

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа выполняется бригадой студентов. При этом каждому члену бригады руководитель занятий поручает конкретный участок и объем работ. В процессе проведения опытов каждый студент заносит в свой журнал полученные опытные данные, которые затем обрабатывает индивидуально.

Проведению лабораторной работы должно предшествовать изучение соответствующего раздела по учебной литературе. Студенты должны ознакомиться во время самоподготовки с содержанием лабораторной работы, приборами и методикой ее проведения.

Многие лабораторные работы требуют больших затрат времени – от нескольких часов до нескольких суток. В связи с этим некоторые промежуточные (сушка образцов при определении влажности) или подготовительные операции (зарядка колец компрессионных приборов, предварительное уплотнение образцов для сдвиговых испытаний и т. п.) выполняются лаборантом. Результаты, полученные при выполнении лабораторных работ, должны быть сразу же занесены в журнал. Прекращение начатого опыта возможно лишь с разрешения руководителя. В журнале производится обработка результатов с построением в случае необходимости соответствующих схем и графиков на миллиметровке (миллиметровку клеивают в журнал).

Студент допускается к сдаче экзамена по курсу лишь после сдачи лабораторных работ и при наличии журнала, подписанного руководителем.

## Лабораторная работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

**Гранулометрический состав** – распределение зерен (кусков) по крупности в массивах горной породы, горной массы, почве или искусственном продукте, характеризующееся выходом в процентах от массы или количества зерен.

Гранулометрический состав – важный показатель физических свойств и структуры грунтов.

Для определения гранулометрического состава песчаных и крупнообломочных грунтов применяют *ситовый метод*. Грунт с помощью специального набора сит рассеивают на отдельные фракции. Стандартный набор состоит из сит с отверстиями 10; 5; 2; 0,5; 0,25 и 0,1 мм. Сита собирают в колонку так, чтобы их отверстия уменьшались сверху вниз. Под нижнее сито подставляют 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 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 величине средней пробы (величина средней пробы в данном случае берется равной 100 г). Объем средней пробы для крупнообломочных грунтов составляет 600–3000 см<sup>3</sup>, для песчаных – 200–600 см<sup>3</sup>.

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 массы средней пробы, взятой для анализа.

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

$$X = \frac{A100}{B} \%,$$

где  $X$  – процентное содержание фракции в грунте;

$A$  – масса фракций;

$B$  – масса средней пробы.

Полученные данные записывают в табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1.1. **Определение наименования песчаного грунта**

Номер сита	Размер частиц фракций, мм	Содержание		Размер частиц в совокупности фракций, мм	Содержание, %
		г	%		
1	> 2			> 2	
2	2–0,5			> 0,5	
3	0,5–0,25			> 0,25	
4	0,25–0,1			> 0,1	
5	< 0,1			> 0	
			100 %		

Классификация песчаного грунта производится в соответствии с табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.2. **Классификация песчаного грунта**

Виды крупнообломочных и песчаных грунтов	Распределение частиц по крупности в процентах от массы воздушно-сухого грунта
<b>А. Крупнообломочные</b>	
Валунный грунт (при преобладании неокатанных частиц – глыбовый)	Масса частиц крупнее 200 мм составляет более 50 %
Галечниковый грунт (при преобладании неокатанных частиц – щебенистый)	Масса частиц крупнее 10 мм – 50 %
Гравийный грунт (при преобладании неокатанных частиц – дресвяный)	Масса частиц крупнее 2 мм – более 50 %
<b>Б. Песчаные</b>	
Песок гравелистый	Масса частиц крупнее 2 мм составляет более 25 %
Песок крупный	Масса частиц крупнее 0,5 мм – более 50 %
Песок средний	Масса частиц крупнее 0,25 мм – более 50 %
Песок мелкий	Масса частиц крупнее 0,1 мм – 75 % и более
Песок пылеватый	Масса частиц крупнее 0,1 мм – менее 75 %

Для большей наглядности и удобства сравнения различных грунтов

между собой гранулометрический состав обычно изображают графически, чаще в виде суммарной кривой гранулометрического состава или методом треугольных координат. Кривая гранулометрического состава строится в системе прямоугольных координат в полулогарифмическом масштабе. Для построения графика последовательно суммируют содержание фракций, начиная с наиболее мелкой или крупной.

