

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к выполнению лабораторных работ по дисциплинам**

**ОСНОВЫ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ**

*(для студентов всех форм обучения, направления подготовки  
6.060101 – «Строительство»)*

**МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

*(для студентов всех форм обучения, направления подготовки  
6.060103 – «Гидротехника (водные ресурсы)»)*

**Харьков  
ХНУМГ  
2014**

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам: «Основы механики грунтов» (для студентов всех форм обучения, направления подготовки 6.060101 – «Строительство»), «Механика грунтов, основания и фундаменты» (для студентов всех форм обучения, направления подготовки 6.060103 – «Гидротехника (водные ресурсы)») / Харьк. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова; сост. : А. Г. Рудь, О. В. Гаврилюк, А. М. Левенко. – Х. : ХНУГХ, 2014. – 35 с.

Составители: А. Г. Рудь  
О. В. Гаврилюк  
А. М. Левенко

Рецензент: М. Ф. Бронжаев

*Рекомендовано кафедрой МГФиИГ, протокол № 10 от 28.05.2014*

## **Лабораторная работа № 1**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА ВЕСОВЫМ СПОСОБОМ**

#### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1. Ознакомиться с методами определения влажности.
2. Ознакомиться с применяемым оборудованием.

#### **НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:**

1. Бюксы.
2. Технические весы с разновесами (электронные весы).
3. Сушильный шкаф.
4. Эксикатор.
5. Грунт.

#### **ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ**

1. Для определения влажности весовым способом бюкс примерно на 2/3 объема нужно заполнить исследуемым грунтом. При этом масса пустого бюкса и его индекс должны быть установлены заранее. Индекс представляет собою дробь, числителем которой является номер крышки бюкса, а знаменателем – номер корпуса.

2. Бюкс вместе с грунтовой пробой следует взвесить на технических весах с точностью до 0,01 г и поместить в сушильный шкаф. Просушивание грунта производят при температуре 100 – 105 °С до постоянной массы пробы.

3. Бюкс с высушенным грунтом надо поместить в эксикатор для охлаждения, после чего производить взвешивание.

4. Влажность весовым способом необходимо определять по формуле:

$$W = \frac{q_1 - q_2}{q_2 - q_3},$$

где  $q_1$  – масса бюкса с грунтом до высушивания, г.;

$q_2$  – масса бюкса с грунтом после высушивания, г.;

$q_3$  – масса пустого бюкса, г.

5. Произведите пять испытаний, полученные данные поместите в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Журнал определения влажности весовым способом

№ опыта	Индекс бюкса	Масса бюкса с влажным грунтом $q_1, \text{г}$	Масса бюкса с сухим грунтом $q_2, \text{г}$	Масса пустого бюкса $q_3, \text{г}$	Влажность $W, \%$	Среднее значение влажности $W, \%$
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						

Примечание:  $W$  вычисляют с точностью до 0,01.

## Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методами определения пределов пластичности.
2. Ознакомиться с применяемым оборудованием.

#### НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

1. Бюксы.
2. Технические весы с разновесами (электронные весы).
3. Металлический стаканчик или круглодонная чашка.
4. Шпатель.
5. Балансирный конус.
6. Резиновая пластина.
7. Технический вазелин.
8. Колба с водой.
9. Грунт.

#### ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

Лабораторная работа проводится в два этапа.

- I. Определение верхнего предела пластичности;
- II. Определение нижнего предела пластичности.

## I. Определение верхнего предела пластичности.

1. Для определения верхнего предела пластичности (границы текучести) приготовленную грунтовую пасту поместить с помощью шпателя в металлический стаканчик или круглодонную чашку (рис. 2.1). Поверхность грунтовой пасты выровнять в уровень с краями стаканчика.

2. Стандартный конус, острие которого должно быть смазано тонким слоем вазелина, установить на поверхность грунтовой пасты и дать возможность погрузиться в грунт под влиянием собственной массы.

Если конус погружается в течение 5 сек на глубину 10 мм, т.е. до круговой черты, граница текучести считается достигнутой. В противном случае изменить консистенцию грунта таким образом, что бы получить совмещение круговой черты с поверхностью пасты.

3. После испытания конусом грунтовую пасту поместить в бюкс и определить влажность весовым способом, которая в данном случае будет верхним пределом пластичности грунта.

4. Произвести пять испытаний влажности грунта, полученные результаты поместить в табл. 2.1.

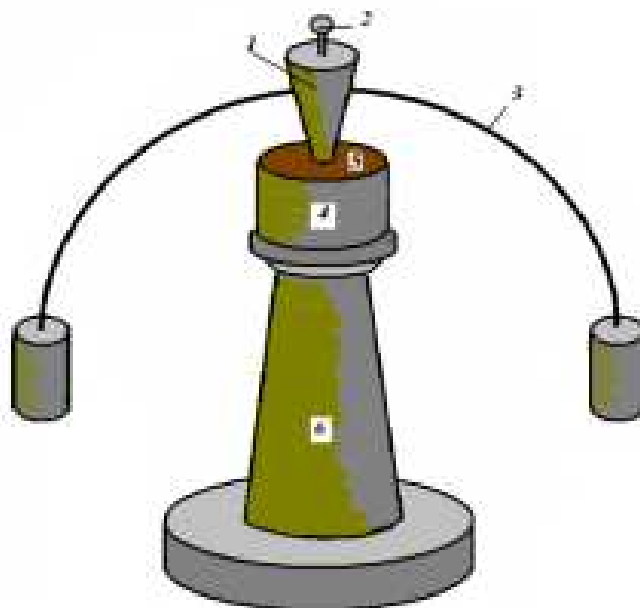


Рис. 2.1 – Схема определения верхнего предела пластичности (границы текучести) методом балансного конуса:

*1 – собственно конус; 2 – ручка; 3 – балансирующее устройство;  
4 – стаканчик; 5 – грунтовая паста; 6 – подставка.*

Таблица 2.1 – Журнал определения границы текучести

№ пп	Индекс бюкса	№ опыта	Масса бюкса с влажным грунтом, г	Масса бюкса с сухим грунтом, г	Масса пустого бюкса, г	Верхний предел пластичности $W_L, \%$	Среднее значение верхнего предела $W_L, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							
3							
4							
5							

Примечание:  $W_L$  вычисляют с точностью до 0,01.

## II. Определение нижнего предела пластичности.

1. Для определения нижнего предела пластичности (границы раскатывания) 15-20 г грунта густой консистенции.

Пасту раскатать ладонью с сомкнутыми пальцами на резиновой пластинке (рис. 2.2). Раскатывание производить с легким нажимом до появления на поверхности шнура диаметром около 3 мм отдельных трещин и разломов. При этих условиях граница раскатывания считается достигнутой. В противном случае изменить консистенцию грунта, т.е. подсушивать или увлажнять пасту с целью добиться появления разломов в шнуре при указанном диаметре.

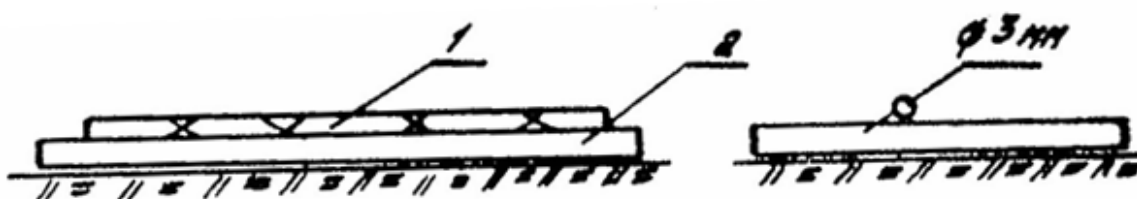


Рис. 2.2 – Схема определения нижнего границы раскатывания. 1 – грунтовый шнур; 2 – резиновая пластинка.

2. Обломки шнура после раскатывания поместить в бюкс и определить влажность весовым способом, которая в данном случае будет нижним пределом пластичности грунта.

3. Произвести пять испытаний влажности грунта, полученные результаты поместить в табл. 2.2.

Таблица 2.2. – Журнал определения границы текучести

№ опыта	Индекс бюкса	Масса бюкса с влажным грунтом, г	Масса бюкса с сухим грунтом, г	Масса пустого бюкса, г	Нижний предел пластичности $W_p, \%$	Среднее значение нижнего предела $W_p, \%$
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						

Примечание:  $W_p$  вычисляют с точностью до 0,01.

### Лабораторная работа № 3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ВЛАЖНОГО ГРУНТА МЕТОДОМ РЕЖУЩЕГО КОЛЬЦА

В большинстве случаев объемную массу грунта ( $\gamma$ ) определяют методом режущего кольца (рис. 3.1).

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методами определения объемной массы.
2. Ознакомиться с применяемым оборудованием.
3. Установить, где используется показатель объемной массы.

### НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

1. Режущее кольцо.
2. Пробоотборник.
3. Технические весы с разновесами (электронные весы).
4. Лабораторный нож.
5. Штангенциркуль или линейка.
6. Стеклянные пластинки.
7. Монолит грунта.

### ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. Режущее кольцо, номер которого известен, взвешивают и определяют его внутренний объем.

$$V = \pi R^2, \text{ см}^2$$

2. Сочлененное с пробоотборником режущее кольцо вдавливают в грунт на глубину, несколько превышающую высоту кольца.

