 0$  кПа

## Лабораторная работа №8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ПЕСКА И ГЛИНИСТОГО ГРУНТА (ГОСТ 12248–2010)

**Цель работы** - определить модуль деформации песчаного и глинистого грунтов. Изучить характер развития осадки песка и глинистого грунта во времени.

**Объект исследования** – образцы песка и глинистого грунта ненарушенной структуры (монолиты) в кольцах.

**Материалы и оборудование:** одометр с глинистым грунтом – 2 шт., одометр с песком – 2 шт., рычажные прессы для приложения нагрузки, индикаторы перемещений, секундомер.

#### **Краткий ход работы:**

1. Уплотнение образцов грунта происходит в металлических рабочих кольцах одометров без возможности его бокового расширения. Высота образца грунта  $h = 20$  мм, а площадь торцевой поверхности  $A = 60$  см<sup>2</sup>
2. При подготовке опыта из монолитов грунта в кольца были отобраны образцы песка и глинистого грунта ненарушенной структуры, а в бюксы взяты пробы грунта для определения влажности.
3. Переносят показания индикаторов при  $p_0 = 0$  кПа в табл. Эти же отсчеты дублируют в следующей строке при  $p_1 = 50$  кПа и  $t = 0$ .
4. Прикладывают (добавляют) вторую ступень нагрузки к образцу глинистого грунта. Для этого на подвеску рычага плавно опускают гири весом 90 Н в этот момент замечают время по секундной стрелке.
5. Через 1 мин берут первый отсчет одновременно по двум индикаторам. Точно так же берут последующие отсчеты в моменты времени, указанные в табл.

### Результаты наблюдения за деформациями глинистого грунта

Интенсивность давления $p$ , кПа	Время от приложения данной ступени давления $t$	Отсчеты по индикаторам, мм			Прирост деформации от второй ступени давления $s$ , мм	Полная деформация при данном давлении, мм
		Левый	Правый	Среднее значение		
$p_0 = 0$	—				—	$\Delta h_0 = 0$
$p_1 = 50$	0	0	0	0	—	$\Delta h_1 = 0,5$
	24 ч.	1,221	5,821	3,521	—	
$p_2 = 200$	0	1,221	5,821	3,521	0,000	$\Delta h_2 = 1,839$
	1 мин	2,191	6,580	4,386	0,865	
	2 мин	2,228	6,612	4,420	0,899	
	3 мин	2,312	6,633	4,473	0,952	
	5 мин	2,369	6,658	4,514	0,993	
	10 мин	2,465	6,700	4,583	1,062	
	20 мин	2,610	6,751	4,681	1,160	
	30 мин	2,691	6,789	4,740	1,219	
	60 мин	2,862	6,851	4,860	1,339	

### Результаты наблюдения за деформациями песка

Интенсивность давления $p$ , кПа	Время от приложения данной ступени давления $t$	Отсчеты по индикаторам, мм			Прирост деформации от второй ступени давления $s$ , мм	Полная деформация при данном давлении, мм
		Левый	Правый	Среднее значение		
$p_0 = 0$	—	0	0	0	—	$\Delta h_0 = 0,0$
$p_1 = 50$	0	0	0	0	—	$\Delta h_1 = 0,5$
	24 ч.	0,109	0,051	0,080	—	
$p_2 = 200$	0	0,109	0,051	0,080	0,000	$\Delta h_2 = 0,752$
	1 мин	0,441	0,200	0,321	0,241	
	2 мин	0,442	0,204	0,323	0,243	
	3 мин	0,442	0,205	0,324	0,244	
	5 мин	0,442	0,208	0,325	0,245	
	10 мин	0,443	0,210	0,327	0,247	
	20 мин	0,445	0,215	0,330	0,250	
	30 мин	0,446	0,217	0,332	0,252	

