

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Брестский инженерно-строительный институт

Кафедра оснований и фундаментов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по курсу  
"Механика грунтов, основания и фундаменты".

Для студентов специальностей "Промышленное  
и гражданское строительство" (I202), "Сельско-  
хозяйственное строительство" (I205), "Гидро-  
мелиорация" (I5II), "Водоснабжение и канализа-  
ция" (I209), "Городское строительство" (I206).

г. Брест, 1977 г.

Целью лабораторных занятий по курсу "Механика грунтов, основания и фундаменты" является определение показателей физического состояния 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 экспериментальные испытания песчаных и глинистых грунтов.

Изучение физико-механических показателей и познание через них строительных свойств грунтов позволяет получить более прочные знания теоретического курса предмета.

## 1. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГРУНТА.

Нескальные грунты состоят из частиц различной величины, формы и вещественного состава. Размер составных частей изменяется от тысячных долей миллиметра до нескольких метров.

Под гранулометрическим или механическим составом грунта понимается относительное содержание в нем частиц различной крупности, выраженное в процентах от общего веса грунта. Гранулометрический состав является одним из важных факторов, определяющих физические свойства грунта. От него зависят важные свойства, такие как пластичность, пористость, сопротивление сдвигу, сжимаемость, усадка, разбухание, водопроницаемость и др.

Определение гранулометрического состава необходимо для решения ряда практических вопросов, важнейшими из которых являются:

- 1). Классификация грунтов по гранулометрическому составу.
- 2). Приближенное вычисление водопроницаемости рыхлых несвязных грунтов по эмпирическим формулам.
- 3). Оценка пригодности грунтов для использования их в качестве насыпей для дорог, дамб, земляных плотин.
- 4). Оценка возможных явлений суффозии в теле фильтрующих плотин и их основаниях, в стенках котлованов, бортах выемок и т.д.
- 5). Оценка рыхлых несвязных грунтов как строительного материала и главным образом как заполнителя при изготовлении бетона.

В настоящее время разработано много способов гранулометрического анализа грунтов. Наибольшее распространение в инженерно-геологической практике получили ситовой анализ, метод Сабанина, пипеточный метод, ареометрический метод и полевой метод Рутковского.

### Лабораторная работа № 1

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ СИТОВЫМ МЕТОДОМ ( по ГОСТу 12536, - 67 )

Гранулометрический анализ на ситах является основным методом определения гранулометрического состава песчаных грунтов. Ситовой анализ заключается в просеивании воздушносухого грунта через сита с диаметром отверстий: 2; 0,5; 0,25; 0,1 мм.

#### П о р я д о к   в ы п о л н е н и я   р а б о т ы .

1. Из воздушносухого грунта берут навеску весом 100 г.
2. Сита собирают в колонку так, чтобы диаметры отверстий их уменьшались сверху вниз. Нижнее сито закрывается поддоном.

3. 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.

4. Содержимое каждого сита высыпать в предварительно взвешенные фарфоровые чашечки или листки бумаги, взвесить с точностью до 0,01 гс и вычислить чистый вес каждой фракции. Суммарный вес всех фракций не должен отличаться более чем на 0,5 % от веса образца, взятого для анализа.

5. Вычислить процентное содержание каждой фракции по формуле:

$$x = \frac{A}{B} \cdot 100 \quad (I)$$

где  $x$  - процентное содержание фракции в грунте ;

$A$  - вес фракции;  $B$  - общий вес навески.

Данные анализа заносим в таблицу № I.

Таблица № I

	Фракции Грунта В мм				
	> 2,0	2,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	< 0,1
Вес фракции, гс					
Содержание фракции, %					

Для большей наглядности и удобства 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 коэффициент неоднородности грунта - отношение диаметра частиц, процентное содержание которых в грунте менее 60%, к диаметру частиц, процентное содержание которых в грунте меньше 10% ( по весу):  $U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2)$

$d_{10}$  - эффективный или действующий диаметр.

Чем выше  $U$ , тем зерновой состав грунта более неоднороден. При  $U > 3$  в наименовании песчаных грунтов, кроме мелких и пылеватых, добавля-

ит наименование "неоднородный". Используя данные гранулометрического состава (табл. I), определить наименование грунта, анализ которого сделан согласно номенклатуре грунтов основания СНиП П-15-74 (табл. 2).

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

1. Что называется гранулометрическим составом ?
2. Какие методы гранулометрического анализа Вы знаете ?
3. Где используются данные гранулометрического анализа грунтов ?
4. На какие виды подразделяются песчаные и крупнообломочные грунты ?

### II. ОБЪЕМНЫЙ ВЕС ГРУНТОВ.

Объемным весом грунта называется отношение веса грунта  $Q$  к его объему  $V$ , т.е.  $\gamma = \frac{Q}{V}$ .

Объемный вес грунта зависит от минералогического состава, плотности, влажности грунта. Максимальное значение объемный вес при данной пористости достигает при полном заполнении пор водой. Изменяется объемный вес для большинства видов грунтов в пределах от 1,4 гс/см<sup>3</sup> до 2,2 гс/см<sup>3</sup>. Используется объемный вес как расчетный показатель при определении:

- 1) несущей способности грунта;
- 2) давление грунта на подпорные стенки;
- 3) устойчивости оползневых склонов и откосов;
- 4) осадки сооружений;
- 5) объемов земляных работ;
- 6) объемного веса скелета грунта, пористости и др.

Определяется объемный вес несколькими способами.