Монолит ниже режущей кромки подрезают лабораторным ножом, пробоотборник удаляют, а кольцо с грунтом переносят на стеклянную пластинку для дальнейшей обработки.

3. Обработка заключается в удалении излишков грунта и зачистке торцовых частей грунтового цилиндра вровень с краями кольца.

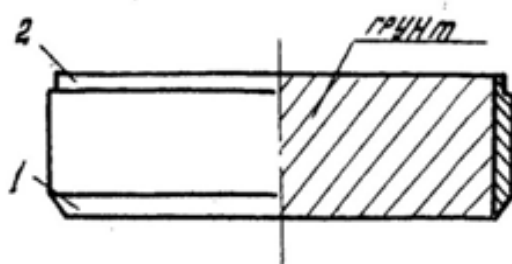


Рис. 3.1- Режущее кольцо. 1 – режущая кромка; 2 – кольцевая выточка.

Подготовленный грунт вместе с кольцом взвешивают. Взвешивания производят с точностью до 0,01 г.

Если грунт в кольце удерживается слабо, торцевые части кольца снабжают перед взвешиванием обкладками из стеклянных пластинок, собственная масса которых учитывается.

4. Объемную массу определяют по формуле

5.

$$\gamma = \frac{q_1 - q_2}{V},$$

где  $\gamma$  – объемная масса грунта, кг/см<sup>3</sup>;

$q_1$  – масса грунта с режущим кольцом, г;

$q_2$  – масса режущего кольца, г;

$V$  – внутренний объем кольца см<sup>3</sup>.

Произвести пять испытаний, полученные результаты поместить в табл.

3.1.

Таблица 3.1 – Журнал определения объемной массы грунта

№ опыта	№ кольца	Масса кольца с грунтом, $q_1$ , г	Масса кольца, $q_2$ , г	Объем кольца $V = \frac{\pi d^2}{4} h$ , см <sup>3</sup>	Объемная масса грунта $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Среднее значение объемной массы грунта $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7

Примечание:  $\gamma$  вычисляют с точностью до 0,03 г/см



## Лабораторная работа № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методами определения плотности грунта.
2. Ознакомиться с применяемым оборудованием.
3. Установить значения плотности для различных грунтов. Плотность грунта устанавливают с помощью пикнометра (рис. 4.1).

В большинстве случаев плотность грунтов колеблется в сравнительно узких пределах, поэтому при приближенных расчетах ее можно принять ориентировочно:

Для песков	– 2,65 – 2,67
Для супесей	– 2,67 – 2,68
Для суглинков	– 2,68 – 2,70
Для глин	– 2,70 – 2,72 г/см <sup>3</sup>

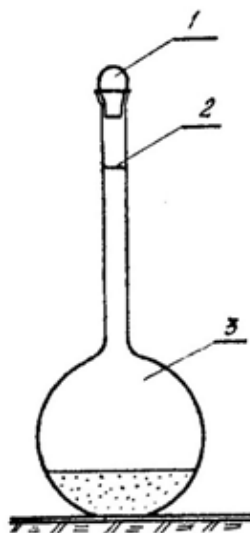


Рис. 4.1 – Пикнометр:  
1 – пробка; 2 – круговая черта; 3 – колба

#### НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

1. Пикнометр емкостью 100 см<sup>3</sup>.
2. Сушильный шкаф.
3. Технические весы с разновесами (электронные весы).
4. Ступка с пестиком.
5. Сито с отверстиями 2мм.
6. Песчаная баня.
7. Дистиллированная вода.
8. Грунт.
9. Лист бумаги, линейка.

## ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. Устанавливают номер пикнометра и определяют его массу. Все необходимые в лабораторной работе взвешивания выполняют с точностью до 0,01 г.

2. Исследуемый грунт в воздушно-сухом состоянии растирают в фарфоровой ступке, просеивают через сито с отверстиями 2 мм на лист бумаги, линейкой равномерно распределяют по листу бумаги и делят на квадраты со стороной 3-4 см. Среднюю пробу (не менее 15 г) отбирают со всей площади и помещают в пикнометр.

3. Точную массу грунтовой пробы, попавшей в пикнометр, определяют как разность между массой пикнометра с грунтом ( $q_2$ ) и массой пустого пикнометра ( $q_1$ ). В массу грунтовой пробы вводят поправку на гигроскопическую влажность, тогда эта масса будет равна

$$q_0 = \frac{q_2 - q_1}{1 + W},$$

где  $W$  – влажность испытываемого грунта, определяют весовым способом (для предварительных расчетов можно принимать  $W=0,1$ ).

4. В пикнометр добавляют 30-50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Образовавшуюся смесь кипятят на песчаной бане в течении 30 (грубодисперсные грунты) или 60 мин (мелкодисперсные грунты).

Кипячение способствует разрушению агрегатных частиц и вытеснению воздуха из грунта. Для засоленных грунтов вместо воды применяют керосин.

5. После кипячения в пикнометр добавляют дистиллированную воду в уровень круговой черты. Затем прибор с его содержанием охлаждают до комнатной температуры и взвешивают ( $q_3$ ). В момент взвешивания необходимо еще раз удостовериться в совпадении мениска с круговой чертой и в случае необходимости скорректировать его положение.

6. Пикнометр освобождают от содержимого, промывают, наполняют дистиллированной водой в уровень круговой черты и взвешивают ( $q_4$ ).

7. Плотность грунта находят по формуле

$$\gamma_s = \frac{q_0}{q_0 + q_4 - q_3} * \gamma_w, \text{ (кг/см}^3\text{)}$$

где  $\gamma_s$  – плотность грунта;

$q_0$  – масса грунта, находящегося в колбе пикнометра, с поправкой на гигроскопическую влажность;

$q_4$  – масса пикнометра с водой, залитой до круговой черты;

$q_3$  – масса пикнометра с грунтом и водой, залитой до круговой черты;

$\gamma_w$  – плотность воды, равная 1,0 г/см<sup>3</sup>.

5. Произвести пять испытаний, полученные результаты поместить в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Журнал определения плотности грунта

№ опыта	№ пикнометра	Масса пикнометра, $q_1, г$	Масса пикнометра с грунтом, $q_2, г$	Влажность грунта $W, \%$	Масса грунта с поправкой на гигроскопическую влажность, $q_6, г$	Масса пикнометра с грунтом и водой до мерной черты, $q_3, г$	Масса пикнометра с водой до мерной черты, $q_4, г$	Плотность грунта, $\gamma_s, кг/см^3$	Среднее значение плотности грунта $\gamma_s, кг/см^3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									
4									
5									

Примечание:  $\gamma$  вычисляют с точностью до  $0,03 г/см^3$ .

### Лабораторная работа № 5

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА, ПОЛУЧАЕМЫХ РАСЧЕТОМ

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с таблицами ДСТУ Б.В.2.1-2-96, методом расчета и определения физических характеристик.

2. Ознакомиться с физическими характеристиками по монограммам.

Для оценки строительных свойств грунтов основания кроме показателей, устанавливаемых лабораторным методом, применяют ряд характеристик, которые могут быть получены расчетом. Исходными данными для таких расчетов служат результаты испытаний, полученные в предыдущих лабораторных работах. Кроме того, для песчаных грунтов могут быть также использованы имеющиеся в лаборатории результаты определений влажности, объемной массы и плотности применяемого песка.

### А. Глинистые грунты

Число пластичности

$$J_p = W_L - W_p,$$

По числу пластичности устанавливается наименование глинистого грунта (таблица 5.1 согласно ДСТУ Б.В.2.1-2-96 Грунти, класифікація).

*Таблица 5.1 – Виды глинистых грунтов*

Наименование	Число пластичности, $I_p$ %
Супесь	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 \leq I_p \leq 17$
Глина	$I_p \leq 17$

Примечание: число пластичности вычисляют с точностью до 0,01

Показатель консистенции (согласно ДСТУ Б.В.2.1-2-96 Грунти, класифікація).

$$J_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P},$$

По консистенции глинистые грунты делятся на:

- а) супеси – твердые, пластичные, текучие;
- б) суглинки и глины – твердые, полутвердые, тугопластичные, мягкопластичные, текучепластичные, текучие.

Показатель консистенции вычисляют с точностью до 0,01

### **Объемная масса скелета грунта**

$$\gamma_{ск} = \frac{\gamma}{1+W}, \text{ г/см}^3$$

Этот показатель вычисляют с точностью до 0,01 г/см<sup>3</sup>

### **Коэффициент пористости**

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_{ск}},$$

Использование в качестве естественного основания глинистых грунтов с коэффициентом пористости для супесей  $e > 0,7$ , суглинков  $e > 1,0$  и глин  $e > 1,1$  нежелательно.

Коэффициент пористости вычисляют с точностью до 0,001.

### **Пористость**

$$n = \frac{e}{1+e} * 100\%,$$

Этот показатель вычисляют с точностью до 0,01%

## Взвешенная объемная масса

$$\gamma_{вз} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1+e}, \text{ г/см}^3$$

Взвешенную объемную массу используют при расчете физико-механических характеристик грунтов, находящихся ниже уровня грунтовых вод. Вычисляют с точностью до 0,01 г/см<sup>3</sup>.