### Результаты определения коэффициентов пористости

Грунт	Интенсивность давления $p$ , кПа	Полная деформация при данном давлении $\Delta h_i$	Изменение коэффициента пористости $\Delta e_i = \frac{\Delta h_i}{h} (1 + e_0)$	Коэффициент пористости $e_i = e_0 - \Delta e_i$
Глинистый грунт	$p_0 = 0$	$\Delta h_0 = 0,000$	0,000	$e_0 = 1,100$
	$p_1 = 50$	$\Delta h_1 = 0,500$	0,042	$e_1 = 1,058$
	$p_2 = 200$	$\Delta h_2 = 1,839$	0,154	$e_2 = 0,946$
Песок	$p_0 = 0$	$\Delta h_0 = 0,000$	0,000	$e_0 = 0,800$
	$p_1 = 50$	$\Delta h_1 = 0,500$	0,036	$e_1 = 0,764$
	$p_2 = 200$	$\Delta h_2 = 0,752$	0,054	$e_2 = 0,746$

Примечания: 1. Высота образца грунта до приложения нагрузки  $h = 25$  мм.  
 2. Коэффициенты пористости грунтов до приложения нагрузки:  $e_0 = 0,8$  – для песка;  $e_0 = 1,1$  – для глинистого грунта.

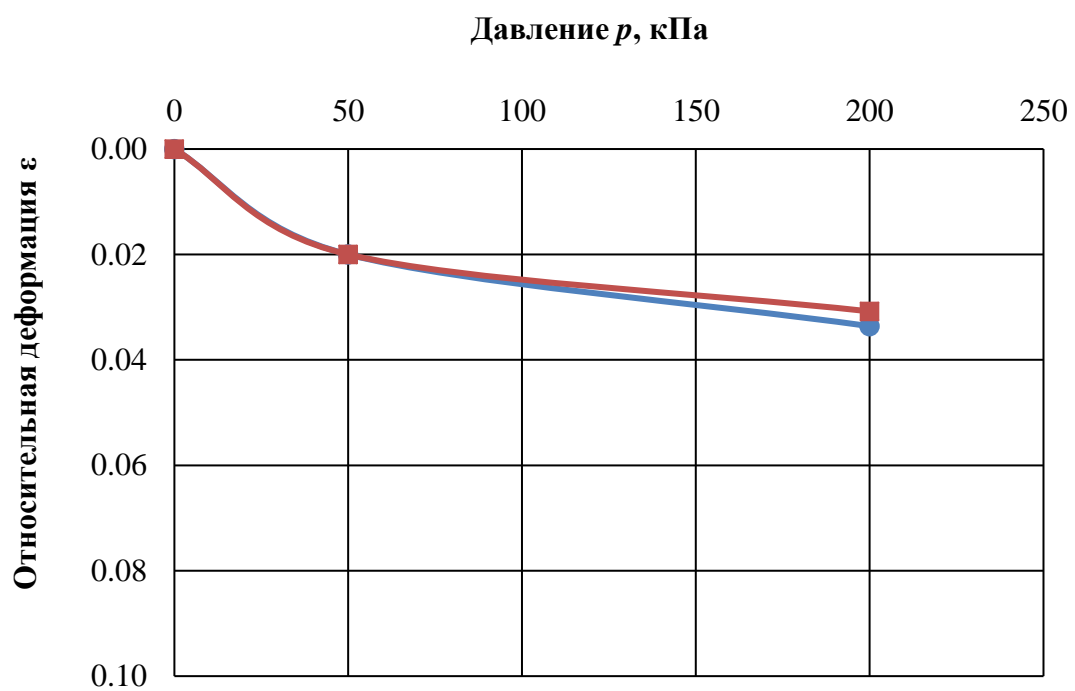
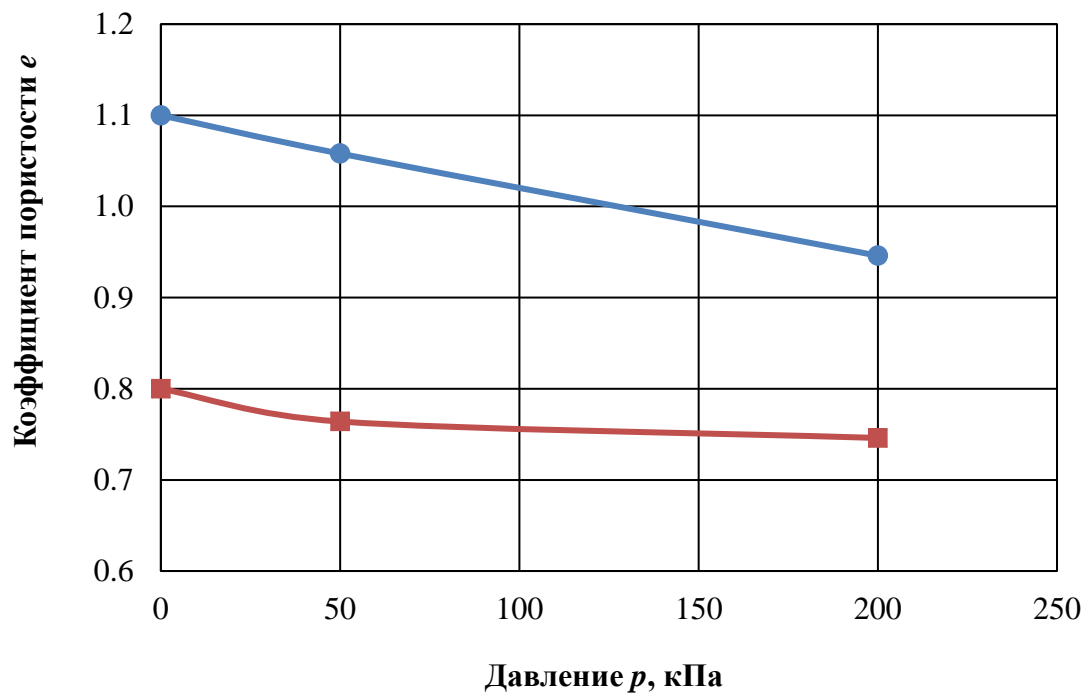