### Лабораторная работа № 2

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОГО ВЕСА ГРУНТА МЕТОДОМ РЕЖУЩЕГО КОЛЬЦА (ГОСТ 5182-64)

Этот метод применяют для грунтов, легко поддающихся резке ножом, не крошащихся, а также в тех случаях, когда объем и форма образца могут быть сохранены только при помощи жесткой тары, например, для песчаных грунтов ненарушенного сложения и с естественной влажностью.

Режущее кольцо должно иметь форму правильного цилиндра с заостренным снаружи нижним краем.

#### Порядок выполнения работы.

1. Определяют вес  $Q$  режущего кольца вместе с крышками.
2. Определяют объем кольца  $V$ .
3. Зачистив поверхность грунта, ставят на нее кольцо острым режущим

краем вниз. Поддерживая кольцо рукой, острым ножом вырезают столбик грунта высотой на 1-2 см и диаметром 0,5-1 см больше наружного диаметра кольца. Осторожно нажимая на верхний край кольца, насаживают его на столбик грунта. Операция вырезания столбика грунта и погружения кольца в грунт продолжается до полного заполнения кольца. В песчаные грунты, из которых не удастся вырезать столбик, кольцо вдавливают.

4. После заполнения кольца грунт, выступающий сверху кольца, срезают вровень с его краями и накрывают крышкой. Затем поддерживая кольцо рукой, подрезают столбик грунта снизу и отодвигают кольцо о грунтом.

5. Кольцо с грунтом взвешивают ( $q_2$ ).

6. Определив вес грунта  $q = q_2 - q_1$ , вычисляют объемный вес:

$$\gamma = \frac{q}{V}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  - объемный вес грунта;  $q$  - вес влажного грунта;

$V$  - объем грунта, заключенного внутри кольца.

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Расхождение допускается. Полученные данные сводим в таблицу № 2.

Таблица 2.

№ кольца	Вес пустого кольца с крышками	Вес кольца с крышками и грунтом	Вес образца грунта	Объем кольца	Объемный вес
	$q_1$	$q_2$	$q$	$V$	$\gamma$

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОГО ВЕСА ГРУНТА МЕТОДОМ ПАРАФИНИРОВАНИЯ (ГОСТ 5182-64)

Метод парафинирования применяют для связных грунтов, трудно поддающихся вырезке или склонных к крошению.

**П о р я д о к   в ы п о л н е н и я   р а б о т ы .**

1. Берут кусочек грунта объемом не менее 30 см<sup>3</sup> и, удалив по возможности при помощи ножа выступающие острые части, взвешивают его на технических весах ( $q$ ).

2. После взвешивания образец опускают на 1-2 сек. в расплавленный парафин с температурой 57-60°. Так, повторными погружениями наращивают парафиновую оболочку до толщины 1-1,5 мм. При этом необходимо следить, чтобы в парафине не оставалось пузырьков воздуха.

3. Запарафинированный образец взвешивают на технических весах ( $q_1$ ).

4. Подвесив запарафинированный образец грунта на крючок коромысла весов, погружают его в стакан с чистой водой и взвешивают ( $q_2$ ).

Взвешивание в воде производят на обычных технических весах, используя для этой цели специальную подставку (рис. I).

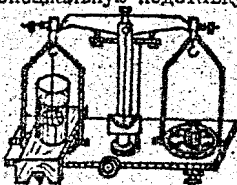


Рис. I. Взвешивание в воде запарафинированного образца грунта.

5. Производят вычисление объемного веса:  $\gamma = \frac{q}{V_r - V_n}$ , (4)

где  $V_r$  — объем запарафинированного образца ( $\text{см}^3$ ),

$V_n$  — объем парафиновой оболочки ( $\text{см}^3$ ).

Объем запарафинированного образца:  $V_r = \frac{q_1 - q_2}{\gamma_w}$ , (5)

$\gamma_w$  — удельный вес воды, принимаемый равным  $1 \text{ гс/см}^3$ .

Объем парафиновой оболочки:  $V_n = \frac{q_1 - q}{\gamma_n}$ , (6)

$\gamma_n$  — удельный вес парафина (принимается равным  $0,9 \text{ гс/см}^3$ ).

Для каждого образца грунта количество параллельного определения должно быть не менее двух. Расхождение в результатах в этом случае не должно превышать  $0,03 \text{ гс/см}^3$ .

Данные определений сводим в таблицу № 3.

Таблица № 3

№ образца	Вес образца грунта	Вес образца с парафин. оболочк.	Вес запарафин. образца в воде	Объем запарафин. образца	Объем парафин. оболочк.	Удельный вес парафина	Объемный вес грунта
	$q$	$q_1$	$q_2$	$V_r$	$V_n$	$\gamma_n$	$\gamma$

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

1. В каких расчетах используется значение объемного веса?
2. Какие способы определения объемного веса Вы знаете?
3. От чего зависит объемный вес грунта?

### III. ВЛАЖНОСТЬ ГРУНТА.

В естественном залегании грунт всегда содержит то или иное количество воды. Величина естественной влажности является важнейшей характеристикой физического состояния породы, определяющая прочность породы и поведение ее под сооружением. Особое значение влажность имеет для глинистых грунтов, резко изменяющих свои свойства в зависимости от степени увлажнения.

Под влажностью грунта понимают содержание в нем того или иного

количества воды. Различают весовую и объемную влажность.

Весовой влажностью грунта  $W$  называют отношение веса воды, содержащейся в грунте, к весу грунта, высушенного при температуре 100-105°C до постоянного веса.

Под объемной влажностью понимают отношение объема воды, заключенной в породе, к объему всей породы.