Для построения кривой гранулометрического состава определяют координаты кривой. Данные расчетов заносят в табл. 1.3 и по результатам расчетов строят график (рис. 1.1).

Т а б л и ц а 1.3. **Определение координат кривой гранулометрического состава**

Размер частиц фракций, мм	Содержание		Размер частиц в совокупности фракций, мм	Содержание, %
	г	%		
< 0,1			< 0,1	
0,1–0,25			< 0,25	
0,25–0,5			< 0,5	
0,5–2,0			< 2,0	
		100 %		

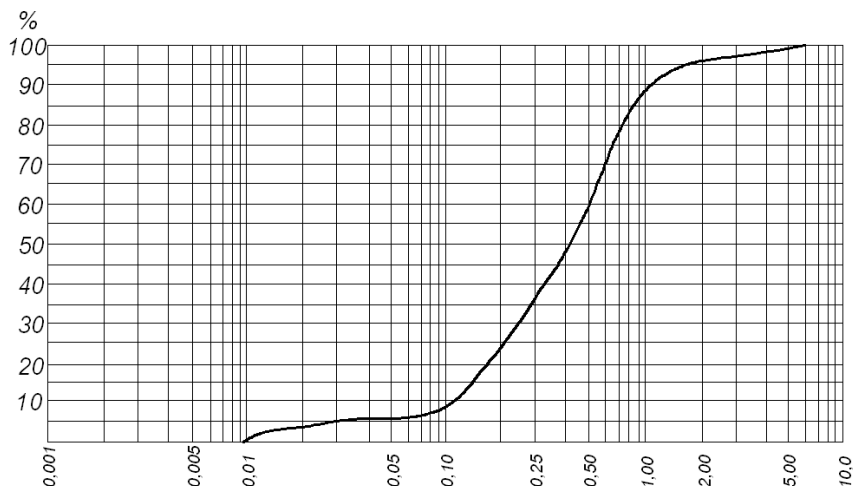


Рис. 1.1. Кривая гранулометрического состава песчаного грунта в полулогарифмическом масштабе

## Лабораторная работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТОВ

Плотность грунта равна отношению массы грунта, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему. Плотность грунта зависит от влажности, пористости, минералогического состава и может меняться в значительных пределах. Максимального значения плотности грунт при данной пористости достигает при полном заполнении пор водой. Плотность грунта используется в инженерно-технических расчетах оснований, земляных сооружений и среды для подземных конструкций, а также при установлении объема земляных работ.

Объемный вес грунта применяют для характеристики отношения веса грунта к занимаемому им объему в расчетах при определении природного давления, давления на подпорные стены. Зная плотность грунта, удельный вес находят по формуле  $\gamma = \rho \cdot g$ , кН/м<sup>3</sup>, где  $\gamma$  – объемный вес;

$g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>.

Объемный вес выражают в килоньютонах на кубический метр.

**Метод мерного цилиндра.** Определение плотности песчаного грунта при плотном сложении осуществляют в следующем порядке:

1. Взвесив металлический стакан ( $m_0$ ), насыпают в него небольшую порцию песка в воздушно-сухом состоянии и производят уплотнение при помощи деревянной трамбовки.

2. После уплотнения первой порции песка насыпают в стакан вторую порцию и снова ее уплотняют. Операцию повторяют до тех пор, пока стакан не будет загружен полностью.

3. Удалив избыток песка линейкой, взвешивают стакан с песком  $m_1$ .

4. Плотность грунта вычисляют по выражению

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V}, \text{ г/см}^3,$$

где  $V$  – объем стакана, см<sup>3</sup>;

$m_1$  – масса стакана с песком, г;

$m_0$  – масса стакана, г.

**Определение плотности песчаного грунта в рыхлом состоянии выполняют в такой последовательности:**

1. Песок высыпают на лист бумаги, а затем небольшой струей ссыпают в тот же металлический стакан, предварительно опустив туда

разрыхлитель. После этого разрыхлитель, медленно вращая, вынимают из стакана. Избыток песка удаляют линейкой, чтобы поверхность его была на одном уровне с краями сосуда.

2. Стакан с грунтом взвешивают ( $m_1$ ). Определяют плотность песка по формуле, приведенной выше. Данные определений заносят в табл. 2.1.