Условное расчетное давление на грунт основания  $R_0$  определяют согласно ДСТУ Б.В.2.1-2-96 Грунти, класифікація. При этом табличное значение  $R_0$  является приближенной величиной в предварительных расчетах основания (таблица 5.2).

*Таблица 5.2. – Условное расчетное давление на глинистые грунты*

<i>Глинистые грунты</i>	<i>Коэффициент пористости грунта</i>	<i>R<sub>0</sub> кПа (кгс/см<sup>2</sup>) при консистенции грунта</i>	
		<i>J<sub>L</sub>=0</i>	<i>J<sub>L</sub>=1</i>
Супеси	0,5	300 (3)	300 (3)
	0,7	250 (2,5)	200 (2)
Суглинки	0,5	300 (3)	250 (2,5)
	0,7	250 (2,5)	180 (1,8)
	1,0	200 (2)	100 (1)
Глины	0,5	600 (6)	400 (4)
	0,6	500 (5)	300 (3)
	0,8	300 (3)	200 (2)
	1,1	250 (2,5)	100 (1)

## Просадочные свойства грунтов

По предварительной оценке к просадочным грунтам относятся лессы и лессовидные грунты, для которых величину показателя  $\Pi$  устанавливают по формуле

$$\Pi = \frac{e_L - e}{1+e},$$

И табл. 5.3 согласно ДСТУ Б.В.2.1-2-96 Грунти, класифікація, где

$e_L = W_L = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$  – коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести.

Таблица 5.3 – Журнал оценки просадочности грунта

<b>Число пластичности <math>J_p</math></b>	$0,01 < J_p < 0,1$	$0,1 < J_p < 0,14$	$0,14 < J_p < 0,22$
<b>Показатель <math>I</math></b>	0,1	0,17	0,24

### Б. Песчаные грунты

Для песчаных грунтов аналогичным образом и по тем же формулам определяются показатели  $\sigma_{ск}$ ,  $e$ ,  $n$ ,  $\sigma_{вз}$ . Кроме того, дополнительно рассчитывают степень влажности  $G$ .

По величине коэффициента пористости  $e$  песчаные грунты разделяются на плотные, средней плотности и рыхлые (табл. 5.4 согласно ДСТУ Б.В.2.1-2-96 Грунти, класифікація)

Таблица 5.4

Виды песчаных грунтов	Плотность сложения песчаных грунтов		
	Плотные	Средней плотности	рыхлые
Пески гравелистые, крупные и средней крупности	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,7$	$e > 0,7$
Пески мелкие	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Пески пылеватые	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$

### Число пластичности

$$G = \frac{W * \gamma_s}{e * \gamma_w}$$

где  $\gamma_w$  – плотность грунтовой воды, принимаемая в технических расчетах равной  $1,0 \text{ г/см}^3$ ;

$W$  – весовая влажность.

По степени влажности песчаные грунты бывают маловлажными, влажными, насыщенными водой.

Степень влажности вычисляют с точностью до 0,01.

Условное расчетное сопротивление на грунт основания  $R_0$  для песчаных грунтов определяют по таблице 5.5 согласно ДСТУ Б.В.2.1-2-96.

Таблица 5.5 – Условное расчетное давление на песчаные грунты

<i>Песчаные грунты</i>	<i>Условное расчетное давление на песчаные грунты <math>R_0</math> кПа (кгс/см<sup>2</sup>)</i>	
	<i>Плотные</i>	<i>Средней плотности</i>
Пески крупные независимо от влажности	600 (6)	500 (5)
Пески средней крупности не зависимо от влажности	500 (5)	400 (4)
Пески мелкие: А) маловлажные	400 (4)	300 (3)
Б) влажные и насыщенные водой	300 (3)	200 (2)
Пески пылеватые: А) маловлажные	300 (3)	250 (2,5)
Б) влажные	200 (2)	150 (1,5)
В) насыщенные водой	150 (1,5)	100 (1)

Для рыхлых песков значения  $R_0$  не устанавливаются.

### **Лабораторная работа № 6**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСКА**

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1. Ознакомиться с методами определения гранулометрического состава песка.

2. Научиться пользоваться методом гранулометрического состава при помощи набора сит.

Результаты определения гранулометрического состава позволяют классифицировать песчаный грунт по крупности частиц, а также установить степень их неоднородности.

Разновидность песка по крупности устанавливают, пользуясь классификационной таблицей (табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Виды песчаных грунтов

<i>Наименование песка</i>	<i>Распределение частиц по крупности (в процентах от веса сухого грунта)</i>
Крупный	Масса частиц крупнее 0,5 мм составляет более 50%
Средней крупности	Масса частиц крупнее 0,25 мм составляет более 50%
Мелкий	Масса частиц крупнее 0,1 мм составляет более 75%
Пылеватый	Масса частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75%

## НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

1. Набор сит с отверстиями 0,1; 0,25; 0,5 и 2мм.
2. Ступка с резиновым пестиком.
3. Электронные весы.
4. Алюминиевые чашки.
5. Песок.

## ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. Песчаный грунт в воздушно-сухом состоянии осторожно растирают резиновым пестиком для разрушения комков и структурных агрегатов.

2. Набор сит используют для составления колонны, начиная снизу, следующим образом: поддон – сито 0,5 мм – сито 1 мм – сито 2 мм – сито 5 мм – сито 10 мм – крышка.

3. Методом квадратов отбирают пробу грунта массой 100 г и переносят ее на верхнее сито составленной колонны.

Закрыв крышку, просеивают грунт посредством встряхивания колонны в горизонтальной плоскости в течении 3 минут.

Разъединив колонну, переносят в алюминиевые чашки остатки песчаных частиц с каждого сита и поддона, затем взвешивают их с точностью до 0,01 г.



Рис. 6.1 – Комплект сит для гранулометрического анализа.

1 – крышка; 2 – поддон

Определяют навязку как разность между первоначальной массой пробы и суммарной массой фракций. Навязку необходимо разделить пропорционально массе фракций.

4. Полученные данные помещают в табл. 6.2 и далее используют для построения графика суммарной кривой гранулометрического состава, которая дает возможность определить коэффициент неоднородности песчаного грунта по формуле



$$K_{\frac{60}{10}} = \frac{d_{60}}{d_{10}},$$

где  $K_{\frac{60}{10}}$  – коэффициент неоднородности

$d_{60}$  – диаметр частиц (в мм), меньше которого в данном грунте содержится по весу 60% частиц

$d_{10}$  – диаметр частиц (в мм), меньше которого в данном грунте содержится по весу 10% частиц

При  $K_{\frac{60}{10}} > 3$  к наименованию песчаных грунтов, кроме мелких и пылеватых, добавляют слово «неоднородный».

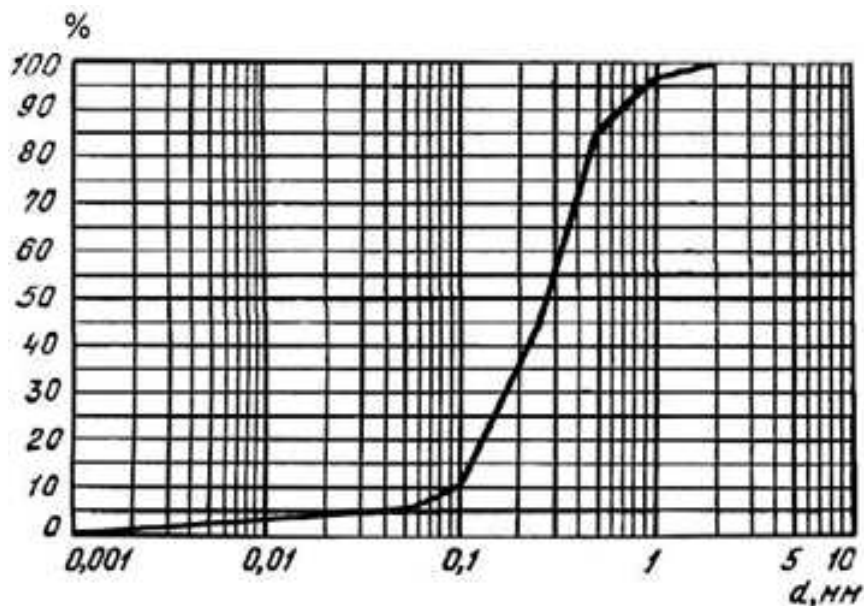


Рис. 6.2 Суммарная кривая гранулометрического состава песка

На рис. 6.2 в качестве примера приведена посторонняя в полуграфическом масштабе суммарная кривая гранулометрического состава и показан порядок определения по ней коэффициента неоднородности

Таблица 6.2 – Журнал определения гранулометрического состава песка

Показатели	Размер фракций, мм				
	>2	2 – 0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,1	<0,1
Масса тары, г					
Масса тары с остатками на ситах, г					
Содержание фракции, %					

## Лабораторная работа № 7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ НАБУХАНИЯ И ВЛАЖНОСТИ НАБУХАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться со случаями учета набухания глинистых грунтов в строительстве.
  2. Ознакомиться с одним из методов определения набухания грунтов.
- В лабораторной работе используется прибор для определения набухания грунтов (рис. 7.1).

#### НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

1. Прибор для определения набухания грунтов.
2. Режущее кольцо.
3. Технические весы с разновесами (электронные весы).
4. Лабораторный нож.
5. Бюксы.
6. Сушильный шкаф.
7. Фильтровальная бумага.
8. Грунт.
9. Вода.