Влажность является важным косвенным показателем, необходимым для вычисления пористости, степени влажности и др.

В настоящее время разработано несколько методов определения влажности: весовой, пикнометрический, ускоренный метод и др. Из них наибольшее распространение получил весовой метод.

### Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА ВЕСОВЫМ СПОСОБОМ (ГОСТ 5173-64)

Порядок выполнения работы.

I. Взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 гс бюкс с крышкой ( $Q_0$ ).

2. Помещают в бюкс образец влажного грунта. Величину навески принимают не менее 1с гс.

3. Взвешивают закрытый бюкс вместе с грунтом ( $Q_1$ ).

4. Сняв крышку, помещают бюкс с грунтом в сушильный шкаф, в котором поддерживают постоянную температуру около 105°C. Сушку пробы производят до приобретения ею постоянного веса.

5. Предварительно охладив бюкс с пробой и крышкой, взвешивают ( $Q_2$ ).

6. Величину влажности грунта вычисляют по формуле:

$$W = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2 - Q_0} \quad (?)$$

Результат выражают с точностью до 0,001. Данные анализа занести в таблицу № 4.

Таблица № 4

№ бюкса	Вес бюкса с крышкой	Вес бюкса с крышкой и влажным грунтом	Вес бюкса с крышкой и сухим гр.	$W$
	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	

Имея данные  $\delta$  и  $W$  определяют значение

$$\gamma_{ск} = \frac{\gamma}{1+W} \quad (\text{гс/см}^3) \quad (8)$$

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

I. Что называется влажностью грунта ?



2. В каких расчетах используется влажность грунта ?
3. Какие способы определения влажности Вы знаете ?
4. Как определяется объемный вес скелета грунта ?

#### IV. УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ГРУНТОВ.

Удельным весом грунта называют отношение веса частиц образца грунта, высушенного при температуре 100-105°C до постоянного веса, к их объему.

Удельный вес грунта определяется удельным весом минералов, слагающих грунт, и изменяется в пределах от 2,4 г/см<sup>3</sup> до 2,8 г/см<sup>3</sup>. Для ориентировочных расчетов можно принимать удельный вес песков равным 2,66 г/см<sup>3</sup>; суглинков - 2,71 г/см<sup>3</sup>; глин - 2,74 г/см<sup>3</sup>. Удельный вес необходим для расчета других характеристик грунта - пористости, коэффициента пористости, степени влажности, объемного веса взвешенного в воде грунта. Определяется удельный вес пикнометрическим методом.

#### Лабораторная работа № 4

##### а). ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ВЕСА НЕЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ (ГОСТ 5184-64)

##### Порядок выполнения работы.

1. Из воздушносухого грунта берут навеску так, чтобы 15 г грунта приходилось на 100 см<sup>3</sup> емкости пикнометра.

2. Взвешивают пустой пикнометр, при помощи воронки высыпая подготовленный грунт. Пикнометр с грунтом взвешивают и определяют вес воздушносухого грунта.

3. Вес грунта в пикнометре вычисляют по формуле с учетом поправки на гигроскопичную воду:

$$q_0 = \frac{q_1}{1 + W_r} \quad (9)$$

где  $q_1$  - вес введенного в пикнометр грунта;

$q_0$  - вес навески грунта в пикнометре с поправкой на гигроскопичную воду.

$W_r$  - количество гигроскопичной воды в процентах, принимаемое равным 1-2 %.

4. В пикнометр с грунтом наливают воду, примерно 1/3 его объема, и кипятят на песчаной бане 30 мин (пески и супеси) или 1 час (суглинки, глины) для удаления адсорбированного воздуха и расщепления агрегатов. При кипячении не допускается разрыв тигань суспензии.

5. Пикнометр слегка охладить, долить дистиллированной водой до мерной черты и окончательно охладить в ванне с водой до комнатной температуры.

6. Поправляют положение мениска путем добавки в пикнометр несколь-

ких капель воды, тщательно обтирают его снаружи и шейку внутри (при помощи листка фильтровальной бумаги, свернутой в трубочку), после чего взвешивают ( $q_2$ ).

7. Освободив пикнометр от содержимого, тщательно ополаскивают его, наполняют водой, имеющей температуру суспензии, до черты и взвешивают ( $q_3$ ), предварительно обтерев снаружи и шейку внутри.

8. Удельный вес вычисляют по формуле:

$$\gamma_s = \frac{q_0}{q_0 + q_3 - q_2} \cdot \gamma_w, \quad (10)$$

где  $q_0$  - вес навески грунта;

$q_2$  - вес пикнометра с водой и грунтом;

$q_3$  - вес пикнометра с водой;

$\gamma_w$  - удельный вес воды.

9. Для каждого образца грунта производят два параллельных определения удельного веса. Расхождение между результатами определений более чем на 0,02 гс/см<sup>3</sup> не допускается. За удельный вес принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений. Результат выражают с точностью до 0,01 гс/см<sup>3</sup>.

10. Данные определения занести в таблицу № 5.

Таблица № 5

№ образца	№ пикнометра	Вес пикнометра, гс	Вес пикнометра с грунтом, гс	Вес воздушного грунта, гс	Гигрометрическая влажность	Вес грунта с водой на правой чашке, гс	Вес пикнометра с водой и грунтом, гс	Вес пикнометра с водой, гс	Удельный вес, гс/см <sup>3</sup>	
									$\gamma_s$	$\gamma_s$ среднее
		$q_1$	$q_2$	$q_3$	$W_r$	$q_0$	$q_2$	$q_3$	$\gamma_s$	$\gamma_s$ среднее

**с). ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ, КОЭФФИЦИЕНТА ПОРИСТОСТИ И СТЕПЕНЬ ВЛАЖНОСТИ.**

Пористость называют отношение объема пор к общему объему грунта.