**Метод режущего кольца** применяют для связных грунтов, легко поддающихся вырезке, а также песчаных грунтов ненарушенного сложения и естественной влажности.

**Ход работы.** 1. Определяют размеры и внутренний объем кольца.

2. Кольцо взвешивают на технических весах ( $m_0$ ).

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 удается вырезать столбик, кольцо вдавливают.

4. После заполнения кольца столбик грунта подрезают снизу ножом и отделяют кольцо с грунтом. Грунт, выступавший из кольца, срезают вровень с его краями.

5. Взвешивают кольцо с грунтом ( $m_1$ , г).

6. Определив массу грунта  $m = m_1 - m_0$ , вычисляют плотность грунта по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3,$$

где  $m$  – масса грунта, г;

$V$  – объем кольца, см<sup>3</sup>.

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Расхождение в результатах параллельных определений больше чем на 0,03 г/см<sup>3</sup> не допускается. Данные определений заносят в табл. 2.1 и 2.2.

Т а б л и ц а 2.1. **Определение плотности грунта методом мерного цилиндра**

Номер опыта	Номер цилиндра	Объем цилиндра, см <sup>2</sup>	Масса цилиндра, г		Масса грунта, г	Плотность грунта, г/см <sup>2</sup>	Среднее значение, г/см <sup>2</sup>
			пустого	с грунтом			
<b>Грунт рыхлого сложения</b>							
1							
2							
3							
<b>Грунт плотного сложения</b>							
1							
2							
3							

Т а б л и ц а 2.2. **Определение плотности грунта методом режущего кольца**

Номер опыта	Номер кольца	Объем кольца, см <sup>2</sup>	Масса кольца, г		Масса грунта, г	Плотность грунта, г/см <sup>2</sup>	Среднее значение, г/см <sup>2</sup>
			со стек-лом	с грунтом и стеклом			
1							
2							
3							

### **Лабораторная работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА**

Грунт естественного залегания всегда содержит то или иное количество воды – это и есть влажность. Величина естественной влажности является важнейшей характеристикой физического состояния грунта. Влажностью называется отношение массы воды, удаленной из образца высушиванием при температуре 100–105 °С, к массе абсолютно сухого грунта. Влажность может быть выражена в процентах или в 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 помещают образец влажного грунта массой 10–20 г и взвешивают ( $m_1$ , г).

3. Сняв предварительно крышку, бюкс помещают в сушильный шкаф, где поддерживается постоянная температура около 105 °С. Выдерживают образец в шкафу не менее 6 ч, после остывания бюкса его взвешивают ( $m_2$ , г).

4. Величину влажности грунта  $W$  в процентах вычисляют по формуле

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

где  $W$  – влажность грунта, %;

$m_1$  – масса бюкса с влажным грунтом, г;

$m_2$  – масса бюкса с сухим грунтом, г;

$m_0$  – масса бюкса, г.

5. Данные определения заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Определение влажности грунта

Номер опыта	Номер бюкса	Масса бюкса, г			Масса, г		Влажность грунта, %	Среднее значение влажности, %
		пустого	с влажным грунтом	с сухим грунтом	сухого грунта	воды		
1								
2								
3								

#### Лабораторная работа 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА

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

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

где  $m_c$  – масса сухого грунта, г;

$V_s$  – объем сухого грунта, см<sup>3</sup>.

Плотность частиц грунта обуславливается только минералогическим составом. Для ориентировочных расчетов плотность песков принимают равной 2,66 г/см<sup>3</sup>, супесей и суглинков – 2,7 г/см<sup>3</sup>, глин – 2,75 г/см<sup>3</sup>.

Для определения плотности частиц грунта применяют мерные сосуды (пикнометры) вместимостью не менее 100 см<sup>3</sup>. Для незасоленных грунтов используют дистиллированную воду, а для засоленных грунтов – керосин, толуол, ксилол. Зная плотность частиц грунта, находят удельный вес частиц грунта:

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g, \text{ кН/м}^3,$$

где  $\gamma_s$  – удельный вес частиц;

$\rho_s$  – плотность частиц грунта;  
 $g$  – ускорение свободного падения.

**Ход работы** при определении плотности частиц незасоленных грунтов. 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> объема мерной колбы (пикнометра).

3. Взвешивают пикнометр ( $m_1$ , г).

