

**МПС РОССИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

---

24/3/6

Одобрено кафедрой  
«Здания и сооружения  
на транспорте»

**МЕХАНИКА ГРУНТОВ,  
ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

Руководство к выполнению лабораторных работ  
для студентов IV курса  
специальностей

290900. СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ,  
ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО (С)

291100. МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ (МТ)

290300. ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВО (ПГС)

290800. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ (ВК)



Москва - 2002

**Составитель — д-р техн. наук, проф. В. Л. КУБЕЦКИЙ**

**Рецензент — канд. техн. наук, доц. И. Л. ДУДИНЦЕВА**

**© Российский государственный открытый технический  
университет путей сообщения, 1999**

## Введение

Грунты представляют собой горные породы, залегающие в верхних слоях земной коры и используемые в строительстве как основание, среда или материалы при возведении различного рода сооружений.

Дисперсные грунты состоят из частиц разной крупности минерального и органического происхождения (твердая фаза), воды различных категорий (жидкая фаза) и воздуха или газа (газообразная фаза). Они различаются многообразием свойств из-за чрезвычайно широкого диапазона состава, сложения и связанности. Однако оценка строительных свойств грунтов может быть произведена сравнительно небольшим числом физических и механических характеристик, которые в зависимости от их применения могут быть условно разделены на две группы:

1. Характеристики, используемые для отнесения грунтов к определенным классификационным группам: гранулометрический, минералогический и химический составы, пластичность и т.д.

2. Характеристики, применяемые при расчетах: плотность, коэффициент пористости, модуль деформации, угол внутреннего трения, сцепление, коэффициент фильтрации и т.д. К расчетам относятся: определение прочности и деформаций грунтов, устойчивости откосов, давления грунта на ограждения, горного давления на обделку подземных сооружений; проектирование фундаментов, способов производства работ по устройству оснований и т.п.

Из приведенного перечня видно, что круг задач и вопросов, решаемых с помощью характеристик грунтов, чрезвычайно широк. Поэтому изучение физико-механических показателей и выявление

с их помощью строительных свойств грунта является необходимой предпосылкой к освоению курса “Механика грунтов, основания и фундаменты”.

Цель лабораторных занятий - ознакомление с основными показателями физико-механических свойств грунтов и обучение методам испытаний грунтов.

## **1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ**

### **Лабораторная работа № 1**

#### **ОТБОР ПРОБ ГРУНТОВ НЕНАРУШЕННОГО И НАРУШЕННОГО СЛОЖЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА**

Достоверность лабораторных исследований физико-химических свойств грунтов в значительной степени зависит от способа отбора образцов, их упаковки, транспортировки и хранения.

Образцы грунтов отбираются в виде монолитов, т.е. образцов естественного сложения и влажности, или в виде образцов нарушенного сложения.

Монолиты связных грунтов вырезают в форме параллелепипедов с размером граней от 10 до 25 см, кусков керна (диаметром не менее 80 мм) или цилиндров из защищенных стенок или забоев шурфов, котлованов, буровых скважин. Затем образцы обматывают марлей в несколько слоев и опускают на 1-2 минуты в расплавленный парафин.

Образцы грунтов нарушенного сложения помещают в мешочки из плотной ткани или полиэтиленовой пленки. Пробы грунтов для транспортировки упаковывают в прочные ящики. Грунты естественного сложения и влажности помещают во влажные опилки, мелкую стружку или солому для предохранения от разрушения и высыхания. Хранить образцы грунта желательно в помещениях с относительной влажностью воздуха 50 - 60 %, срок хранения не более 15-30 дней.

Каждая проба грунта должна сопровождаться этикеткой, содержащей номер, место и время отбора. Вскрытие монолита производится в лаборатории непосредственно перед анализом.

### **Ход работы**

1. Ножом срезают марлю с верха монолита.
2. С этикетки переписывают все данные в лабораторную тетрадь.
3. Ножом срезают верхний слой грунта толщиной 1-2 см.
4. Взвешивают кольцо на технических весах с точностью до 0,01 г, устанавливают его режущей кромкой на выровненную ножом площадку монолита и постепенно без перекоса вдавливают кольцо в грунт вторым кольцом до тех пор, пока грунт не выступит из кольца на 1,0-1,5 см. Затем столбик грунта подрезают снизу и кольцо с грунтом отделяют от монолита, удаляя лишний грунт.
5. Кольцо с грунтом взвешивают и помещают в футляр. На наружной стороне футляра мягким карандашом записывают номер группы, бригады, дату и хранят для последующих работ.

### **Лабораторная работа №2**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА СИТОВЫМ МЕТОДОМ**

Нескальные грунты (крупнообломочные, песчаные и глинистые) состоят из отдельных обломков различной крупности, формы и вещественного состава.

Относительное содержание в грунте частиц различной крупности, выраженное в процентах от массы сухого грунта, характеризует гранулометрический, или механический состав грунта. Гранулометрический состав определяет многие свойства грунта: пластичность, пористость, набухание, усадку, сжимаемость и др. По гранулометрическому составу дается наименование крупнообломочным и песчаным грунтам.

Определение гранулометрического состава производится соответствующими анализами, для чего грунты разделяют на фракции (группы зерен, близкие по крупности).

Существующие способы подготовки грунта к гранулометрическому анализу можно разделить на три группы: механические, химические и физико-химические.

При анализе грунта в строительных целях обычно ограничиваются механическими способами его подготовки: растиранием в ступе и кипячением.

Ситовой метод применяют для определения гранулометрического состава песчаных грунтов. Грунт с помощью специального набора сит рассеивают на отдельные фракции. Стандартный набор состоит из сит с отверстиями 10; 5; 2; 1; 0,25; 0,1 мм. Сита собирают в колонку так, чтобы их отверстия уменьшались сверху вниз. Под нижнее сито подставляют поддон (рис. 1).

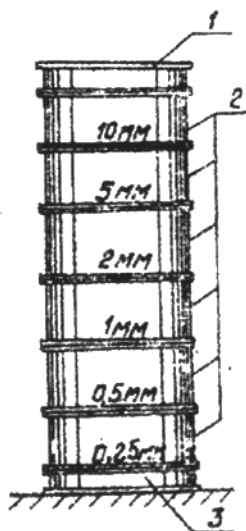


Рис. 1. Комплект сит для гранулометрического анализа грунта:  
1 — крышка; 2 — сита; 3 — поддон

## Ход работы

1. Из воздушно-сухого грунта отбирают среднюю пробу, величина которой зависит от однородности состава грунта. Чем менее однороден грунт, тем больше должна быть средняя проба.