Коэффициент пористости называют отношение объема пор к объему скелета грунта.

Пористость и коэффициент пористости характеризуют структуру грунта. Коэффициент пористости используется при выборе расчетных сопротивлений по СНиП, построении компрессионной кривой, вычислении характеристик сжимаемости и т.д.

Пористость и коэффициент пористости определяются путем вычисле-

ний по известным значениям удельного веса, объемного веса и влажности.

Пористость определяют по формуле:  $n = 1 - \frac{\gamma_{ск}}{\gamma_s}$ . (II)

Коэффициент пористости по формуле:  $e = \frac{\gamma_s}{\gamma_{ск}} - 1$ . (I2)

Между пористостью и коэффициентом пористости существует следующая зависимость:  $n = \frac{e}{1+e} = 1 - \frac{\gamma}{\gamma_s(1+W)}$ . (I3)

Песчаные грунты по плотности их сложения разделяют в зависимости от коэффициента пористости (см. СНиП II-15-74, табл. 5).

Для оценки степени влажности песчаных грунтов используется степень влажности  $G$ . Степенью влажности называют отношение влажности грунта к полной влагоемкости, т.е. соответствующей полному заполнению всех пор грунта водой. Полная влагоемкость определяется по формуле:

$$W_{n.b.} = \frac{e \cdot \gamma_s}{\gamma_s} \quad (I4)$$

Степень влажности вычисляется по формуле:

$$G = \frac{W}{W_{n.b.}} = \frac{W \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_s} \quad (I5)$$

где  $\gamma_s$  - удельный вес воды г/см<sup>3</sup>

$W$  - природная весовая влажность в долях единицы.

В зависимости от степени влажности песчаные грунты разделяются на группы, согласно табл. 4 СНиП II-15-74.

Зная величину полной влагоемкости, можно определить значение коэффициента пористости:  $e = W_{n.b.} \cdot \gamma_s$ . (I4 а)

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

1. Что называется удельным весом и от чего он зависит?
2. В каких пределах изменяется удельный вес грунтов?
3. Что такое пористость и коэффициент пористости? Как они определяются?
4. Как разделяют песчаные грунты по плотности?
5. Что называется степенью влажности?
6. Как разделяются песчаные грунты в зависимости от степени влажности?

#### У. ПЛАСТИЧНОСТЬ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ.

Под пластичностью грунта понимаем его способность в определенном интервале влажностей изменять свою форму без разрыва сплошности в результате воздействия внешнего давления и сохранять ее, когда

внешнее воздействие прекращается.

Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в твердое, называют границей раскатывания (нижний предел пластичности) -  $W_p$ .

Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее, называют границей текучести (верхний предел пластичности) -  $W_L$ .

Разность между влажностями при пределе текучести и раскатывания, выраженная в долях единицы, называется числом пластичности -

$$I_p = W_L - W_p \quad (16)$$

Глинистые грунты подразделяются на виды в зависимости от числа пластичности (табл. 6 СНиП П-15-74). Зная характерные влажности  $W_L$  и  $W_p$  и естественную влажность  $W$ , можно оценить консистенцию грунта, т.е. степень подвижности слагающих грунт частиц при механическом воздействии, измеряемую величиной  $J_L$ :

$$J_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} \quad (17)$$

Глинистые грунты по показателю консистенции различают согласно таблице 7, СНиП П-15-74. Для определения пределов пластичности предложено много методов: метод Аттерберга, метод балансного конуса, метод раскатывания и др.

#### Лабораторная работа № 5

##### а). ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ТЕКУЧЕСТА - ВЕРХНЮЮ ПРЕДЕЛА ПЛАСТИЧНОСТИ (ГОСТ 5184-64)

Граница текучести характеризуется влажностью теста, изготовленного из грунта и воды, при которой балансный конус погружается под действием собственного веса 76 г за 5 сек. на глубину 10 мм (рис. 2).

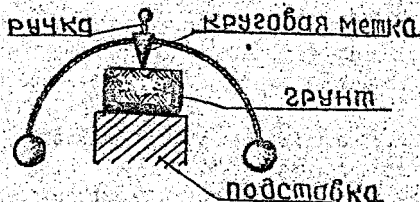


Рис. 2. Балансный конус.

#### Порядок выполнения работы.

1. Из сухого грунта, прошедшего через сито с отверстиями в 1 мм, с добавлением небольшого количества воды готовится грунтовое тесто, которое выдерживают в закрытом стеклянном сосуде не менее 2 часов.

2. Грунтовое тесто тщательно перемешивают в фарфоровых чашках и укладывают с помощью шпателя в стаканчик прибора, заполняя его без оставления пустот. Поверхность теста оглаживают шпателем в уровень с краями стаканчика.

3. Подносят к поверхности грунтового теста, находящегося в стаканчике, конус, и, опустив его, дают ему в течение 5 сек. свободно погружаться в тесто под влиянием собственного веса.

4. Если конус за 5 сек. погрузился в тесто до черты, то верхний предел считается достигнутым.

Погружение конуса за 5 сек. на глубину менее 10 мм показывает, что влажность теста еще не достигла искомой границы текучести. В этом случае вынимают грунтовое тесто из стаканчика, добавляют в него немного воды, тщательно перемешивают и повторяют операции п.2 и 3.