4. Всыпают через воронку подготовленный грунт, определяют массу пикнометра с грунтом ( $m_2$ , г).

5. Определяют массу воздушно-сухого грунта ( $m = m_2 - m_1$ ) и массу абсолютно сухого грунта ( $m_c$ ) (вносят поправку на гигроскопическую воду) по формуле

$$m_c = \frac{m}{1 + W_2},$$

где  $W_2$  – гигроскопическая влажность в долях единицы.

6. В пикнометр с грунтом, примерно на 1/3 его объема, наливают дистиллированную воду и кипятят на песочной бане 30 мин (пески и супеси) или 1 ч (суглинки и глины) для удаления адсорбированного воздуха и расчленения агрегатов.

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

8. Поправляют положение мениска путем добавки в пикнометр нескольких капель воды, тщательно обтирают его снаружи и шейку внутри (при помощи куска свернутой в трубочку фильтровальной бумаги), после чего взвешивают газ, г.

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

10. На основе полученных данных рассчитывают плотность частиц грунта по формуле

$$\rho_s = \frac{m_c \cdot \rho_w}{m_c + m_4 - m_3},$$

где  $m_c$  – масса абсолютно сухого грунта, г;

$m_4$  – масса пикнометра с водой, г;

$m_3$  – масса пикнометра с водой и грунтом, г;

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

Для каждого образца грунта производят два параллельных определения плотности частиц грунта, которые не должны отличаться более чем на  $0,02 \text{ г/см}^3$ . За плотность частиц грунта принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений, выраженное с точностью до  $0,01$ . Данные записывают в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Определение плотности частиц грунта

Номер опыта	Номер пикнометра	Масса пикнометра, г			Масса сухого грунта, г	Плотность частиц грунта, $\text{г/см}^3$	Среднее значение, $\text{г/см}^3$
		пустого	с грунтом и водой	с водой			
1							
2							
3							

## Лабораторная работа 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

Пластичностью грунта называют его способность изменять свою форму без разрыва сплошности под воздействием внешней силы и сохранять форму после устранения этой силы. Пластичность обусловлена наличием в грунте связанной воды. Свойство пластичности присуще связным грунтам (глинистым). Эти грунты проявляют пластичность лишь при определенном содержании связанной воды. При этом пластичность характеризуют числом пластичности  $I_p$ , которое равно разности двух характерных массовых влажностей: влажности на границе текучести и влажности на границе раскатывания:

$$I_p = W_L - W_p.$$

**Предел, или граница, текучести** – это граничное значение влажности, при превышении которого грунт переходит из пластичного состояния в текучее. **Предел, или граница, раскатывания** – это минимальное значение влажности, при котором частицы грунта еще способны перемещаться друг относительно друга без нарушения сплошности грунта.

Пластичное состояние грунта является частью общего диапазона состояния грунта в зависимости от содержания влаги. В этом диапазоне состояния грунта оцениваются степень подвижности слагающих грунт частиц при механическом воздействии, т. е. консистенцией. Консистенцию грунта отражают показателем консистенции  $I_L$ :

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p}$$

Приведенные показатели пластичности используют для классификации грунтов, определения нормативного давления на грунт и др.

Граница текучести  $W_L$  характеризуется влажностью (в процентах) пасты, приготовленной из грунта и воды, в которую балансирный конус погружается под действием собственной массы (76 г) за 5 с на глубину 10 мм (рис. 5.1).

**Ход работы.** 1. Из сухого грунта, прошедшего через сито с отверстиями 1 мм, с добавлением небольшого количества воды приготавливается грунтовая паста, которую выдерживают не менее 24 ч в закрытом стеклянном сосуде.

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

3. Подносят к поверхности грунтовой пасты, находящейся в стаканчике, конус (рис. 5.1) и наблюдают за его свободным погружением в течение 5 с.

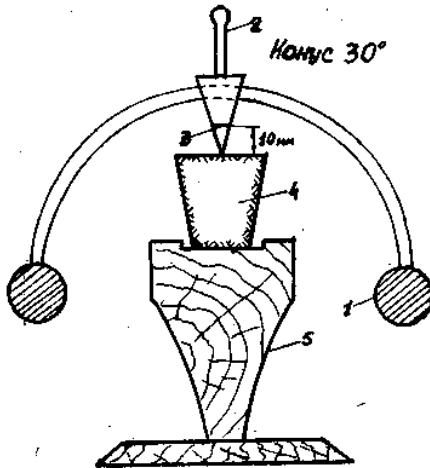


Рис. 5.1. Схема прибора для определения границы текучести: 1 – балансирный конус; 2 – ручка; 3 – круговая метка; 4 – стаканчик с грунтом; 5 – подставка

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 него немного воды, тщательно перемешивают и повторяют операции согласно п. 2 и 3.