Средняя проба берется следующим образом: на листе бумаги весь образец грунта тщательно перемешивают, разравнивают ножом или линейкой и разделяют на четыре части. Две части, лежащие накрест, отбрасывают, а две другие соединяют, перемешивают, разравнивают, разделяют на четыре части и т.д. Эту операцию продолжают до тех пор, пока объем оставшегося грунта не будет примерно равен заданной величине средней пробы (величина средней пробы в данном случае берется равной 100 г).

2. Пробу грунта взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г.

3. Взвешенный грунт помещают в колонку сит и встряхивают до тех пор, пока не будет достигнута полная отсортировка частиц грунта на ситах.

4. Фракции, оставшиеся после просеивания на ситах и в поддоне, взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Суммарная масса всех фракций не должна отличаться более чем на 0,5 % от веса образца, взятого для анализа.

5. Из суммарной массы навески вычисляют процентное содержание каждой фракции по формуле

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

где X - процентное содержание фракций в грунте;

A - масса фракций;

B - масса средней пробы.

Полученные данные записывают в табл. 1.

Таблица 1

Диаметр фракций, мм	Гранулометрический состав грунта							
	>10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1
Масса фракций, г								
Содержание фракций, %								

По ГОСТ 25100-95 определяют наименования песчаного грунта (табл. 2).

Таблица 2

Грунт	Размер частиц, мм	Масса частиц, % от массы воздушно-сухого грунта
Песок:		
гравелистый	> 2	> 25
крупный	> 0,5	> 50
средней крупности	> 0,25	> 50
мелкий	> 0,1	≥ 75
пылеватый	> 0,1	< 75

По гранулометрическому составу песок \_\_\_\_\_

### Лабораторная работа №3 ПОСТРОЕНИЕ СУММАРНОЙ КРИВОЙ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

#### Ход работы

Кривая гранулометрического состава (рис. 2) строится в системе прямоугольных координат, в полулогарифмическом масштабе. Для построения графика последовательно суммируют содержание фракций, начиная с наиболее мелкой.



Расчет результатов анализа по совокупности фракций приводится в табличной форме (табл. 3).

Таблица 3

Диаметр частиц каждой фракции, мм	Содержание каждой фракции, %	Диаметр частиц по совокупности фракций, мм	Содержание совокупности фракций, %
10-5		10	
5-2		5	
2-1		2	
1-0,5		1	
0,5-0,25		0,5	
0,25-0,10		0,25	
0,10		0,10	

После подсчета данных на оси ординат откладывают процентное содержание фракций, на оси абсцисс - логарифмы диаметров частиц.

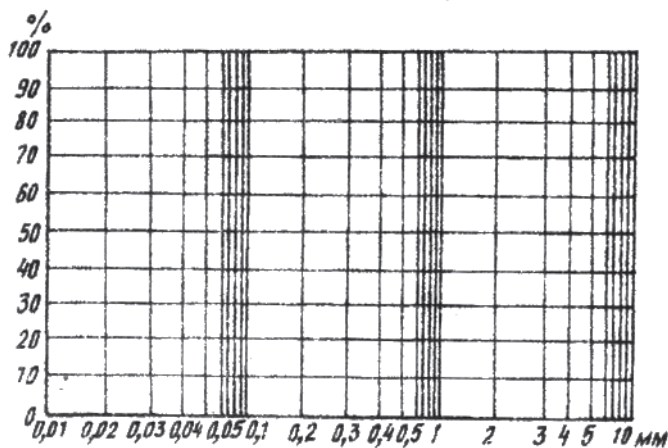


Рис. 2. Кривая гранулометрического состава

По кривой гранулометрического состава определяют показатель неоднородности гранулометрического состава грунта  $C_v$  как отношение диаметров частиц, процентное содержание которых в

грунте составляет менее 60 %, к диаметру частиц с процентным содержанием в грунте меньше 10 %

$$C_v = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Рассматриваемые песчаные грунты будут однородными, если  $C_v \leq 3$ , и неоднородными, если  $C_v > 3$ .

Заклучение \_\_\_\_\_

### Лабораторная работа №4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ РЕЖУЩЕГО КОЛЬЦА

Плотность грунта  $\rho$ , равная отношению массы грунта (включая массу воды в его порах) к занимаемому этим грунтом объему, зависит от влажности, пористости, минералогического состава и может меняться в значительных пределах (~1,4 до 2,1 г/см<sup>3</sup>). Грунт определенной пористости достигает максимального значения плотности при полном заполнении пор водой. Плотность грунта используется в инженерно-технических расчетах оснований, земляных сооружений и среды для подземных сооружений, а также при установлении объема земляных работ.

Зная плотность грунта, выражаемую в т/м<sup>3</sup>, легко найти удельный вес грунта в кН/м<sup>3</sup> по формуле

$$\gamma = \rho g,$$

где  $g$  - ускорение свободного падения,  $g=9,81 \approx 10$  м/с<sup>2</sup>.

Метод режущего кольца (рис. 3) применяют для связных грунтов, легко поддающихся вырезке, но не склонных к кроше-

шению, а также в тех случаях, когда объем и форма отбираемого образца грунта могут быть сохранены только при помощи жесткой тары.

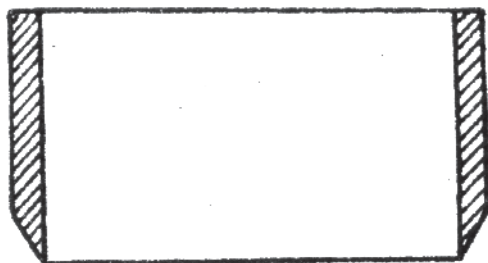


Рис. 3. Режущее кольцо

### Ход работы

1. Определяют размеры и внутренний объем кольца.
2. Кольцо взвешивают на технических весах ( $m_0$ , г).
3. Зачистив поверхность грунта, ставят на нее кольцо острым режущим краем вниз. Придерживая кольцо рукой, острым ножом вырезают столбик грунта высотой 1-2 см и диаметром, равным внешнему диаметру кольца. Осторожно нажимая на верхний край кольца, насаживают его на столбик грунта. Вырезание столбика грунта и погружение кольца в грунт продолжается до полного его заполнения. В песчаные грунты, из которых не удастся вырезать столбик, кольцо вдавливают.
3. После заполнения кольца столбик грунта подрезают снизу ножом и отделяют кольцо от грунта. Грунт, выступающий из кольца, срезают вровень с его краями.
4. Взвешивают кольцо с грунтом ( $m_1$ , г).
5. Определив массу грунта  $m = m_1 - m_0$ , вычисляют плотность грунта по формуле  $\rho = \frac{m}{V}$ , г/см<sup>3</sup>, где  $V$  - объем кольца, см<sup>3</sup>.