При погружении конуса на глубину более 10 мм грунтовое тесто вынимают из стаканчика, кладут на стекло, перемешивают шпателем, давая ему немного подсохнуть, и повторяют операции п.2 и 3.

5. Отбирают из испытываемого теста пробу не менее 10 гс и производят определение влажности (см. лабораторную работу № 3).

Производят не менее 2-х параллельных определений. Разхождение более 2% не допускается.

#### б). ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ РАСКАТЫВАНИЯ - НИЖНЕГО ПРЕДЕЛА ПЛАСТИЧНОСТИ (ГОСТ 5183-64)

Границей раскатывания называют влажность, при которой тесто, изготовленное из грунта и воды, раскатываемое в жгут толщиной 3 мм, начинает распадаться на отдельные кусочки длиной 3-10 мм.

#### П о р я д о к   в ы п о л н е н и я   р а б о т ы .

1. Приготовленное грунтовое тесто, оставшееся от определения границы текучести, подсушивают до тех пор, пока оно при раскатывании не перестанет прилипать к ладоням рук.

2. Из подсушенного грунтового теста берут небольшие кусочки и раскатывают их на стекле до образования жгута диаметром около 3 мм и длиной, равной ширине ладони.

3. Если при такой толщине грунтовый 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, добав-

ляют несколько капель воды и перемешивают, а затем снова раскатывают.

4. Взяв не менее 10 гс жгута грунта в предварительно взвешенный бюкс, определяют его влажность (см. лабораторную работу № 3). Для каждого образца грунта производят не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах более 2% не допускается.

**в). ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ.**

Естественную влажность определяют весовым методом (см. лабораторную работу № 3).

Результаты определения влажностей заносим в таблицу № 6.

Таблица № 6

Показатели пластичности	№ бюкса	Вес бюкса, гс	Вес бюкса с влажным грунтом, гс	Вес бюкса с сухим грунтом, гс	Влажность	
					опытные данные	средний результат
$W_L$						
$W_P$						
$W$						

По влажностям границы текучести границы раскатывания и естественной влажности определяют наименование и состояние глинистого грунта.

**ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.**

1. Что понимают под пластичностью глинистых грунтов ?
2. Что называется верхним и нижним пределами пластичности ?
3. Как определяется число пластичности и показатель консистенции ?
4. На какие виды делятся глинистые грунты в зависимости от числа пластичности ?

**VI. ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ГРУНТОВ.**

Для расчета осадок фундаментов сооружений необходимо знать показатели деформируемости грунтов. Деформации уплотнения при приложении усилий происходят вследствие уменьшения пористости грунтов за счет возникновения взаимных сдвигов частиц, а также уменьшения толщины водно-коллоидных пленок и сопровождается отжатием воды в сильно водонасыщенных глинистых грунтах и разрушением кристаллизационных связей в сильно структурированных грунтах.

В связи с тем, что сжимаемость грунта связана с уменьшением его пористости, в механике грунтов принято характеризовать сжимаемость грунта зависимостью между коэффициентом пористости  $e$  и давлением  $\sigma$ . Эта зависимость называется компрессионной (рис. 3) и устанавливается экспериментально путем испытания грунтов в особых приборах, которые называются одометрами и стабилометрами.

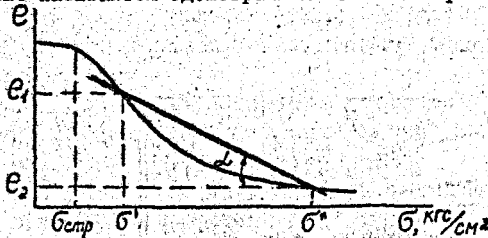


Рис. 3. Компрессионная кривая;  
 $\sigma_{\text{стр}}$  — предел структурной прочности.

При относительно малых давлениях  $\sigma < \sigma_{\text{стр}}$  сжимаемость грунта может быть сравнительно небольшой, значительно меньшей, чем при больших давлениях. При изменении давления в практических целях заменяют зависимость между  $e$  и  $\sigma$  прямой линией, т.е. заменяют кривую на этом участке отрезком стягивающей ее хорды. Тогда из геометрических соображений получим:

$$\frac{e_1 - e_2}{\sigma'' - \sigma'} = a = \operatorname{tg} \alpha \quad (18),$$

где  $a$  — коэффициент сжимаемости грунта,  $\text{см}^2/\text{кгс}$ .

Для расчета осадок удобнее пользоваться коэффициентом относительной сжимаемости  $a_0$ , который равен

$$a_0 = \frac{a}{1 + e_0}, \quad \text{см}^2/\text{кгс} \quad (19),$$

где  $e_0$  — начальный коэффициент пористости.

Показатель сжимаемости грунта  $a$  (или  $a_0$ ) необходим для расчета величин осадок зданий или сооружений. Для этих же целей нам нужны и показатели сжимаемости  $E_0$  ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ ) — модуль общей деформации и  $\mu_0$  — коэффициент относительной поперечной деформации. Однако  $E_0$  и  $\mu_0$  используются как для расчета деформации оснований, так и при установлении распределения величин реактивных давлений под гибкими фундаментными балками и плитами.

В одометре можно определить только один показатель — коэффициент сжимаемости  $a$ . В стабилометре мы имеем возможность непосредственно определять уже два показателя ( $a_0$  и  $\mu_0$  или  $E_0$  и  $\mu_0$ )

## Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЖИМАЕМОСТИ ГРУНТА СПОСОБОМ  
КОМПРЕССИИ В ОДОМЕТРЕ.