При погружении конуса на глубину более 10 мм грунтовую пасту вынимают из стаканчика, кладут на стекло, перемешивают шпателем, давая ей немного подсохнуть, и повторяют операции согласно п. 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 пробу массой 15 г и производят определение влажности (см. лабораторную работу 1). Производят не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах замеров свыше 2 % не допускается.

6. Результаты заносят в таблицу лабораторной тетради.

**Границей раскатывания**  $W_p$  называют влажность в процентах, при которой паста, изготовленная из грунта и воды и раскатанная в жгут толщиной 3 мм, начинает распадаться на отдельные кусочки длиной 3–10 мм.

**Ход работы.** 1. Грунтовую пасту, оставшуюся от определения 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. Если при такой толщине грунтовый жгут начинает крошиться, то считают, что предел раскатывания достигнут.

3. Набрав не менее 10–15 г жгута грунта в предварительно взвешенный бюкс, определяют его влажность (см. лабораторную работу 1). Если жгут начинает крошиться, не достигнув толщины 3 мм, добавляют несколько капелек воды, затем вновь 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.

4. Для каждого образца грунта производят не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах должно быть не более 2 %, в противном случае испытание повторяют. Данные опыта заносят в таблицу лабораторной тетради.

5. По влажностям границы текучести и границы раскатывания определяют число пластичности, согласно которому дают наименование глинистому грунту. Показатель консистенции устанавливают, ис-

пользуя значение естественной влажности.

6. Данные опытов заносят в табл. 5.1 и по результатам расчетов классифицируют грунт в соответствии с табл. 5.2 и 5.3.

Т а б л и ц а 5.1. **Определение границ текучести и раскатывания**

Показатель	Номер бюкса	Масса бюкса, г			Масса, г		Влажность грунта, %
		пустого	с влажным грунтом	с сухим грунтом	сухого грунта	воды	
Влажность на границе текучести							
Влажность на границе раскатывания							
Естественная влажность							

Т а б л и ц а 5.2. **Виды глинистых грунтов**

Вид	Число пластичности
Супесь	$0,01 \leq I_p \leq 0,07$
Суглинок	$0,07 < I_p \leq 0,17$
Глина	$I_p > 0,17$

Т а б л и ц а 5.3. **Наименования глинистых грунтов по консистенции**

Наименования грунтов	Показатель
Супеси:	
твердые	$I_L < 0$
пластичные	$0 \leq I_L \leq 1$
текучие	$I_L > 1$
Суглинки и глины:	
твердые	$I_L < 0$
полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
тугопластичные	$0,25 \leq I_L \leq 0,5$
мягкопластичные	$0,5 \leq I_L \leq 0,75$
текучепластичные	$0,75 \leq I_L \leq 1$
текучие	$I_L > 1$

## Лабораторная работа 6. ИЗУЧЕНИЕ НАБУХАНИЯ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

**Набухание грунта** – способность грунта увеличиваться в объеме в процессе смачивания. Это свойство присуще грунтам, имеющим в своем составе глинистые частицы. При этом набухаемость зависит от водопроницаемости грунта.

Характер набухания определяется минералогическим и гранулометрическим составом грунта, составом обменных катионов, структурно-текстурными особенностями, влажностью, химическим составом и концентрацией раствора вокруг объема грунта, величиной давления на грунт.

Набухание грунта определяется в приборе ПНГ (рис. 6.1), который состоит из режущего кольца 5, обоймы 3 с винтом 2, в отверстие которого устанавливается индикатор 1, перфорированного поддона 6, поршня 4 и ванночки 7.