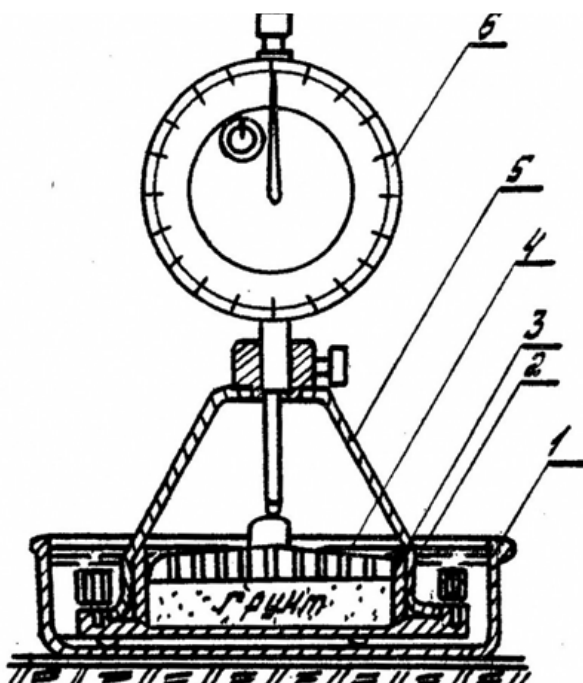


Рис. 7.1 – Прибор для определения набухания грунта  
1 – ванночка; 2 – перфорированный диск; 3 – кольцо; 4 – перфорированный поршень; 5 – скоба для крепления индикатора; 6 – индикатор часового типа

## ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. Режущее кольцо посредством вдавливания заполняют исследуемым грунтом, излишки которого срезают ножом вровень с краями кольца. Кольцо с грунтом взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г.

2. Приложив к торцовым частям грунтового образца слегка увлажненные обкладки из фильтровальной бумаги, кольцо помещают на перфорированный диск, закрепляют его при помощи скобы и опускают в ванночку. В верхней части скобы закрепляют индикатор часового типа таким образом, чтобы его ножка находилась в контакте с поршнем.

3. Отмечают начальное показание индикатора, после чего ванночку заполняют на 2/3 водой и замечают время заливки.

Следя за показаниями индикатора, записывают отсчеты через 2, 5, 10, 20, 30 мин и так далее через каждый час до тех пор, пока набухание не прекратится.

4. Кольцо с грунтом извлекают из прибора, взвешивают, затем после высушивания при температуре 105°C и охлаждения до комнатной температуры производят заключительное взвешивание.

5. Определяют начальную влажность грунта по формуле

$$W_H = \frac{q_0 - q_2}{q_2 - q_3}$$

Влажность набухания (конечная влажность) находят по уравнению:

$$W_K = \frac{q_1 - q_2}{q_2 - q_3}$$

где  $q_0$  – масса кольца с грунтом до замачивания, г;

$q_1$  – масса кольца с грунтом после замачивания, г;

$q_2$  – масса кольца с грунтом после замачивания (после набухания), г;

$q_3$  – масса кольца, г.

6. Определяют величину набухания по приращению высоты образца

$$\delta_H = \frac{h_K - h_H}{h_H}$$

где  $\delta_H$  – относительное набухание;

$h_K$  – конечная высота образца после набухания;

$h_H$  – начальная высота образца;

Таблица 7.1 – Журнал определения величины набухания и влажности набухания грунта

№ опыта	№ кольца	Масса кольца с грунтом до замачивания $q_0$ , г	Масса кольца с грунтом после набухания $q_1$ , г	Масса кольца с высушенным грунтом $q_2$ , г	Масса кольца $q_3$ , г	Начальная влажность грунта $W_H$	Влажность набухания грунта $W_K$	Начальная высота образца $h_n$ , мм	Высота образца после набухания $h_k$ , мм	Относительное набухание $\delta_H$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
2										
3										

Примечание: Показатель  $\delta_H$  вычисляют с точностью до 0,01.

### Лабораторная работа № 8

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ПЕСКА

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методами определения угла внутреннего трения песчаного грунта.

В лабораторных условиях для нахождения угла внутреннего трения песка применяют угломерные ящики.

На рис. 8.1 показана схема угломерного ящика системы И. М. Литвинова, выполненного из органического стекла, в котором имеются приемная камера 1 и распределительная камера 2.

Обе камеры разделены задвижкой 3. Ящик снабжен вертикальной масштабной линейкой 4 и горизонтальной линейкой 5. На торцовых частях угломерного ящика нанесена шкала тангенсов углов 6.

### НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

1. Угломерный ящик.
2. Лабораторный ящик.
3. Песок.
4. Вода.

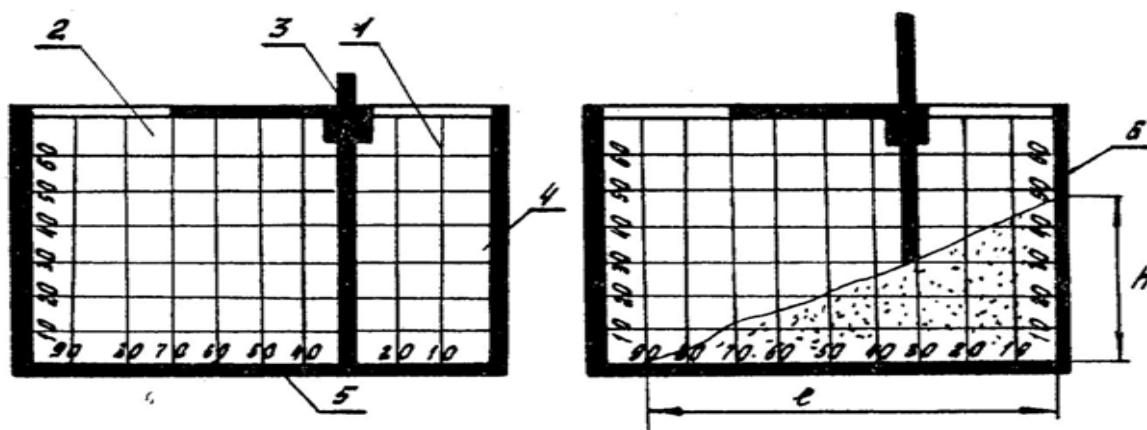


Рис. 8.1 - Угломерный ящик системы И.М. Литвинова.

1 – приемная камера; 2 – распределительная камера; 3 – задвижка; 4 – вертикальная линейка; 5 – шкала тангенсов

### ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. В приемную камеру угломерного ящика без уплотнения засыпают песок, излишки которого срезают ровень с краями ящика.

2. Установив угломерный ящик на твердую горизонтальную поверхность, осторожно поднимают задвижку. В результате формируется песчаная призма обрушения, которая на контактной поверхности ящика образует прямоугольный треугольник.

3. С помощью масштабных линеек измеряют катеты призмы обрушения  $h$  и  $l$ , а затем по выражению  $\varphi = \arctg \frac{h}{l}$  находят угол внутреннего трения песка  $f^\circ$ .

4. Определение угла  $f^\circ$  для насыщенного водой песка производят, предварительно замочив песок в угломерном ящике водой через отверстие в распределительной камере прибора.

5. После пятикратного проведения опыта находят среднюю величину угла внутреннего трения для сухого и насыщенного водой песка.

Результаты испытаний помещают в табл. 8.1.

Таблица 8.1. Журнал определения угла внутреннего трения песка

№ опыта	Высота откоса $h$ , см	Основание откоса $l$ , см	$\operatorname{tg}\varphi = \frac{h}{l}$	Угол естественного откоса $f^\circ$	Среднее значение $f_{cp}$
<b>А) песок в воздушном состоянии</b>					
<b>Б) песок в замоченном состоянии</b>					

Угол внутреннего трения определяют с точностью до  $10'$ .

## Лабораторная работа № 9

### ИСПЫТАНИЕ ГРУНТОВ НА СДВИГ

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с лабораторными методами определения параметров сопротивления грунта сдвигу.

2. Научиться пользоваться одним из методов для получения значений удельного сцепления ( $c^H$ ) и угла внутреннего трения ( $f$ ) глинистых грунтов.

Наиболее распространенными лабораторными приборами для определения параметров сдвига ( $c^H$  и  $f$ ) являются: прибор для предварительного уплотнения грунтов ГП-29 и стационарный прибор ГП-3Р для сдвига грунтов.