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Расхождение в результате параллельных определений больше, чем на 0,03 г/см<sup>3</sup> не допускается.

Данные определений записывают в табл. 4.

Таблица 4

№ об- раз- ца	Высота кольца h, см	Диа- метр кольца d, см	Объем кольца v, см <sup>3</sup>	Масса, г			Плот- ность грунта ρ, г/см <sup>3</sup>
				пус- того кольца m <sub>0</sub>	кольца с грун- том m <sub>1</sub>	грунта m	

Для связных грунтов, трудно поддающихся вырезке или склонных к крошению, при определении плотности используют метод парафинирования.

### Лабораторная работа №5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ НЕЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ

Плотностью твердых частиц грунта называется отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к объему твердой части этого грунта

$$\rho_s = \frac{m_c}{V_c},$$

где  $m_c$  - масса сухого грунта, г,  
 $V_c$  - объем сухого грунта, см<sup>3</sup>.

Плотность частиц грунта обуславливается только минералогическим составом и увеличивается с повышением содержания в грунте тяжелых минералов. Для ориентировочных расчетов принимают плотность песка равной 2,66, супесей - 2,70, суглинков - 2,71, глины - 2,74 г/см<sup>3</sup>.

Для определения плотности частиц незасоленных грунтов применяют дистиллированную воду, а для засоленных грунтов - керосин, толуол, ксилол. Зная плотность частиц грунта, находят удельный его вес  $\gamma_s$ , кН/м<sup>3</sup>

$$\gamma_s = \rho_s g.$$

### Ход работы

1. Из воздушно-сухого грунта методом «квадратов» отбирают среднюю пробу массой 100-200 г, которую просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Остаток на сите дробят и затем просеивают через то же сито.

2. Из средней пробы берут навеску из расчета 15 г на каждые 100 см<sup>3</sup> емкости мерной колбы (пикнометра) рис. 4.



Рис. 4. Пикнометр: с притертой пробкой и с кольцевой риской на горлышке

3. Взвешивают пикнометр ( $m_1$ , г).
4. Высыпают через воронку подготовленный грунт и взвешивают пикнометр с грунтом ( $m_2$ , г).
5. Определяют массу воздушно-сухого грунта ( $m = m_2 - m_1$ ).
6. В пикнометр с грунтом, примерно 1/3 его объема, наливают дистиллированную воду и кипятят на песочной бане 30 мин. (пески и сулеси) или 1 ч (суглинки и глины) для удаления адсорбированного воздуха и расчленения агрегатов.

6. В пикнометр доливают воду до мерной черты и охлаждают содержимое, поместив его в небольшой сосуд с водой.

7. Поправляют положение мениска путем добавки в пикнометр нескольких капель воды, тщательно отбирают его снаружи в шейку внутри (при помощи куска свернутой в трубочку фильтрованной бумаги), после чего взвешивают ( $m_3$ , г).

8. Освободив пикнометр от содержимого, тщательно ополаскивают его, наполняют дистиллированной водой, имеющей температуру суспензии, и взвешивают ( $m_4$ , г).

9. На основе полученных данных рассчитывают плотность по формуле

10.

$$\rho = \frac{m\rho_w}{m + m_3 - m_4},$$

где  $\rho_w$  - плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

Данные определений записывают в табл. 5.

Таблица 5

№ пикнометра	Масса пикнометра, г				Масса сухого грунта $m = m_2 - m_1$	Плотность частиц грунта
	пустого $m_1$	с грунтом $m_2$	с грунтом и водой до черты $m_4$	с водой до черты $m_3$		

## Лабораторная работа №6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

Грунт естественного залегания всегда содержит то или иное количество воды. Величина естественной влажности является важнейшей характеристикой физического состояния грунта. Влажностью грунта называется отношение массы воды, уда-

ленной из образца высушиванием его при температуре 105 °С, к массе абсолютно сухого грунта. Влажность может быть выражена в процентах или долях единицы.

### Ход работы

1. Взвешивают пустой бюкс с крышкой на технических весах с точностью до 0,01 г ( $m_0$ , г).

2. В бюкс (рис. 5) помещают образцы влажного грунта массой 10-20 г и взвешивают ( $m_1$ , г).

3. Сняв крышку, помещают бюкс в сушильный шкаф, где поддерживают температуру около 105 °С. Выдерживают образец в шкафу не менее 6 ч, после чего взвешивают ( $m_2$ , г).

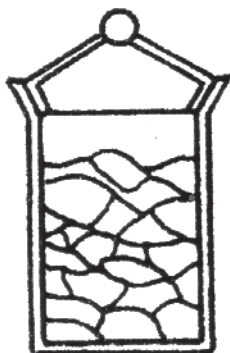


Рис. 5. Сушильный стаканчик (бюкс) с грунтом

4. Влажность грунта  $W$  в % вычисляют по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100$$

5. Данные определения заносят в табл. 6.

Таблица 6

№ бю-кса	Масса бюкса, г			Масса воды в грунте $m_1 - m_2$ , г	Масса сухого грунта $m_2 - m_0$ , г	Влажность грунта, %	
	пустого $m_0$	с влаж-ным грунтом $m_1$	с сухим грунтом $m_2$			проб	сред-няя

### Лабораторная работа №7

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ РАСЧЕТОМ (пористость, коэффициент пористости и степень водонасыщения)

Плотностью скелета грунта называется отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к занимаемому этим грунтом объему (включая имеющиеся в этом грунте поры)

$$\rho_d = \frac{m_c}{V}$$

где  $m_c$  - масса сухого грунта, г;  
 $V$  - объем образца, см<sup>3</sup>.

Плотность скелета грунта определяется по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}$$

где  $\rho$  - плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;  
 $W$  - влажность грунта в долях единицы.

Пористостью называют отношение объема пор к общему объему грунта

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100\%$$

где  $\rho_s$  - плотность твердых частиц грунта, г/см<sup>3</sup>.