Одометр (компрессионный прибор) предназначен для определения сжимаемости (уплотнения) грунтов под действием заданного вертикального давления в условиях отсутствия поперечных деформаций. Схематический разрез одометра представлен на рис. 4

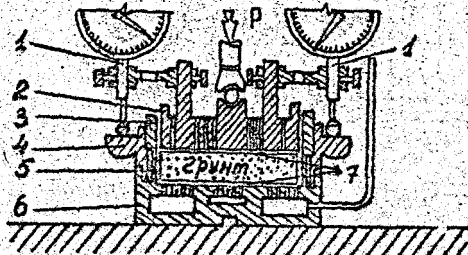


Рис. 4. Схема компрессионного прибора (одометра):

1 - индикатор, 2 - перфорированный штамп, 3 - направляющее кольцо, 4 - верхняя обойма; 5 - рабочее режущее кольцо; 6 - нижняя обойма с двойным дном; 7 - фильтр.

Собранный одометр помещается в нагрузочное устройство. Отношение плеч рычага, передающего нагрузку, 1:10. Высота образца грунта  $h_0 = 25$  мм, площадь образца  $F = 60$  см<sup>2</sup>. Применение образцов небольшой, по сравнению с диаметром, высоты вызвано стремлением уменьшить по возможности влияние на результаты испытаний сил трения, развивающихся по боковой поверхности образца. Кроме того, для еще большего уменьшения влияния сил трения кольцо одометра иногда смазывают маслом.

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

## П о р я д о к в ы п о л н е н и я р а б о т ы .

1. Снять одометр со станины нагрузочного устройства и разобрать его.
2. Вырезать режущим кольцом 5 одометра образец из монолита



грунта, зачистив торцы образца в уровень с краями, и положить на торцы бумажные фильтры 7.

3. Собрать одомер и установить его на станину нагрузочного устройства.

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

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

6. Загрузить подвеску рычага гирями весом 1,27 и 1,5 кгс ( 2,3 кгс - вес рамы нагрузочного устройства), после чего сразу же пустить в ход секундомер.

7. Записать в журнал испытаний отсчеты по индикаторам ( по черной шкале) через 1,2,4,8 и 12 минут, считая от момента приложения нагрузки.

Двенадцать минут условно принимаются за время стабилизации деформаций образца. В действительности время стабилизации исчисляется минутами, для глинистых грунтов - часами и даже сутками.

8. Догрузить подвеску еще одной гирей весом 3 кгс, 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.

9. Повторить все операции при суммарном весе на подвеске 12 кгс, а затем - при 18 кгс.

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

Значения коэффициента пористости  $e_i$  находится по формуле:

$$e_i = e_0 - \frac{S_i}{h_0} (1 + e_0) = e_0 - \Delta e_i \quad , \quad (20)$$

$e_i$  - коэффициент пористости при нагрузке  $b_i$  ;

$e_0$  - начальный коэффициент пористости грунта.

Результаты измерений и вычислений сводим в таблицу 7.

11. Построить компрессионные кривые  $e = f(\sigma)$  и  $\varepsilon = y(\sigma)$ .

12. Вычислить коэффициент сжимаемости  $a$  и коэффициент относительной сжимаемости  $a_0$  по формулам (18) и (19) для интервала давлений  $\bar{\sigma}$  в пределах от 0,5 до 2,0 кгс/см<sup>2</sup>.

13. Для линейного участка вычислить модуль общей деформации:

$$E_0 = \frac{\Delta \bar{\sigma}}{\Delta \varepsilon} \left( 1 - \frac{2\mu_0^2}{1-\mu_0} \right) = \frac{\bar{\sigma}'' - \bar{\sigma}'}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \cdot \beta, \quad \text{кгс/см}^2 \quad (21),$$

$$E_0 = \frac{1+e_0}{a} \beta = \frac{\beta}{a_0}, \text{ кгс/см}^2 \quad (22),$$

где  $\beta$  - безразмерный коэффициент равен: для песков  $\beta = 0,8$ ; для супесей  $\beta = 0,7$ ; для суглинков  $\beta = 0,5$  и для глин  $\beta = 0,4$ .

$E_1$  и  $E_2$  - значения относительной вертикальной деформации, соответствующие давлениям  $\sigma^1 = 0,5 \text{ кгс/см}^2$  и  $\sigma^2 = 2,0 \text{ кгс/см}^2$ .

Таблица № 7

Вес гирь на под- веске, кг	Главное вертика- льное напряжение кг/см <sup>2</sup>	Время от начала применения нагр., мин.	Показания инди- каторов, мм			Условно стабили- зированная вер- тикальная дефор- мация		Коэффициент пористости	
			1-го	2-го	Среднее показание	Абсолют- ная, мм	Относитель- ная	Показание по сравнению с нача- льным	Значение
$P$	$G = \frac{P}{F}$	$T$	$z_1$	$z_2$	$z = \frac{z_1+z_2}{2}$	$S_i = z$	$E_i = \frac{S_i}{h_0}$	$\Delta e_i =$ $S_i(1+e_0)$	$e_i = e_0 - \Delta e_i$
0	0	0							
3,0	0,5	2							
		4							
		8							
		12							

и т.д.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

1. Для чего нужны и где используются характеристики сжимаемости грунта?
2. Какие характеристики сжимаемости грунта Вы знаете?
3. В каких приборах в лаборатории определяют модуль общей деформации  $E_0$ , коэффициент относительной поперечной деформации  $\mu_0$  и коэффициент сжимаемости  $a$ ?
4. Как устроен компрессионный прибор (одометр)?
5. Какова цель компрессионных испытаний в одометре?
6. Как обрабатываются данные и строится компрессионная кривая по результатам испытаний в одометре?
7. Чем вызывается необходимость длительной выдержки образца на каждой ступени давления?