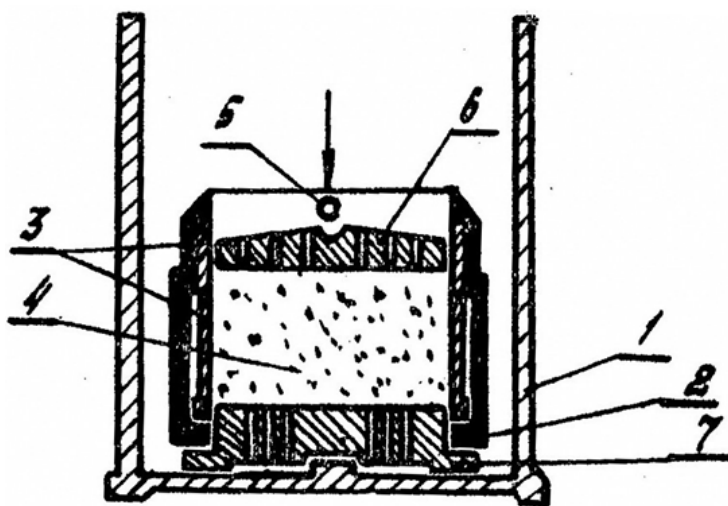


Рис. 9.1 – Схема камеры прибора для предварительного уплотнения грунта ГП-29

1 – металлическая ванна; 2 – обойма; 3 – двойное кольцо; 4 – грунт; 5 – шаровой шарнир; 6 – перфорированный поршень; 7 – перфорированный диск

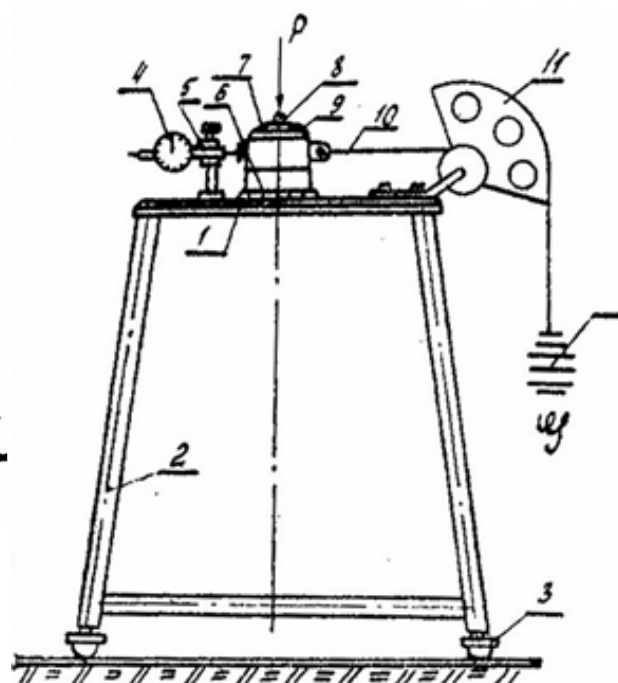


Рис. 9.2 – Схема стационарного сдвигового прибора ГПС – 30

1 – столик прибора; 2 – стойки; 3 – установочные винты; 4 – индикатор часового типа; 5 – стойка крепления индикатора; 6 – нижняя неподвижная обойма; 7 – верхняя подвижная обойма; 8 – шаровой шарнир; 9 – перфорированный поршень; 10 – тяга; 11 – рычаг; 12 – грузовая площадка

Двойное кольцо с грунтом во время испытаний помещается между верхней и нижней обоймами прибора. Уплотняющее давление при испытании

передается на грунт через шаровой шарнир 8 и перфорированный поршень 9. Тяга 10 передает усилие сдвига от гиревой нагрузки 12 через рычаг 11 на обойму 7. Передаточное число рычага  $I = 10$ .

### НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

1. Прибор для уплотнения грунта.
2. Сдвижной прибор.
3. Индикатор перемещения.
4. Инвентарные гири.
5. Фильтровальная бумага.
5. Грунт.

### ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. Три образца исследуемого грунта, заключенные в двойные кольца, помещают в ванны уплотнительного прибора. На 1-й образец грунта передают уплотняющее давление  $\sigma_1 = 1,0 \text{ кгс/см}^2$  (МПа), на 2-й –  $\sigma_2 = 2,0 \text{ кгс/см}^2$  (МПа), на 3-й –  $\sigma_3 = 3,0 \text{ кгс/см}^2$  (МПа).

2. По истечении 12 - 14 часов образцы извлекают из уплотнителя и переносят в сдвижной прибор, где испытывают на сдвиг при тех же уплотняющих давлениях  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ .

3. Во время испытания гиревую нагрузку наращивают ступенями таким образом, чтобы величина каждой ступени касательного напряжения в плоскости сдвига составляла  $0,1 - 0,2 \text{ кгс/см}^2$  (МПа). Сдвиг грунтового образца считается законченным, если наблюдается безостановочное движение верхней обоймы сдвижного прибора со скоростью не менее  $0,01 \text{ мм}$  в минуту.

4. Результаты испытания помещают в табл. 9.1 и используют для построения графиков сдвига. Пример построения графика сдвига показан на рис. 9.3.

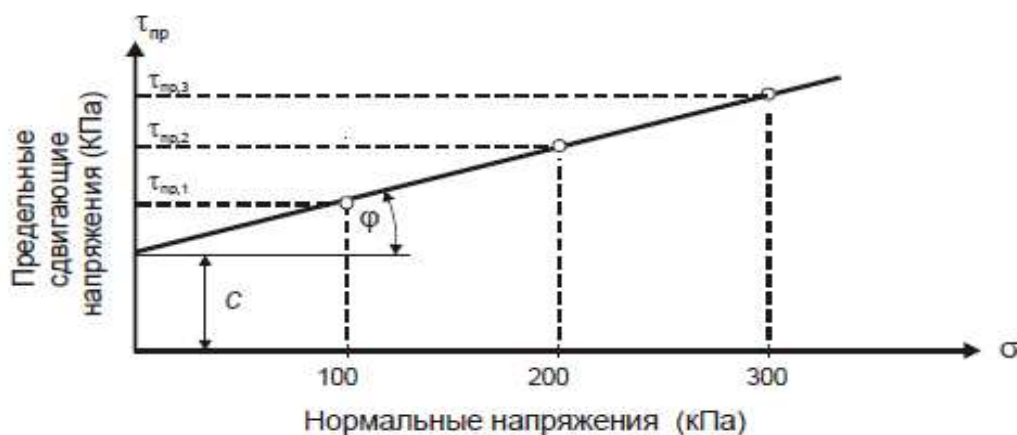


Рис. 9.3 – График зависимости предельных сдвигающих напряжений  $\tau_{\text{пред}}$  от нормальных напряжений  $\sigma$ .

Данные испытания служат для расчета угла внутреннего трения и удельного сцепления грунта по формулам:

$$tg\varphi = \frac{\tau_3 - \tau_1}{2},$$

$$c^H = \tau_1 - \sigma_1 tg\varphi, \text{ кгс/см}^2 \text{ (МПа)}.$$

где  $\tau_1$  – максимальное напряжение сдвига грунтового образца, испытанного при уплотняющем вертикальном давлении  $\sigma_1 = 1,0 \text{ кгс/см}^2 \text{ (МПа)}$ ;

$\tau_3$  – максимальное напряжение сдвига грунтового образца, испытанного при уплотняющем вертикальном давлении  $\sigma_3 = 3,0 \text{ кгс/см}^2 \text{ (МПа)}$ ;

Таблица 9.1 Журнал испытания глинистых грунтов на сдвиг

№ опыта	$P$ , кгс (Н) (вертикальное уплотняющее давление)	$F=40 \text{ см}^2$ (площадь кольца)	$\sigma = \frac{P*10}{F} \text{ кгс/см}^2 \text{ (МПа)}$ (нормальное вертикальное давление)	$G$ , кгс (Н) (горизонтальное усилие)	$\tau = \frac{G*10}{F} \text{ кгс/см}^2 \text{ (МПа)}$ (касательное напряжение сдвига)	$tg\varphi = \frac{\tau_3 - \tau_1}{2}$ (коэффициент внутреннего трения)	$\varphi^0$ (угол внутреннего трения)	$c^H \text{ кгс/см}^2 \text{ (МПа)}$ (удельное сцепление)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
2								
3								



## Лабораторная работа № 10

### КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЕ ГРУНТОВ

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с лабораторными методами определения сжимаемости грунтов.
2. Изучить физические явления, происходящие в грунте при сжатии.
3. Научиться пользоваться одним из методов для получения механических характеристик грунтов –  $a$ ,  $E_0$ ,  $e_p$ . С помощью компрессионных испытаний исследовать сжимаемость грунтов под нагрузкой.

Следует знать, что для испытаний грунта применяют компрессионные приборы (одеметры) различных систем. На рис. 10.1 схематически показано устройство одометра типа КП. Компрессионное кольцо 1 с исследуемым грунтом находится в компрессионной камере, которая состоит из обоймы 2 и соединенного с нею перфорированного диска 3. Шарнир 4 и перфорированный поршень 5 предназначены для передачи уплотняющего давления на грунт. Компрессионная камера установлена в ванне 6, которая служит водосборником в случае испытания насыщенных водой грунтов.

Усилие на шарнир передается через рычаг. Рычажная система на рис. 10.1 не показана.