Приведенной пористостью, или коэффициентом пористости называют отношение объема пор к объему скелета грунта. Коэффициент пористости  $e$  выражается в долях единицы и определяется по формуле

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1.$$

Выделяют разновидности песчаных грунтов по плотности сложения (ГОСТ 25100-95) - табл. 7.

Таблица 7

Песок	Разновидность по плотности сложения		
	плотный	средней плотности	рыхлый
Гравелистый крупный и средней крупности	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,70$	$e > 0,70$
Мелкий	$e < 0,60$	$0,60 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Пылеватый	$e < 0,60$	$0,60 \leq e \leq 0,80$	$e > 0,80$

Степень влажности  $S_r$  характеризует долю заполнения пор грунта водой. Она выражается в долях единицы и определяется по формуле

$$S_r = \frac{W\rho_s}{e\rho_w}.$$

Выявляют разновидности песчаных грунтов по степени водонасыщения (ГОСТ 25100-95):

*малой степени водонасыщения (маловлажные)*

$$0 < S_r \leq 0,5;$$

*средней степени водонасыщения (влажные)*

$$0,5 < S_r \leq 0,8;$$

*насыщенные водой*

$$0,8 < S_r \leq 1.$$

Заключение: \_\_\_\_\_

По [9, табл. 2., прил. 3] определяем расчетное сопротивление  $R_0$ , кПа.

### **Лабораторная работа №8** **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ, НАИМЕНОВАНИЯ** **И КОНСИСТЕНЦИИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА**

Под пластичностью грунта понимают его способность в определенном интервале влажности изменять свою форму без разрыва сплошности под воздействием внешнего давления и сохранять ее, когда внешнее действие прекращается.

Глинистые грунты становятся пластичными при определенном содержании воды. С увеличением содержания воды они переходят в текучее состояние, с уменьшением - в твердое.

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

**Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в твердое, называется границей раскатывания (нижний предел пластичности  $W_P$ ).**

Эти величины называют характерными влажностями. Они служат для классификации глинистых грунтов.

**Разность между влажностями грунта при пределе текучести и раскатывании называют числом пластичности**

$$I_p = W_L - W_P.$$

Глинистые грунты в зависимости от числа пластичности разделяют на:

<i>супеси</i>	$1 \leq I_p \leq 7;$
<i>суглинки</i>	$7 < I_p \leq 17;$
<i>глины</i>	$I_p > 17.$

Зная характерные влажности  $W_L$  и  $W_P$  и естественную влажность  $W$ , можно оценить показатель текучести (консистенцию) глинистого грунта

$$I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P}.$$

В зависимости от показателя текучести (консистенции)  $I_L$  глинистые грунты разделяют на:

	<i>супеси</i>
<i>твердые</i>	$I_L < 0;$
<i>пластичные</i>	$0 \leq I_L \leq 1;$
<i>текучие</i>	$I_L > 1;$
	<i>суглинки и глины</i>
<i>твердые</i>	$I_L < 0;$
<i>полутвердые</i>	$0 \leq I_L \leq 0,25;$
<i>тугопластичные</i>	$0,25 < I_L \leq 0,5;$
<i>мягкопластичные</i>	$0,5 < I_L \leq 0,75;$
<i>текучепластичные</i>	$0,75 < I_L \leq 1,0;$
<i>текучие</i>	$I_L > 1,0.$

### Определение границы текучести ( $W_L$ )

Граница текучести характеризуется влажностью пасты, изготовленной из грунта и воды, при которой балансирный конус погружается под действием собственной массы (76 г) за 5 с на глубину 10 мм (рис. 6).

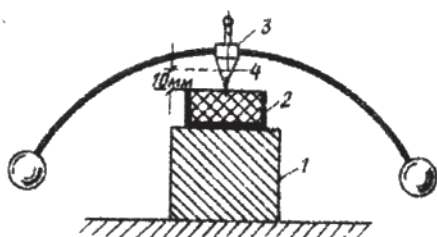


Рис. 6. Балансирный конус:

1 - подставка; 2 - грунт в металлической чашке прибора; 3 - ручка;  
4 - контрольная кольцевая риска на поверхности конуса

### Ход работы

1. Из сухого глинистого грунта, прошедшего через сито с отверстием 1 мм, с добавлением небольшого количества воды готовится грунтовая паста, которую выдерживают не менее 24 часов в закрытом стеклянном сосуде.

2. Грунтовую пасту тщательно перемешивают и укладывают в стаканчик прибора, заполняя его без пустот. Поверхность пасты сглаживают до одного уровня с краями стаканчика.

3. Подносят к поверхности грунтовой пасты, находящейся в стаканчике, конус, который должен в течение 5 с погрузиться в пасту под действием собственного веса.

4. Погружение конуса за 5 с на глубину менее 10 мм показывает, что влажность пасты еще не достигла искомой границы текучести. В этом случае грунтовую пасту вынимают из стаканчика, добавляют в нее немного воды (несколько капель), тщательно перемешивают и повторяют операции согласно пп. 2 и 3.

Погружение конуса в пасту в течение 5 с на глубину 10 мм указывает на достижение искомой границы текучести.

5. Отбирают из испытываемой пасты пробы массой не менее 15 г и производят не менее двух параллельных определений влажности. Расхождение в результатах замеров свыше 2 % не допускается.

Результаты анализа заносят в табл. 8.

### Определение границы раскатывания

Границей раскатывания  $W_p$  называют влажность, в процентах, при которой паста, изготовленная из грунта и воды, раскатанная в жгут толщиной 3 мм, начинает распадаться на отдельные кусочки 3-10 мм (рис. 7).

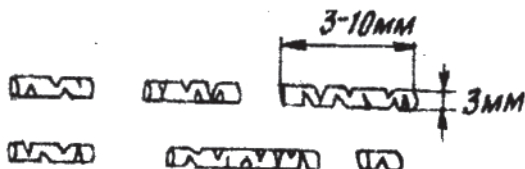


Рис. 7. Вид распадающегося шнура глинистого грунта при достижении границы раскатывания

### Ход работы

1. Грунтовую пасту, оставшуюся от определений границы текучести, подсушивают до тех пор, пока она при раскатывании не перестанет прилипать к ладоням рук.

2. Из подсушенной пасты берут небольшие кусочки и раскатывают их на стекле или кальке до образования жгута диаметром 3 мм.

3. Если при такой толщине грунтовой жгут начинает крошиться, то считают что предел раскатывания достигнут.

4. Набрав не менее 10-15 г грунтового жгута в предварительно взвешенный бюкс, определяют его влажность (см. лабораторную работу №6).