8. Чем объясняется возрастание модуля деформации грунта по мере смещения интервала давлений  $\sigma - \sigma'$  от начала координат? Будет ли наблюдаться подобное явление при работе грунта в основаниях сооружений?

### VII. ПРОЧНОСТЬ (ПРЕДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ) ГРУНТОВ.

Прочностью грунтов называется такое их 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 немного 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 нагрузки к грунту и разрушениях связей между частицами. Для небольших давлений (до 3-5 кгс/см<sup>2</sup>) можно считать, что сопротивление грунта сдвигу состоит из двух частей - одной не зависящей от величины нормального давления, действующего по площадке сдвига, и именуемой удельным сцеплением, и второй, являющейся функцией нормального давления, и именуемой трением. Таким образом, оказывается возможным записать следующее условие прочности, предложенное Кулоном еще в 1773 году:

$$\tau_n \leq \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (23).$$

Здесь  $\tau_n$  и  $\sigma$  соответственно касательное и нормальное эффективное (действующее непосредственно на минеральные частицы, а не на воду) напряжения.  $\varphi$  - угол внутреннего трения и  $c$  - удельное сцепление, являющиеся двумя параметрами прочности грунта.

Напряженное состояние в каждой точке вполне может быть определено главными напряжениями  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ , причем будем считать, что между ними имеет место соотношение  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ . Для данного случая пространственного напряженного состояния мы имеем условие прочности О.Мора:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \operatorname{ctg} \varphi} = \sin \varphi \quad (24).$$

Параметры прочности  $\varphi$  и  $c$  зависят только от физического начального состояния грунта (плотности-влажности) и не зависят в пределах небольших давлений от напряжений, т.е. они считаются инвариантными относительно напряженного состояния.

Параметры прочности  $\varphi$  и  $c$  используются в задачах, связанных с определением несущей способности оснований сооружений, устойчивос-

ти 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. Для определения  $\mathcal{U}$  и  $\mathcal{C}$  в лабораторных условиях используются либо метод прямого среза, либо метод трехосного сжатия

### Лабораторная работа № 7.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ПРЯМОГО СРЕЗА ОБРАЗЦА.

При использовании метода прямого 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 выполняется при срезе условие (23). Таким образом, в этом виде испытания плоскость среза заранее predetermined. Таков 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.). Определение параметров  $\mathcal{U}$  и  $\mathcal{C}$  с помощью прямого среза наиболее распространено в лабораторной практике.

#### Описание прибора прямого среза.

Прибор системы Гидропроекта состоит из следующих двух основных узлов: срезной камеры (рис. 5), оборудованной двумя индикаторами часового типа для измерения вертикальных и горизонтальных перемещений и нагрузочного устройства (рис. 6), обеспечивающего передачу вертикальной и горизонтальной нагрузок на образец грунта.

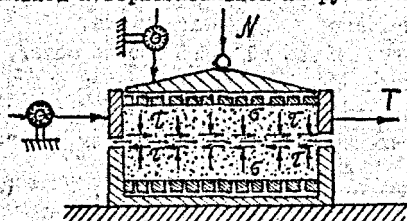


Рис. 5. Схема срезной камеры прибора:  $T$  - сдвигающее усилие;  $N$  - нормальное усилие.

Все узлы прибора смонтированы на металлическом столе (рис. 6). Срезатель прибора установлен в средней части плиты стола  $\text{IЗ}$  и состоит из нижней неподвижной и верхней подвижной обойм. Перед за-

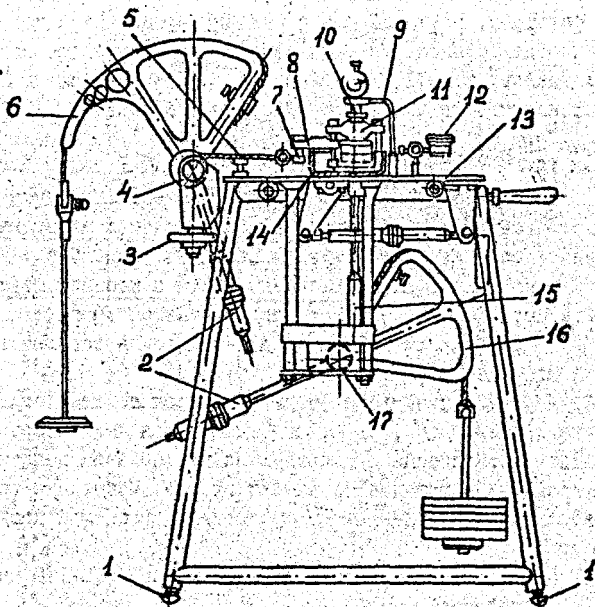


Рис. 6. Общий вид срезного прибора на станине :

I - установочные винты; 2 - противовесы; 3 - стопор; 4 - кронштейн; 5 - трос; 6 - секторный рычаг горизонтального усилия; 7 - винт; 8 - тяга; 9 - держатель индикатора; 10 - винт-площадка для нижней ножки индикатора; 11 - верхняя обложка; 12 - индикатор; 13 - плата станины; 14 - ванна; 15 - коромысло; 16 - секторный рычаг; 17 - подшипник.

грузкой срезывателя грунтом обоймы скрепляются установочными винтами. Гнезда установочных винтов используются перед сдвигом образца для упорных винтов, с помощью которых создается зазор между обоймами. 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  $F = 40$  см<sup>2</sup>. Соотношение плеч рычажных устройств составляет 1:10.