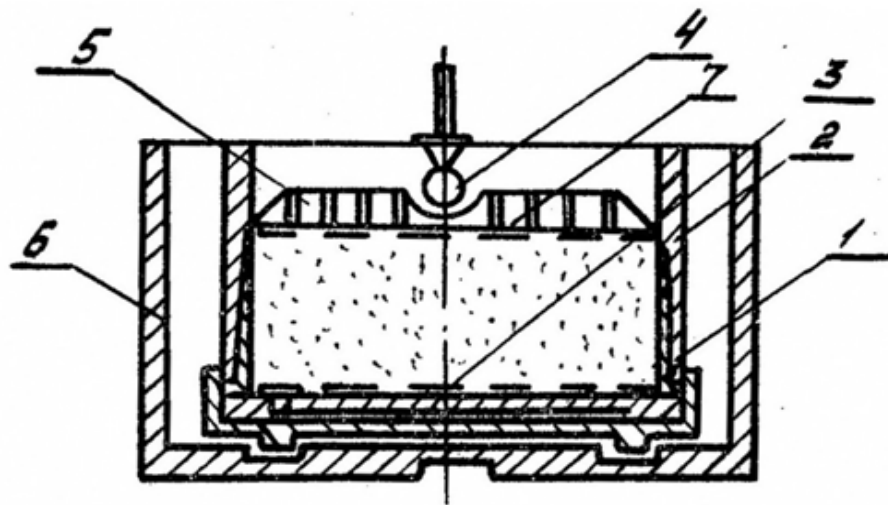


Рис. 10.1 – Схема одометра

1 – металлические кольцо; 2 – обоймы; 3 – перфорированный диск; 4 – шаровой шарнир; 5 – перфорированный поршень; 6 – ванна; 7 – прокладки из фильтровальной бумаги; 8 – грунт

В целях предотвращения выдавливания грунтовых частиц через отверстия в крышке и в донном диске грунтовый образец снабжается обкладками из фильтрованной бумаги 7, способной пропустить воду и задержать твердые частицы.

При загрузке одометра любой системы наблюдается некоторая подвижность его отдельных деталей в сочленениях. Такая подвижность условно называется деформацией прибора. Деформацию прибора и бумажных обкладок необходимо предварительно определить, чтобы уточнить величину деформации грунтового образца после испытания.

Загрузку исследуемого грунта производят ступенями по определенной схеме. На поршень прибора последовательно передают такие усилия, которые позволяют получить в камере одометра давления на грунт, равные 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 кгс/см<sup>2</sup> (МПа).

Гиревую нагрузку каждой ступени определяют с учетом передаточного числа рычага по формуле:

$$P = \frac{pF}{i}, \text{ кгс (н)}$$

где  $P$  – гиревая нагрузка на подвеске рычага;

$p$  – давление на грунт в камере одометра;

$F$  – площадь поперечного сечения образца;

$i$  – передаточное число рычага.

В одометре типа КП исследуемый грунтовой образец имеет площадь поперечного сечения  $F=40 \text{ см}^2$  и высоту  $h=2.0 \text{ см}$ . Передаточное число  $i=10$ .

После приложения уплотняющей нагрузки возникает деформация грунта, которая регистрируется индикатором часового типа с точностью до 0,01 мм.

Последующую ступень нагрузки передают на грунт после стабилизации осадки образца от предыдущей ступени.

Поскольку основная часть деформации развивается в течении первых 20-60 мин, вполне допустимо производить конечный отсчет по индикатору спустя 60 минут после начала загрузки образца очередной ступенью нагрузки.

Для выполнения компрессионного испытания рационально взять тот же грунт, который использовался в предыдущих лабораторных работах. В этом случае можно применить уже полученные ранее физические характеристики грунта.

### **А. Тарировка одометра**

Под тарировкой одометра понимают определение деформации прибора и бумажных обкладок для каждой ступени загрузки. Суммарное значение деформации прибора и обкладок называется тарировочной поправкой.

#### **Порядок определения тарировочной поправки**

1. В камеру одометра помещают несжимаемый при небольших давлениях металлический цилиндр – болванку, размеры которой точно соответствуют начальным размерам грунтового образца

2. К кронштейну компрессионного прибора присоединяют индикатор таким образом, чтобы его шток, вдвинутый в корпус индикатора, находился в контакте с крышкой одометра.

3. С помощью инвентарных гирь через каждые 2-3 мин на болванку передают давления по указанной выше схеме. Для каждой ступени загрузки

определяют тарировочную поправку по индикатору с точностью до 0,01 мм.

В качестве начального отсчета, т.е. показателя индикатора до начала испытания лучше всего иметь так называемый нулевой отсчет, при котором большая и малая стрелки на циферблате прибора совмещены с нулевыми делениями. В этом случае определение тарировочной поправки упрощается. Необходимо помнить, что по малой шкале индикатора нуль совпадает с цифрой «10», а на большой - с цифрой - «100».

4. Полученные данные помещают в табл. 10.1, а затем используют для построения графика тарировочной кривой, которой позволяет получить тарировочную поправку для любого промежуточного значения уплотняющего давления. Кроме того, по характеру кривой судят об исправности компрессионного прибора. Если кривая имеет плавное очертание и указывает на стабилизацию тарировочной поправки, то это свидетельствует об исправности одометра

Таблица 10.1

Уплотняющее давление $\sigma$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)	Тарировочная поправка $\Delta H$ , мм
0,00	
0,50	
1,00	
2,00	
3,00	
4,00	

В качестве примера на рис. 10.2 показана тарировочная кривая исправного одометра.

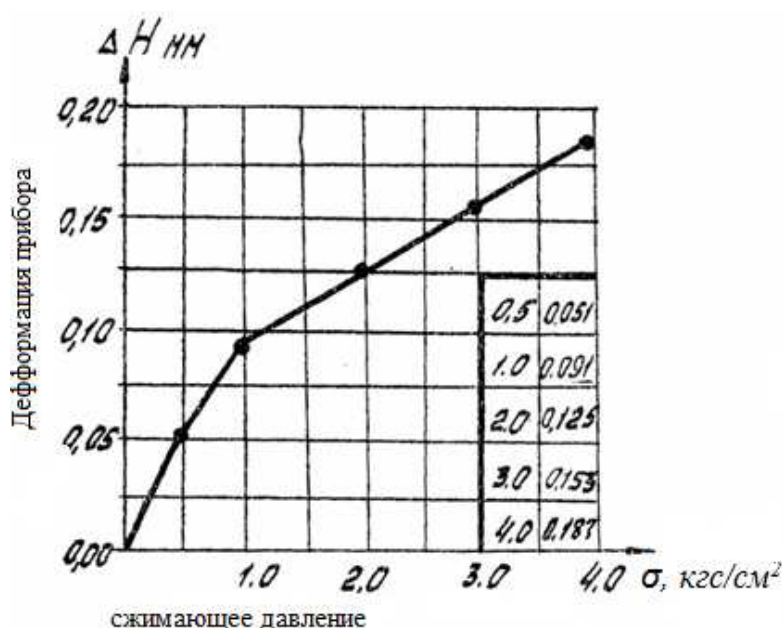


Рис. 10.2 – График тарировочной кривой

## Б. Компрессионное давление

### НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

1. Одометр.
2. Индикатор часового типа.
3. Гири.
4. Пробоотборник.
5. Лабораторный нож.
6. Фильтровальная бумага.
7. Грунт.

### ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. Компрессионное кольцо извлекают из камеры одометра и погружают посредством вдавливания в исследуемый грунт. Излишки грунта, выступающие за кромки кольца, срезают.

2. Отобранный грунт снабжают увлажненными бумажными обкладками и вместе с кольцом переносят в компрессионную камеру одометра. Сверху на грунт помещают перфорированную крышку, на которую устанавливают шток индикатора. После этого снимают начальный отсчет.

3. С помощью инвентарных гирь и рычага через каждый час на грунт передают давления по рассмотренной выше схеме. Для каждой ступени загрузки определяют общую деформацию по индикатору с точностью до 0,01 мм.

4. Результаты испытаний помещают в табл. 10.2, а затем используют для расчета компрессионных характеристик. По результатам испытаний строят график компрессионной кривой, которая в качестве примера приведена на рис. 10.3.

Расчет компрессионных характеристик выполняют в следующем порядке.  
Общая деформация

$$H = J_H - J_K, \text{ мм} \quad (18).$$

Деформация образца

$$\Delta h = H - \Delta H, \quad (19).$$

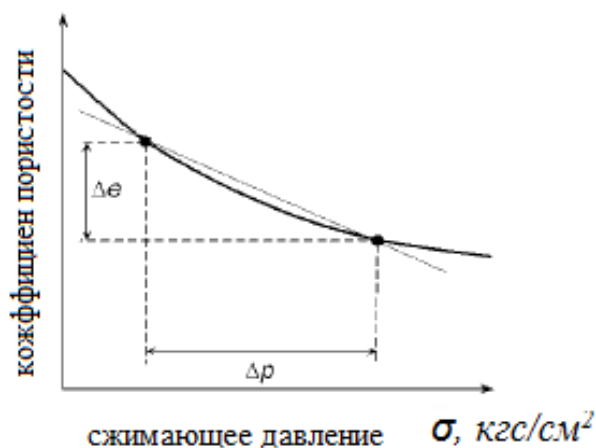


Рис. 10.3 – График компрессионной кривой

Таблица 10.2. Журнал определений компрессионных характеристик грунта

Уплотняющее давление $\sigma$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)	Время наблюдения	Отсчеты		Общая деформация, мм	Тарировочная поправка $\Delta H$ , мм	Деформация образца $\Delta h$ , мм	Приращение коэффициента пористости $\Delta e_n$	Коэффициент пористости при заданном давлении $e_n$	Коэффициент сжимаемости $a$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа).	Модуль общей деформации $E_0$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа).
		Начальный $J_H$	Конечный $J_K$							
0,00										
0,50										
1,00										
2,00										
3,00										
4,00										

Приращение коэффициента пористости

$$\Delta e_n = \frac{\Delta h}{h} (1 + e_0),$$

Коэффициент пористости при заданном давлении

$$e_n = e_0 - \Delta e_n,$$

Коэффициент сжимаемости

$$a = \frac{e_n - e_{n+1}}{\sigma_{n+1} - \sigma_n}, \text{ см}^2/\text{кгс} \left( \frac{\text{см}^2}{\text{н}} \right)$$

Модуль деформации

$$E_0 = \frac{1+e_0}{a} \beta, \text{ кгс/см}^2 \text{ (МПа)},$$

где  $J_H$  и  $J_K$  – начальный и конечный отсчеты по индикатору;

$h$  – начальная высота образца равная 20 мм;

$e_0$  - начальный коэффициент пористости (берут из лабораторной работы № 5);

$\beta$  – безразмерный коэффициент. Принимается равным: для глины – 0,4, для суглинка – 0,5, для супеси – 0,7, для песка – 0,8.