Если же жгут начинает крошиться, не достигнув толщины 3 мм, добавляют несколько капель воды, вновь его перемешивают и раскатывают.

Если при толщине 3 мм жгут сохраняет эластичность и не крошится; его переминают руками, а затем снова раскатывают до толщины 3 мм.

5. Для каждого образца грунта производят не менее двух параллельных определений. Расхождение результатов должно быть не более 2 %, в противном случае испытание повторяют. Данные опыта заносят в табл. 9.

Таблица 8

Номер бьюкса	Масса бьюкса, г			Предел текучести $W_L = \frac{m_1 - m_0}{m_2 - m_0}$
	пустого $m_0$	с влажным грунтом $m_1$	с сухим грунтом $m_2$	

Таблица 9

Номер бьюкса	Масса бьюкса, г			Предел текучести $W_p = \frac{m_1 - m_0}{m_2 - m_0}$
	пустого $m_0$	с влажным грунтом $m_1$	с сухим грунтом $m_2$	

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p} = \quad ; \quad I_p = W_L - W_p =$$

При определении  $I_p$  влажность на границе текучести  $W_L$  и влажность на границе раскатывания  $W_p$  берут в процентах.

Заключение: \_\_\_\_\_

По [9, табл.3., прил. 3] определяем  $R_0 =$  \_\_\_\_\_ кПа.

## 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ

Механические характеристики грунтов используют для оценки поведения грунтов под воздействием внешних усилий (веса сооружений, вышележащей толщи и др.). Поведение грунтов зависит от их вида и состояния, типа приложения нагрузки (статическая, динамическая), длительности ее воздействия. Механические характеристики грунтов разделяют на деформационные и прочностные.

Деформации грунтов определяют от нагрузок, которые не превосходят критических и не приводят к разрушению грунтов. Деформируемость грунтов оценивают следующими показателями: коэффициентом сжимаемости, модулем деформации, коэффициентом бокового расширения, коэффициентом консолидации и рядом других.

Прочностные характеристики описывают поведение грунтов при критических нагрузках, после которых наступают разрушение или потеря устойчивости оснований и откосов. Важнейшим критерием прочности грунтов является их сопротивляемость сдвигу.

Поведение грунтов под нагрузкой изучается в лабораторных и полевых условиях.

### Лабораторная работа №9 КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ

Сжимаемость грунтов - это их способность уменьшаться в объеме, давая осадку под действием внешней нагрузки.

В лабораторных условиях чаще всего изучение сжимаемости производят в условиях одноосного сжатия без возможности бокового расширения грунта. Для этих целей применяют компрессионные приборы различных систем (рис.8).

В этих приборах на образец, находящийся в кольце, прикладывают нагрузку и изменяют деформацию с точностью до 0,01 мм.

Коэффициент пористости  $e_i$  при давлении  $P_i$  определяют по формуле

$$e_i = e_0 - \left( \frac{S_i}{h} \right) \cdot (1 + e_0),$$

где  $e_0$  - начальный коэффициент пористости грунта (до приложения нагрузки);

$S_i$  - осадка от давления  $P_i$ ;

$h$  - высота образца.

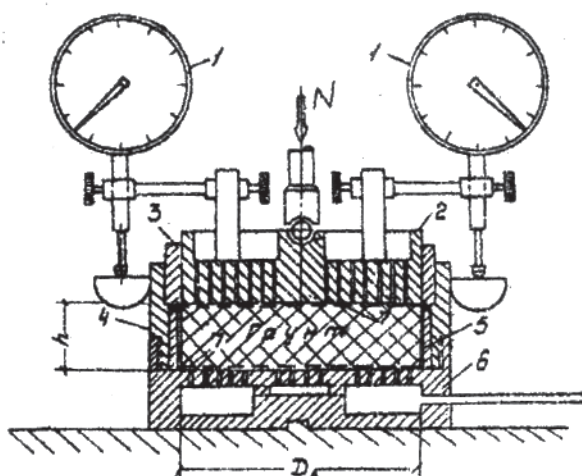


Рис. 8. Схема компрессионного прибора (одометра):  
 1- индикаторы часового типа; 2- перфорированный штамп;  
 3- направляющее кольцо; 4- верхняя обойма; 5- рабочее режущее кольцо;  
 6- нижняя обойма с верхним перфорированным дном;  
 7- прокладки из фильтровальной бумаги

По значениям  $e$ , для различных давлений строят компрессионную кривую (рис. 9).

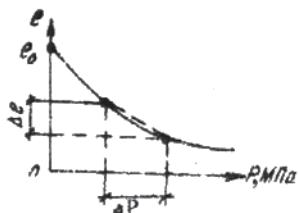


Рис. 9. Компрессионная кривая

По компрессионной кривой определяют характеристики деформационных свойств грунтов. Коэффициент сжимаемости (уплотнения) представляет собой тангенс угла наклона компрессионной кривой к горизонтальной оси. При изменении нагрузки в небольших пределах кривая с достаточной точностью может быть



заменена прямой. Следовательно, при изменении нагрузки в небольших пределах коэффициент сжимаемости,  $\text{МПа}^{-1}$ , можно определить по выражению

$$m_0 = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{P_2 - P_1},$$

где  $P_1, P_2$  - расчетный интервал нагрузки, МПа;

$\epsilon_1, \epsilon_2$  - коэффициенты пористости при заданных нагрузках.

Коэффициент относительной сжимаемости  $m_0$ ,  $\text{МПа}^{-1}$ , и модуль деформации грунта  $E$ , МПа, соответственно:

$$m_0 = \frac{m_v}{1 + \alpha_0}; \quad E = \frac{\beta}{m_v},$$

где  $\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu}$  - коэффициент, учитывающий отсутствие поперечной деформации;

$\mu$  - коэффициент Пуассона, зависящий от вида и состояния грунта.

При компрессионных испытаниях размеры образца должны быть такими, чтобы диаметр образца превышал его высоту не менее чем в четыре раза, а сама высота была не менее 1 см. Передачу давления на образец производят с помощью рычажного пресса. Начальное и предельное давление устанавливается заданием.

Каждое сообщаемое образцу давление выдерживают до условной стабилизации деформации, за которую принимают величину сжатия грунта, не превышающую 0,01 мм для песчаных грунтов - за 4 ч, для глинистых грунтов - за 16 ч (по ГОСТ 12248-96).

Регистрация деформаций образца в приборе производится непосредственным измерением осадки штампа прибора при помощи индикаторов с ценой деления 0,01 мм.