### П о р я д о к   в ы п о л н е н и я   р а б о т ы .

1. С помощью специального кольца из естественного или искусственного монолита грунта вырезается образец и вдавливается в рабочий цилиндр, состоящий из нижней и верхней обойм. Снизу и сверху образец укладываются фильтровальная бумага и жесткие штампы.

2. Раму 15 устанавливают упорным винтом 10 на штамп. На кронштейне 9 закрепляют индикатор для измерения вертикального перемещения штампа.

3. На подвеску рычага 16 укладывается соответствующий груз  $M$ . Обычно давления  $\sigma'$ ,  $\sigma''$ ,  $\sigma'''$  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  $\sigma' = 1$  кгс/см<sup>2</sup>,  $\sigma'' = 2$  кгс/см<sup>2</sup> и  $\sigma''' = 3$  кгс/см<sup>2</sup>.

4. Специальными винтами создаем зазор (0,5-1,0 мм) между верхней и нижней обоймами.

Рычаг 6, служащий для создания горизонтальной нагрузки, освобождаем от стопора 3, для чего вывинчиваем маховик стопора.

5. Устанавливаем нулевой отсчет на индикаторе горизонтального перемещения и прикладываем к подвеске сдвигающей системы первую ступень нагрузки. Срезающую нагрузку в каждом опыте прикладываем так, чтобы приращение касательных напряжений  $\Delta \tau$  не превышало по абсолютной величине 0,15. Таким образом, в первом опыте ступень срезающей нагрузки на подвеске равна 0,4 кгс.

6. После прекращения движения стрелки индикатора, фиксирующего деформации сдвига, записываем отсчет деформации в журнал испытаний.

7. Каждую последующую ступень сдвигающей нагрузки  $\Delta T$  (в первом опыте очередные 0,4 кгс) прикладываем к образцу только после затухания деформаций сдвига от действия предыдущей ступени.

Наступило ли предельное состояние - срез образца - и устанавливаем

диваем по незатухающей или увеличивающейся скорости горизонтально-го перемещения верхней обоймы, что определяется по разности между показаниями индикатора I2.

8. После среза образца прибор перезаряжают и производят таким же образом новые опыты, но при давлениях  $\sigma'' = 2 \text{ кгс/см}^2$  и  $\sigma''' = 3 \text{ кгс/см}^2$ .

3. Результаты измерений и вычислений сводим в таблицу 8.

Таблица № 8

Вес гирь на подвеске нагруженного устройства, кг		Напряжение в плоскости среза, кгс/см <sup>2</sup>		Горизонтальная деформация, мм
Вертикального	Горизонтального	Нормальное	Сдвигающее	
<i>N</i>	<i>T</i>	$\sigma = \frac{10 \cdot N}{F}$	$\tau = \frac{10 \cdot T}{F}$	$\delta$
4	0,4	1,0	0,1	разрушение
	0,8		0,2	
	1,2		0,3	
	1,6		0,4	
	и т.д.		и т.д.	
8	0,8	2,0	0,2	"-"
	1,6		0,4	
	2,4		0,6	
	3,2		0,8	
	и т.д.		и т.д.	
12	1,2	3,0	0,3	"-"
	2,4		0,6	
	3,6		0,9	
	4,8		1,2	
	и т.д.		и т.д.	

10. Строим обобщающий график  $\tau = f(\sigma)$  (рис.7), по которому определяем величины угла внутреннего трения ( $\psi$ ) и сцепления ( $c$ ).

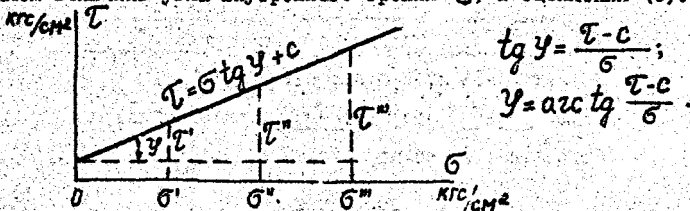


Рис.7. График зависимости сопротивления сдвигу от нормального напряжения. *c* — удельное сцепление;  $\psi$  — угол внутреннего трения;  $\tau$  — касательное напряжение в плоскости среза;  $\sigma$  — нормальное эффективное напряжение в плоскости среза.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

1. Какие характеристики прочности грунта Вы знаете?
2. Как записывается условие предельного сопротивления сдвигу глинистого и песчаного грунта по Кулону?
3. Как записывается условие прочности грунта через главные напряжения?
4. Какие способы определения удельного сцепления  $C$  и угла внутреннего трения  $\varphi$  Вам известны?
5. Расскажите методику определения  $\varphi$  и  $C$  в приборе прямого среза?
6. В каких расчетах используются характеристики прочности грунтов?

Л и т е р а т у р а .

- В. Г. Чаповский. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М., "Недра", 1975.
- Н. А. Цытович. Механика грунтов. М., "Высшая школа", 1973.
- ГОСТы 5179-64 - 5184-64. Грунты, Методы лабораторного определения. М., Стандартгиз, 1964.
- СНИП П-15-74. Основания зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1975.

Методические указания

составили: Э. И. Гончарова, В. Г. Федоров,  
П. С. Полята.

АБ 22.055. Подписано к печати 15.02. 1977.

Формат 64-84 1/16 п.л., объём 1 п.л.

Заказ 364, тираж 200 экз. Бесплатно.

Отпечатано на ротаприте ВЦ облстатуправления.

гор. Брест