Рис. 3. Компрессионные кривые для песка ( —■— ) и глинистого грунта ( —●— )

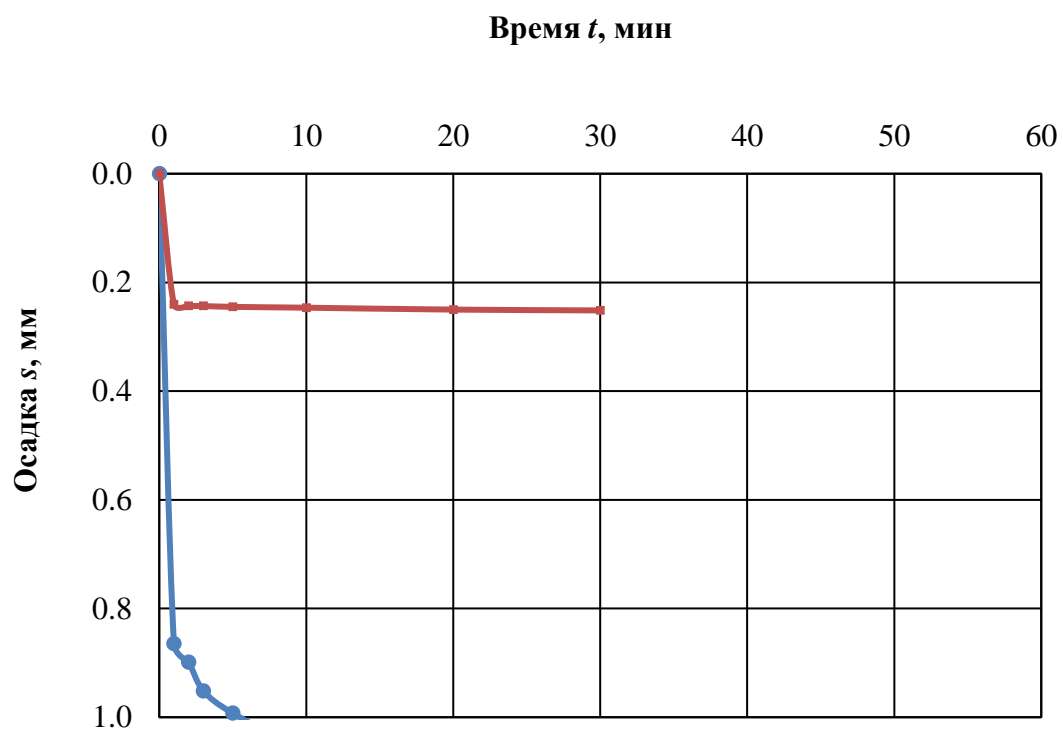


Рис. 4. Графики развития осадок для песка ( —■— )  
и глинистого грунта ( —●— )

## Деформационные характеристики глинистого грунта

Относительные вертикальные деформации

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h_1}{h} = \frac{0,5}{25} = 0,02;$$
$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta h_2}{h} = \frac{1,839}{25} = 0,0336.$$

Коэффициент сжимаемости

$$m_0 = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} = \frac{1,058 - 0,946}{0,15} = 0,747 \text{ МПа}^{-1}.$$

Относительный коэффициент сжимаемости

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0} = \frac{0,747}{1 + 1,1} = 0,356 \text{ МПа}^{-1}.$$

Модуль деформации по данным компрессионных испытаний

$$E = \frac{\beta}{m_v} = \frac{0,6}{0,356} = 1,685 \text{ МПа},$$

где  $\beta$  – коэффициент учитывающий невозможность бокового расширения грунта в компрессионном приборе и зависящий от коэффициента относительной поперечной деформации грунта  $\nu$

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}.$$

Для суглинков при отсутствии экспериментальных данных допускается принимать  $\beta = 0,6$ .

Согласно ГОСТ 25100–2011 глинистый грунт – очень сильно деформируемый



## Деформационные характеристики песка

Относительные вертикальные деформации

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h_1}{h} = \frac{0,5}{25} = 0,02;$$
$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta h_2}{h} = \frac{0,752}{25} = 0,030.$$

Коэффициент сжимаемости

$$m_0 = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} = \frac{0,764 - 0,746}{0,15} = 0,120 \text{ МПа}^{-1}.$$

Относительный коэффициент сжимаемости

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0} = \frac{0,120}{1 + 0,8} = 0,067 \text{ МПа}^{-1}.$$

Модуль деформации по данным компрессионных испытаний

$$E = \frac{\beta}{m_v} = \frac{0,8}{0,067} = 11,94 \text{ МПа},$$

где  $\beta$  – коэффициент учитывающий невозможность бокового расширения грунта в компрессионном приборе и зависящий от коэффициента относительной поперечной деформации грунта  $\nu$

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}.$$

Для песков при отсутствии экспериментальных данных допускается принимать  $\beta = 0,8$ .

Согласно ГОСТ 25100–2011 песок - деформируемый

**Вывод:** в ходе данной лабораторной работы были определены модули деформации песка и глинистого грунта в условиях компрессионного сжатия, при котором деформирование грунта происходит в вертикальном направлении без возможности горизонтального расширения. Исходя из значений модуля деформации, было определено, что глинистый грунт – очень сильно деформируемый ( $E=1,685\text{Мпа}$ ), а песок – деформируемый ( $E=11,94\text{Мпа}$ ).

Также были построены компрессионные кривые для песка и глинистого грунта и графики развития осадок для песка и глинистого грунта.