При построении компрессионной кривой градуировку вертикальной оси графика студент производит в зависимости от величины и интервала изменения коэффициента пористости во время испытания.

Необходимая точность вычислений: деформация образца – до 0,01 мм; приращение коэффициента пористости до 0,001; коэффициент сжимаемости – до 0,001 см<sup>2</sup>/кгс ( $\frac{\text{см}^2}{\text{н}}$ ); модуль общей деформации – до 0,01 кгс/см<sup>2</sup> (МПа).

## Лабораторная работа № 11

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТА

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с особенностями просадочных свойств грунтов.
2. Научиться определять просадочные свойства грунтов в лабораторных условиях.

Нужно помнить, что исследование грунтов на просадочность производится с помощью оборудования и материалов, применяемых для выполнения компрессионных испытаний, однако методика исследований имеет особенности, а именно:

1. Стандартный ряд давлений, используемых при компрессионных испытаниях, дополняется еще двумя давлениями – бытовым  $P_b$  и действующим  $P_{cr}$ , значения которых известны, а местоположения в ряду зависят от их величины. Например имеются  $P_b = 0,3 \text{ кгс/см}^2$  (МПа) с  $P_{cr} = 1,7 \text{ кгс/см}^2$  (МПа). Тогда для испытания грунта на просадочность необходимо составить следующий ряд давлений: 0,3; 0,5; 1,0; 1,7; 2,0; 3,0 и 4,0  $\text{кгс/см}^2$  (МПа). В частном случае давления  $P_b$  и  $P_{cr}$  могут совпадать по величинам с кими-либо давлениями стандартного ряда. Тогда этот ряд следует записать точно так же, как и в случае обычного компрессионного испытания. Например, заданы  $P_b = 0,5 \text{ кгс/см}^2$  (МПа) и  $P_{cr} = 2,0 \text{ кгс/см}^2$  (МПа). Следовательно, давления, которые необходимо передать на грунт будут 0,5; 1,0; 1,7; 2,0; 3,0 и 4,0  $\text{кгс/см}^2$  (МПа).

Если не будет других указаний, то в настоящей лабораторной работе студент может применять значения  $P_b = 0,5 \text{ кгс/см}^2$  (МПа) и  $P_{cr} = 2,0 \text{ кгс/см}^2$  (МПа).

2. В отличие от обычных компрессионных испытаний грунт в камере одометра, обжатый давлением, равным  $P_{cr}$ , замачивают и выдерживают при этом же давлении определенное время, после чего производят загрузку образца так же, как и в случае компрессионного испытания.

Для выполнения лабораторной работы нужно получить значение коэффициента пористости исследуемого грунта.

#### ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. Компрессионное кольцо с грунтовым образцом снабжают обкладками из фильтровальной бумаги и помещают в камеру одометра. Сверху на грунт устанавливают перфорированный поршень, приводят в рабочее положение часовой индикатор, с помощью которого производят начальный отсчет.

2. Применяя инвентарные гири, через каждый час ступенями на грунт передают уплотняющее давление и наблюдают за осадкой образца.

Когда давление достигает величины  $P_{cr}$ , образец необходимо выдержать до

стабилизации осадки, затем увлажнить, заливая воду в кольцевую полость между стенкой ванны и компрессионной камерой.

3. После стабилизации дополнительной осадки грунта в результате замачивания заканчивают загрузку образца ступенчатой нагрузкой и производят соответствующие отсчеты по индикатору.

Результаты испытаний помещают в табл. 18, а затем используют для расчета относительной просадочности и построения компрессионной кривой, пример построения которой показан на рис. 11.1.

Таблица 11.1. – Журнал определения просадочности грунта

Уплотняющее давление $\sigma$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)	Время наблюдения	Отсчеты		Тарировочная поправка $\Delta H$ , мм	Деформация образца $\Delta h$ , $\Delta h = J_K - \Delta H$ , мм	Высота образца $h_p = h - \Delta h$	Коэффициент пористости $e_p = e_0 - \frac{\Delta h}{h} (1 + e_0)$	Относительная просадочность $\delta_{пр} = \frac{h_p - h'_p}{h_0}$
		Начальный $J_H$	Конечный $J_K$					
0,00								
0,50								
1,00								
2,00								
<b>Замачивание</b>								
2,00								
3,00								

Расчет относительной просадочности  $\delta_{пр}$  выполняют по формуле

$$\delta_{пр} = \frac{h_p - h'_p}{h_0},$$

где  $h_p$  – высота (в мм) образца грунта природной влажности, обжатого без возможности бокового расширения давлением  $P_{cr} = 2,0$  кгс/см<sup>2</sup> (МПа), равным давлению от веса сооружения и собственной массы вышележащего грунта (с учетом массы воды);

$h'_p$  – высота (в мм) того же образца после пропуска через него воды при сохранении давления  $P_{cr} = 2,0$  кгс/см<sup>2</sup> (МПа);

$h_0$  – высота (в мм) того же образца природной влажности, обжатого давлением, равным бытовому  $P_6 = 0,5$  кгс/см<sup>2</sup> (МПа)

Критерием при определении просадочных свойств грунта для заданного (действующего) давления  $P_{cr}$  является величина  $\delta_{пр}=0,01$ . Если  $\delta_{пр}<0,01$ , грунт считается практически не просадочным. Значения  $h$ ,  $h'$ ,  $h_0$  определяют с точностью до 0,01 мм, а значение  $\delta_{пр}$  – с точностью до 0,001.

## **Лабораторная работа № 12**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА**

#### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Исследование водопроницаемости песчаного грунта и определение его коэффициента фильтрации.

*Водопроницаемость* — это способность грунтов пропускать сквозь себя воду. Вода в порах грунта может передвигаться под действием силы тяжести или разности напоров. Водопроницаемость зависит от гранулометрического состава грунта, степени его уплотнения, размера пор.

Водопроницаемость характеризуется коэффициентом фильтрации ( $k_f$ ). По коэффициенту фильтрации грунты делятся на: грунты с высокой водопроницаемостью ( $k_f > 1$  м/сутки), грунты со слабой водопроницаемостью ( $k_f = 1 - 0,001$  м/сутки) и водопроницаемые грунты ( $k_f < 0,001$  м/сутки).

Размер пор песчаного или глинистого грунта чаще всего соизмерим с размером минеральных частиц. В песчаном грунте размер пор более 0,01 мм, а в глине — менее 0,005 мм. Чем больше размер пор, тем лучше водопроницаемость грунта.

Коэффициент фильтрации определяют в лабораторных условиях, а также непосредственно на площадке строительства путем проведения опытно-фильтрационных работ (откачка воды из скважины, налив воды в шурф и т.д.). По данным полевых опытно-фильтрационных работ получают более точное значение коэффициента фильтрации. Приблизительно определяют коэффициент фильтрации песчаных грунтов с помощью эмпирических формул по данным гранулометрического состава.

Коэффициент фильтрации используют в формулах при расчете водопритока к водозаборным сооружениям, а также при расчете деформаций основания во времени.

#### **НЕОБХОДИМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ:**

- 1) грунт;
- 2) прибор КФ (рис. 11.1);
- 3) термометр;
- 4) секундомер;
- 5) металлический или стеклянный поддон;
- 6) мерный цилиндр.