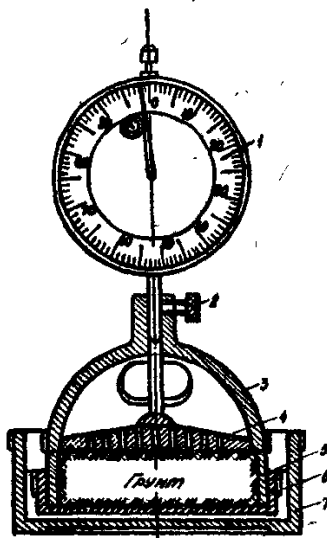


Рис. 6.1. Прибор ПНГ для определения величины набухания: 1 – индикатор; 2 – винт; 3 – обойма; 4 – поршень; 5 – режущее кольцо; 6 – перфорированный поддон; 7 – ванночка

**Ход работы.** 1. Перед началом опыта прибор разбирают. С помощью кольца производят отбор пробы из монолита. Для этой цели на срезанную горизонтальную поверхность монолита устанавливают кольцо, острым краем вниз вдавливают в грунт. Кольцо вдавливается до появления над верхним краем слоя грунта высотой 1–1,5 см, аккуратно срезают его вровень с краями кольца.

2. Прибор собирают в следующем порядке: в углубление диска кладут бумажный фильтр, ставят кольцо с грунтом, поверх него кладут второй бумажный фильтр, на который устанавливают поршень. Соборанный прибор устанавливают на дно ванночки.

3. Индикатор укрепляют в обойме так, чтобы его ножка касалась головки, поршня.

4. Отмечают первоначальное показание по индикатору.

5. Ванночку с установленным в ней прибором заполняют водой и отмечают время заливки.

Следя за показаниями индикатора, записывают их через определенные промежутки времени до тех пор, пока набухание грунта полностью не прекратится.

6. Относительное набухание определяют по формуле

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

где  $\Delta h$  – приращение высоты образца по показаниям индикатора, мм;

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

Данные записывают в таблицу лабораторной тетради.

7. После опыта данные записывают в табл. 6.1 и производят необходимые расчеты.

Т а б л и ц а 6.1. **Определение набухания грунта, начальная высота образца,**

$h_0$  \_\_\_\_\_ мм

Номер опыта	Время от начала опыта, мин	Показание индикатора	Абсолютная деформация образца грунта, мм	Относительное набухание грунта

8. Строят график скорости набухания грунта: по горизонтали откладывают время, по вертикали – величину относительного набухания.

## Лабораторная работа 7. ИЗУЧЕНИЕ РАЗМОКАНИЯ ГРУНТА

Размокаемость является одним из физических свойств, характеризующих водопрочность грунта. **Водопрочность** – это способность грунта сохранять механическую прочность и устойчивость при взаимодействии с водой. Это взаимодействие может быть статическим и динамическим. При статическом взаимодействии с водой грунт может набухать и размокать, при динамическом – размывается.

Таким образом, **размокаемость** – это способность грунтов при взаимодействии со спокойной водой терять связность и превращаться в рыхлую массу с частичной или полной потерей несущей способности.

Способностью к размоканию обладают дисперсные грунты. Размокаемость определяется минералогическим составом грунтов, составом обменных катионов, характером структурных связей, дисперсностью, влажностью, характером водного раствора, взаимодействующего с грунтом, и др.

Скорость и характер размокания грунта определяют в приборе ПРГ-1 (рис. 7.1). Корпус изготовлен из прозрачного оргстекла, на котором нанесена шкала 10 с делениями от 0 до 25. На две опоры 2 устанавливается свободно качающаяся ось 3. На оси с помощью гайки 4 укреплены стрелка 5 и рычаг 6. К дуговой части рычага подвешена с помощью гибкой связи 7 сетка 8, на которую устанавливается образец грунта.

**Ход работы.** 1. Производят подготовку образца, вырезая кольцом из монолита грунта цилиндры, равные 3 см по диаметру и высоте.

2. Убедившись, что стрелка прибора занимает нулевое положение, приподнимают сетку левой рукой, ставят ее на край правой стенки корпуса прибора и осторожно устанавливают образец. Придерживая рычаг, плавно погружают сетку с образцом в воду.

3. После погружения образца грунта в воду записывают первоначальную числовую отметку.

4. Числовые отметки фиксируются через определенные промежутки времени (2, 5, 10, 15, 20, 30 мин и т. д.) распада образца. Все количественные и качественные изменения, происходящие с грунтом, заносят в табл. 7.1.