## Ход работы

1. На технических весах взвешивают кольцо прибора, измеряют его высоту  $h$ , диаметр, вычисляют площадь и объем.
2. Заполняют кольцо грунтом методом режущего кольца (см. лабораторную работу № 4).
3. Кольцо с грунтом взвешивают и помещают в стакан, на дне которого находится пористая прокладка, покрытая фильтровальной бумагой.
4. Поверхность образца покрывают кружком фильтрованной бумаги и устанавливают поршень.
5. Закрепляют индикатор и делают первый отсчет, соответствующий отсутствию нагрузки.
6. После записи начального показания индикаторов дают первую ступень нагрузки на образец. Масса гирь на каждой ступени давления определяется из выражения

$$g = \frac{PF}{N},$$

- где  $F$  - площадь образца,  $\text{м}^2$ ,  $F=0,006 \text{ м}^2$ ;  
 $N$  - передаточное число системы рычагов,  $N=10$ ;  
 $P$  - давление на образец на ступени, МПа.

7. Ожидают условной стабилизации деформации.
8. После стабилизации производят запись показаний индикаторов и добавляют нагрузку следующей ступени.
9. Аналогичным способом производят наблюдения для следующих ступеней нагрузки.
10. По данным наблюдений вычисляют коэффициенты пористости при соответствующих нагрузках, и данные заносят в табл. 10.
11. По произведенным подсчетам строят компрессионную кривую, откладывая на оси абсцисс в принятом масштабе давление, а на оси ординат - соответствующий ему коэффициент пористости (рис. 10).

Таблица 10

Масса гирь на подвес- ке $q$ , кН	Давле- ние на образец $P$ , МПа	Показание индикаторов		Осад- ка $\frac{S_p + S_a}{2}$ $= S_p$ , мм	Отно- ситель- ная дефор- мация $S_i/h$	Изме- нение коэф- фици- ента порис- тости $\Delta e_i$	Кэф- фици- ент порис- тости $e_i = e_0 - \Delta e_i$
		$S_{\text{лев}}$ мм	$S_{\text{прав}}$ мм				
0,0							
0,03							
0,06							
0,12							
0,18							
0,24							
0,30							

12. Подсчитывают коэффициент сжимаемости и модуль деформации, дают оценку сжимаемости грунта.

$$m_0 = \frac{\Delta e_i}{\Delta P} = \dots ; \quad m_0 = \frac{\Delta e_i}{\Delta P} = \dots$$

$$E = \frac{P}{\Delta e_i} = \dots$$

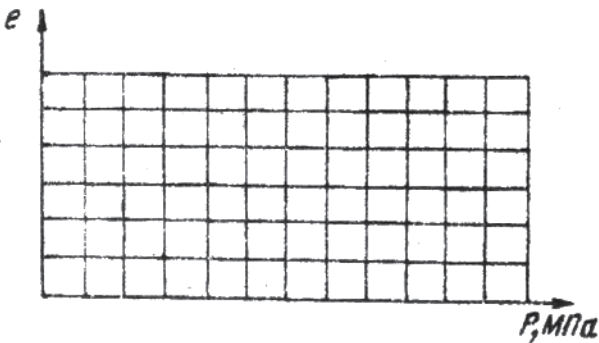


Рис. 10. Компрессионная кривая грунта

**Лабораторная работа № 10**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ СДВИГУ**  
**В ОДНОСРЕЗНОМ СДВИГОВОМ ПРИБОРЕ**

Грунты в основании сооружений испытывают воздействие не только нормальных, но и касательных напряжений. Когда касательные напряжения в грунте достигают его предельного сопротивления, происходит сдвиг одной части массива по другой.

Показатели сопротивления сдвигу: угол внутреннего трения  $\tau$  и сцепление  $C$  характеризуют прочностные свойства грунтов основания. Прочностные показатели грунта широко используют при инженерных расчетах предельной нагрузки на грунт, устойчивости массивов грунта и давления грунтов на ограждения. Определение сопротивления грунтов сдвигу может производиться различными методами: по результатам прямого плоскостного среза (рис. 11), трехосного сжатия, среза по цилиндрической поверхности, вдавливания и др.

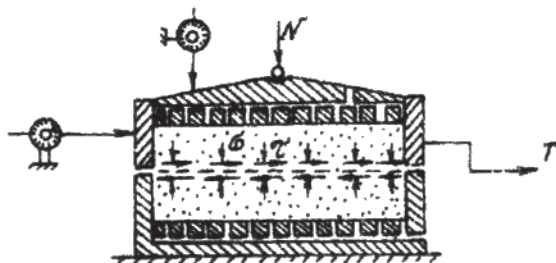


Рис. 11. Схема срезного прибора:  
T - сдвигающее усилие; N - нормальное усилие

Лабораторную работу можно выполнять на приборах ГПП-30 Гидропроекта, Н.М. Маслова и др. --- рис. 12. Для построения зависимости необходимо иметь несколько точек, поэтому испытания проводят на нескольких образцах, взятых из одного монолита.

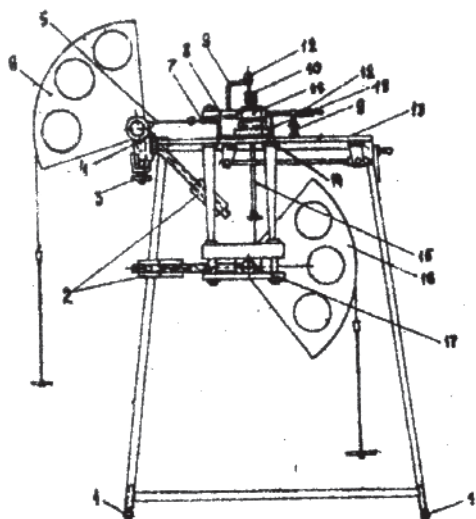


Рис. 12. Общий вид срезного прибора на станине:

- 1 - 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 обойма;  
 12 - индикатор; 13 - плита станины; 14 - поворотная панель;  
 15 - коромысло; 16 - секторный рычаг; 17 - подшипник; 18 - ванна

Сдвиговой прибор имеет две загрузочные системы - одну для создания вертикального давления на грунт, постоянного на все время опыта, другую - для получения горизонтальной сдвигающей нагрузки, которая возрастает в процессе опыта. Устанавливают два индикатора: один для контроля вертикальной деформаций, другой - для замера горизонтальных деформаций сдвига.