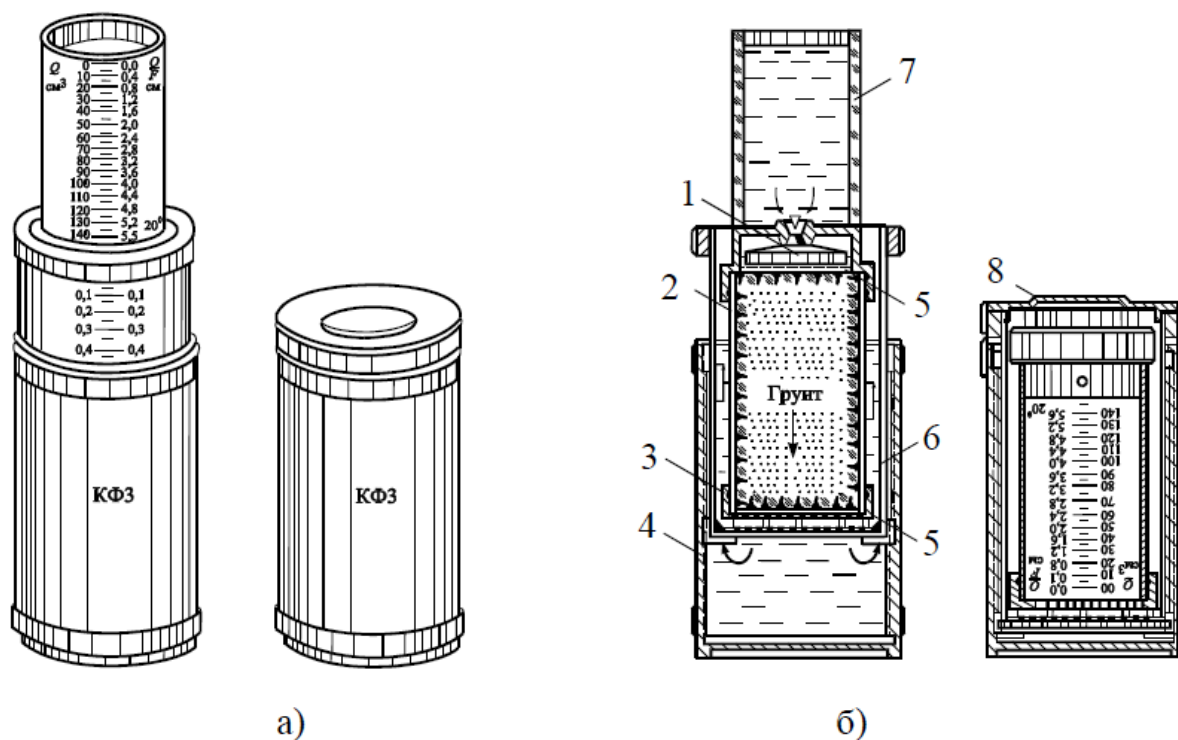


Рис. 12.1 – Прибор КФ для определения коэффициента фильтрации: а — общий вид прибора в рабочем и походном положении; б — разрез прибора в рабочем и походном положении; 1 — поплавок с двумя клапанами, 2 — основная металлическая трубка, 3 — доньшко, которое надевается на нижнюю часть трубки, 4 — обойма, 5 — латунная сетка, 6 — стакан, 7 — сосуд из прозрачного органического стекла, 8 — крышка

## ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. Грунтовую трубку 6 заполнить песчаным грунтом 7 (рис.12.2). При испытании грунта нарушенной структуры грунт подают в трубку небольшими порциями и слегка уплотняют деревянной трамбовкой. В случае испытания грунта ненарушенной структуры трубку вдавливают в грунт и затем извлекают ее вместе с находящимся в ней грунтом. Избыток грунта, выступающего из трубки, срезают ножом с прямым лезвием.

2. Внутренний стакан устанавливают на показателе напорного градиента 1,0, а внешний стакан 1 заполняют водой.

3. Трубку с грунтом помещают во внутренний стакан и, медленно вращая его, устанавливают в положение с напорным градиентом 0,8. После появления капиллярной воды на поверхности грунта укладывают сетку 5 и на трубку надевают крышку 3. Внутренний стакан с трубкой перемещают в крайнее нижнее положение.

4. Внутренний стакан с трубкой устанавливают в положение с напорным градиентом 0,6 и доливают воду во внешний стакан до появления в его прорезях внешнего стакана. Вода из мерного цилиндра автоматически поддерживает заданный напорный градиент. О работе мерного цилиндра свидетельствуют пузырьки воздуха, прорывающегося в цилиндр.

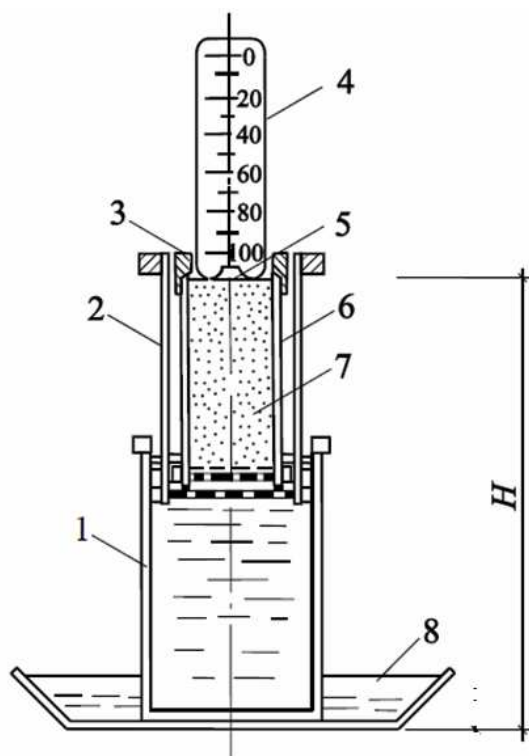


Рис. 12.2 – Схематический разрез прибора КФ: 1 — внешний стакан, 2 — внутренний стакан, 3 — крышка, 4 — мерный цилиндр, 5 — сетка, 6 — грунтовая трубка, 7 — грунт, 8 — поддон

5. Объем профильтровавшейся воды ( $10...30 \text{ см}^3$ ) измеряют с помощью мерного цилиндра (1 деление =  $1 \text{ см}^3$ ).

6. Опустить термометр, измерить температуру ( $t$ ) фильтрации воды и определить по табл. 12.1 температурный коэффициент.

7. Время фильтрации определяют по секундомеру два раза при различных положениях уровня воды в мерном цилиндре и принимают среднее значение. Затем опыт повторяют при других значениях напорного градиента (0,8 и 1,0).

Таблица 12.1. – Значение температурного коэффициента

Температура воды в $^{\circ}\text{C}$	$\psi$	Температура воды в $^{\circ}\text{C}$	$\psi$	Температура воды в $^{\circ}\text{C}$	$\psi$
0	0,70	10	1,00	20	1,30
1	0,73	11	1,03	21	1,33
2	0,76	12	1,06	22	1,36
3	0,79	13	1,09	23	1,39
4	0,82	14	1,12	24	1,42
5	0,85	15	1,15	25	1,45
6	0,88	16	1,18	26	1,48
7	0,91	17	1,21	27	1,51
8	0,94	18	1,24	28	1,54
9	0,97	19	1,27	29	1,57

8. Исходные данные и результаты эксперимента записываются в журнал (табл. 11.2).

Таблица 11.2. Журнал определения коэффициента фильтрации

№ опыта	Время начала опыта $T$ , с	Отчет по шкале сосуда $H$ , см	Объем профильтровавшейся воды $Q$ , см <sup>3</sup>	Площадь сечения образца $F$ , см <sup>2</sup>	Напорный градиент $i$	Температура воды $t$ , °С	Температурный коэффициент $\psi$	Коэффициент фильтрации $K_f$ м/сут.	Средний коэффициент фильтрации, м/сут.
1				25	0,6				
2				25	0,8				
3				25	1,0				

9. На основе данных, полученных в каждом из опытов, произвести расчет коэффициента фильтрации грунта по формуле:

$$K_f = \frac{Q \cdot 864}{i \cdot F \cdot T \cdot \psi}, \text{ м/сут.},$$

где  $Q$  — объем профильтровавшейся воды, см<sup>3</sup>; 864 — коэффициент для перевода размерности из см/с в м/сут;

$i$  — напорный градиент;

$F$  — площадь поперечного сечения трубки;

$T$  — время фильтрации, с;

$\psi$  — температурный коэффициент (определяется по формуле  $\psi = 0,7 + 0,03t$  или по табл. 1);

$t$  — температура воды при опыте, °С.

По результатам трех опытов вычисляется среднее арифметическое значение коэффициента фильтрации песка:

$$K_f = \frac{K_{f1} + K_{f2} + K_{f3}}{3}, \text{ м/сут.}$$

### Список источников

1. Зоценко М. Л. та ін. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. – К.: «Вища школа», 1992 – 470 с.
2. Цитович Н. А. Механика ґрунтів. – М. : «Высшая школа». 1983 – 288 с.
3. Шутенко Л. Н., Лупан Ю. Т., Рудь А. Г. и др. Основания и фундаменты. – Харьков: ХНАГХ, 2004 – 674 с.
4. ДСТУ Б.В.2.1-2-96 Ґрунти, класифікація.
5. ДБН В.2.1-10.2009 Основи та фундаменти споруд.

*Навчальне видання*

***Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін***

**ОСНОВИ МЕХАНІКИ ГРУНТІВ**

*(для студентів усіх форм навчання, напряму підготовки  
6.060101 – «Будівництво»)*

**МЕХАНІКА ГРУНТІВ, ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ**

*(для студентів усіх форм навчання, напряму підготовки  
6.060103 – «Гідротехніка (водні ресурси)»)*

(Рос. мовою)

Укладачі: **РУДЬ** Олександр Григорович  
**ГАВРИЛЮК** Ольга Володимирівна  
**ЛЕВЕНКО** Ганна Михайлівна

*За авторською редакцією*

Комп'ютерний набір *Г. М. Левенко*  
Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

План 2014, поз. 9М

Підп. до друку 19.05.2014  
Друк на ризографі  
Тираж 50 пр.

Формат 60x84/16  
Ум. друк. арк. 1,1  
Зам. №

Видавець та виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4705 від 28.03.2014р.