### Ход работы

1. Образец грунта отбирают кольцом.
2. Кольцо с грунтом закладывают в цилиндр.
3. Цилиндр помещают в ванну прибора предварительного уплотнения и устанавливают на перфорированный металлический

диск. Сверху и снизу образца грунта укладывают фильтровальную бумагу.

4. На образец грунта сверху устанавливают перфорированный поршень.

5. На подвеску рычага кладут гири для создания заданного нормального давления.

6. После стабилизации осадки образца под заданным давлением рабочий цилиндр с заключенным в нем образцом разгружают, устанавливают в ванную сдвигового прибора и создают вертикальное напряжение  $P_1=0,1$  МПа.

7. Поворотом гайки делают зазор от 0,5 до 1 мм.

8. Производят сдвиг, прикладывая горизонтальное сдвигающее усилие к верхней подвижной обойме. Груз, создающий сдвигающее усилие, прикладывают ступенями по 5-10 % от вертикального давления.

9. В случае медленного сдвига стабилизация горизонтальной деформации считается достигнутой при ее скорости, не превышающей 0,01 мм/мин. За величину сопротивления грунта сдвигу принимают значение горизонтального усилия, при котором подвижная каретка сдвигового прибора смещается относительно неподвижной на 5 мм.

10. Вычисляют сдвигающее напряжение, МПа, по формуле

$$\tau = \frac{gN}{F}$$

где  $g$  - масса груза на подвеске, кН;

$N$  - передаточное число рычага,  $N=10$ ;

$F$  - площадь образца,  $m^2$ ,  $F=0,004$   $m^2$ .

11. Повторяют операции 1-10 для давлений  $P_2=0,2$  МПа и  $P_3=0,3$  МПа.

Результаты заносят в табл. 11.

12. Строят график зависимости сдвигающего напряжения от вертикального напряжения (рис. 13).



**Лабораторная работа № 11**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА**  
**ПЕСЧАНОГО ГРУНТА**

Углом естественного откоса  $\alpha$  называют максимальный угол, при котором неукрепленный откос песчаного грунта сохраняет равновесие.

Угол естественного откоса песчаного грунта определяют в воздушно-сухом и подводном состояниях. Угол естественного откоса используется в расчетах объемов земляных работ, а самое главное — в расчетах прочности и устойчивости грунтов, давления их на ограждения и пр. Кроме того, угол естественного откоса может служить признаком наличия у песчаных грунтов, содержащих свободные коллоиды, плавунных свойств (угол естественного откоса в подводном состоянии у таких грунтов колеблется от 0 до  $12+14^\circ$ ).

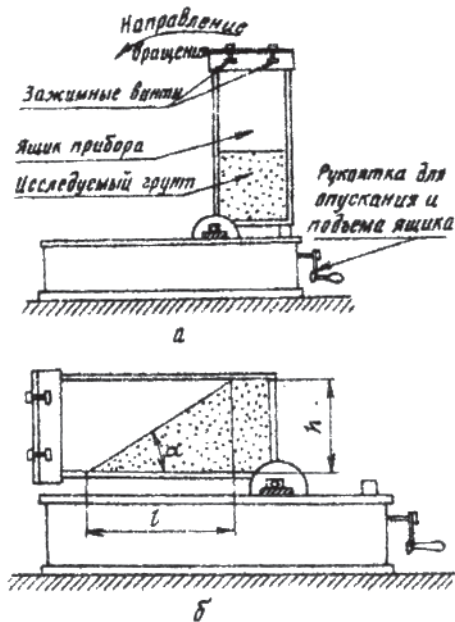


Рис. 14. Определение угла естественного откоса песчаного грунта



## Ход работы

Образец воздушно-сухого песка объемом примерно 1 л просеивают сквозь сито с диаметром отверстий 5 мм и тщательно перемешивают. Вращением рукоятки переводят банку прибора в вертикальное положение (рис. 14, а), равномерно насыпают песок в банку и разравнивают его поверхность с тем, чтобы она была горизонтальной. Закрыв крышку банки, проверяют горизонтальность поверхности стола с помощью уровня.

Равномерным вращением рукоятки за время не менее 30 с переводят банку из положения *а* в положение *б* (рис. 14).

Измеряют высоту *h* и основание *l* откоса с точностью до 1 мм. Угол естественного откоса вычисляют (с точностью до 30 мин) по формуле

$$\alpha = \arctg \frac{h}{l}.$$

Для каждого образца песчаного грунта в воздушно-сухом состоянии производят не менее двух определений угла естественного откоса. Расхождение между повторными определениями больше чем на 2° не допускается.

За угол естественного откоса песчаного грунта в воздушно-сухом состоянии принимают среднее арифметическое значение результатов отдельных определений, выраженное в целых градусах.

После определения угла естественного откоса песка в воздушно-сухом состоянии банку прибора вновь переводят в положение *а*. Открывают крышку и покрывают поверхность песка листом бумаги так, чтобы один конец ее выходил за край банки. Ширина листа бумаги должна быть примерно равна ширине банки.

Осторожно наливают по листу бумаги до края банки воду и удаляют бумагу, не взмучивая песка. Через 30 мин. плавно переводят банку из положения *а* в положение *б* не менее чем за 30 с. Затем банку оставляют в покое до тех пор, пока образовавшийся в ней песчаный откос в местах, прилегающих к стенкам банки, не будет ясно виден. После этого производят замеры катетов, опре-

деляют угол естественного откоса, соблюдая требования повторности и допустимого расхождения определений как и для воздушно-сухого песка.

Последовательность записи результатов определения:

1. Наименования вида песчаного грунта....
2. Определение угла естественного откоса (табл. 12).

Таблица 12

№ пп	Наименование определений	В воздушно-сухом состоянии			В подводном состоянии		
		повторность определения					
		1	2	3	1	2	3
1	Высота откоса $h$ , см						
2	Заложение откоса $l$ , см						
3	$tg\alpha = \frac{h}{l}$						
4	$\alpha$						
5	Среднее арифметическое значение угла естественного откоса						

## Лабораторная работа №12

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ СТАНДАРТНОГО УПЛОТНЕНИЯ

При отсыпке земляного полотна железных дорог грунт подлежит обязательному уплотнению.

Искусственное уплотнение грунта - процесс, при котором грунтовые частицы укладываются более тесно, уменьшая объем пор, заполненных воздухом. При этом повышается прочность и жесткость грунта, понижается его водопроницаемость. Максимальная степень уплотнения необходима в верхних слоях насыпи, в которых возникают наибольшее напряжение от подвижных нагрузок.

Влажность, при которой достигается наибольшая плотность сухого грунта  $\rho_{d \max}$  при одинаковой (стандартной) затрате работы на уплотнение, называется оптимальной  $W_{\text{опт}}$  (рис. 15). В лабораторных условиях  $W_{\text{опт}}$  и  $\rho_{d \max}$  определяют, используя прибор стандартного уплотнения СоюздорНИИ (рис. 16). Метод заключается в последовательном уплотнении в одинаковых условиях проб одного и того же грунта при увеличении его влажности (начиная от воздушно-сухого состояния).

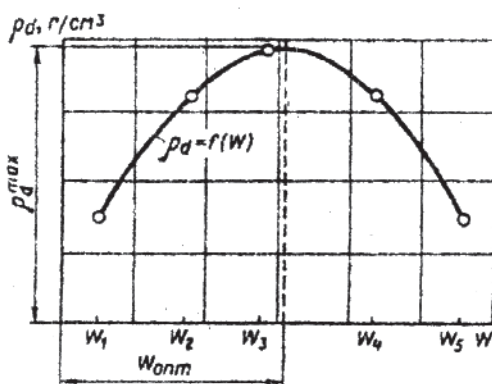


Рис. 15. График зависимости  $\rho_d = f(W)$  для определения оптимальной влажности и максимальной плотности грунта

Для опыта необходимо 2,5 кг грунта в воздушно-сухом состоянии (просеянного через сито 10 мм).

В грунт добавляют воды с таким расчетом, чтобы увеличить его влажность на 2-3%. Количество воды  $Q$ , необходимое для увлажнения грунта до требуемой влажности, рассчитывают по формуле

$$Q = \frac{m}{1 + w_1} \cdot (w_2 - w_1),$$

где  $m$  - масса грунта, оставшегося от предыдущего испытания;  
 $w_1, w_2$  - влажности, задаваемые соответственно при предыдущем и очередном испытаниях (в долях единицы).

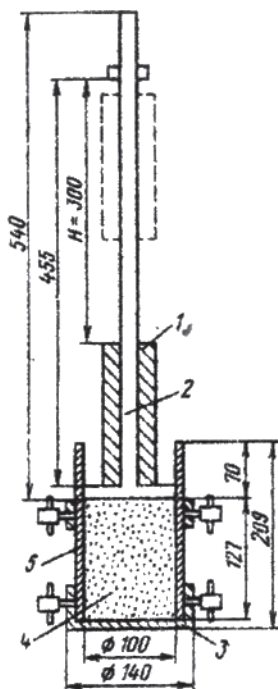


Рис. 16. Схема прибора стандартного уплотнения СоюздорНИИ:  
 1 - падающий груз; 2 - направляющая с уплотнителем; 3 - стакан;  
 4 - грунт; 5 - съемное кольцо

Уплотнение грунта каждой пробы выполняется путем последовательного трамбования трех слоев в приборе СоюздорНИИ для стандартного уплотнения грунтов. Прибор взвешивают на весах с точностью 0,5 г. Увлажненный грунт насыпают в разъемный цилиндр в количестве примерно 1/3 от общей массы подготовленного грунта, уплотняют ударами гири массой 2,5 кг, падающей с высоты 30 см. Общее число ударов принимают равным 120. Количество ударов на каждый слой составляет 1/3 общего числа (40 ударов). Вторую и третью порции грунта засыпают и уплотняют с насадкой. Избыток грунта на уровне верха основного цилиндра срезают и цилиндр с грунтом взвешивают с точностью до 0,5 - 1 г.

После взвешивания определяют влажность  $W$ , %, грунта. Рассчитывают плотность полученного грунта:

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

где  $m_2$  - масса цилиндра с грунтом;

$m_1$  - масса цилиндра;

$V$  - объем цилиндра 1000 см<sup>3</sup>.

Плотность сухого грунта определяют по формуле

$$\rho_d = \rho / (1 + W)$$

Образцы грунта с увеличением количества воды испытывают до тех пор, пока плотность грунта не станет уменьшаться, что можно заметить по уменьшению веса цилиндра с грунтом или по выдавливанию грунта при уплотнении между стенками цилиндра и поршнем.

Результаты опытов заносят в табл. 13.

По результатам определений строят график зависимости плотности сухого грунта от влажности (рис. 17). По полученному графику определяют  $W_{\text{opt}}$  и  $\rho_{d \text{ max}}$ .

Таблица 13

Номер испытания	Масса цилиндра $m_1$ , г	Объем цилиндра $V$ , см <sup>3</sup>	Масса цилиндра с грунтом $m_2$ , г	Масса грунта $m_3$ , г	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность грунта $W$ , %	Плотность сухого грунта $\rho_d$	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Плотность сухого грунта  $\rho_s$ , г/см<sup>3</sup>


Влажность  $W$ , %

Рис. 17

Лабораторные работы

выполнил \_\_\_\_\_

«    » \_\_\_\_\_ г.

Работы принял \_\_\_\_\_

«    » \_\_\_\_\_ г.

## Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация. - М.: Изд-во стандартов, 1982.
2. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. - М.: Изд-во стандартов, 1985.
3. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформированности. - М.: Изд-во стандартов, 1997.
4. ГОСТ 22733-77. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. - М.: Изд-во стандартов, 1988.
5. Цытович Н.А. Механика грунтов. - М.: Высшая школа, 1982.
6. Основания и фундаменты транспортных сооружений/ Гл. ред. И. С. Словьева. - М.: Транспорт, 1996.
7. Д а л м а т о в Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. - М.: Стройиздат, 1988.
8. Ч а п о в с к и й Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. - М.: Недра, 1975.
9. СНиП 2.02.01-83\*. Основания зданий и сооружений. - М.: Стройиздат, 1996.

Д-р техн. наук, проф. В. Л. Кубецкий  
МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

*Руководство к выполнению лабораторных раб.*

Редактор Г. Ю. Микрюкова  
Техн. редактор Н. Н. Соловьева  
Компьютерная верстка Горелыш  
Корректор О. В. Редьшева

*Вопечатайка*

ЛР №020307 от 28.11.1991

Тип. зак 152  
Подписано в печать 13.12.99.  
Печ. л. 2,5

Офсет  
Уч.-изд. л. 2,5

Жиз. 500

Формат 60x90/16

Редакционно-издательский отдел, типография РГОТУПС,  
125808, Москва, ГСП-47, Часовая ул., 22/2