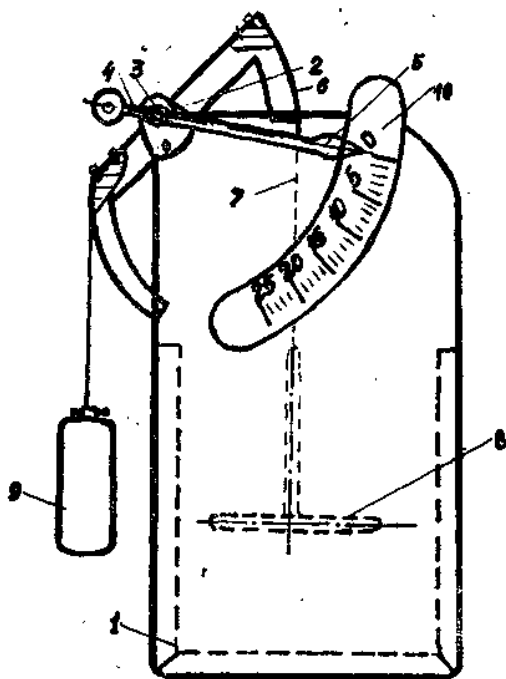


Рис. 7.1. Прибор ПРГ-1 для определения размокания грунтов: 1 – корпус; 2 – опоры; 3 – качающаяся ось; 4 – гайка; 5 – стрелка; 6 – скобообразный рычаг; 7 – гибкая связь; 8 – сетка; 9 – противовес; 10 – шкала

Т а б л и ц а 7.1. Определение размокания грунта

Номер опыта	Время от начала опыта, мин	Отсчет по шкале прибора	Размокание	Характер размокания	Примечание

5. Опыт считается законченным, когда грунт полностью пройдет сквозь сетку на дно корпуса и стрелка вновь займет нулевое положение.

6. Определяют числовую характеристику скорости распада грунта

под водой. Процент распада вычисляется по формуле

$$П = \frac{Г - P}{Г} \cdot 100 \%,$$

где  $П$  – распад грунта, %;

$Г$  – начальная числовая отметка;

$P$  – числовая отметка в процессе размокания.

7. Строят график скорости размокания грунта. На оси абсцисс откладывают время, на оси ординат – распад грунта в процентах.

## **Лабораторная работа 8. КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ**

**Сжимаемость грунта** – это его способность уменьшаться в объеме под действием внешней нагрузки. Сжимаемость проявляется за счет уменьшения пористости грунта путем местных сдвигов частиц, со- скальзывания более мелких частиц в соседние поры, а также изменения толщины водно-коллоидных оболочек минеральных частиц.

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. Начальная и предельная величины давления устанавливаются 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 30 мин, супесей – за 3 ч, суглинков и глин – за 12 ч.

Регистрация деформаций образца в приборе производится непосредственным измерением осадки штампа прибора при помощи индикатора с ценой деления 0,01 мм. Принципиальная схема прибора показана на рис. 8.1.

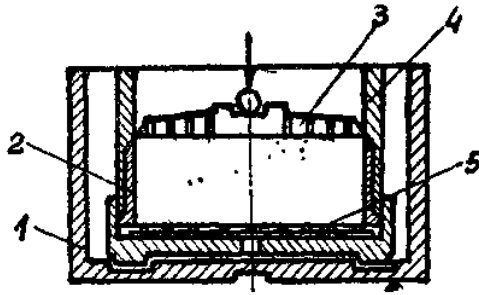


Рис. 8.1. Схематический разрез компрессионного прибора КПр1: 1 – ванна; 2 – грунтоотборочное кольцо с грунтом; 3 – перфорированный поршень; 4 – обойма; 5 – перфорированный диск

**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.

3. Кольцо с грунтом взвешивают и помещают в стакан, на дне которого находится пористая прокладка, покрытая фильтровальной бумагой.

4. Поверхность образца накрывают кружком фильтровальной бумаги и устанавливают поршень.

5. Закрепляют индикатор и делают первый отсчет при отсутствии нагрузки.

6. После записи начального показания индикатора дается первая ступень нагрузки на образец. Груз для каждой ступени давления определяется из выражения

$$g = \frac{P \cdot F}{N}, \text{ МН,}$$

где  $F$  – площадь образца,  $\text{м}^2$ ;

$N$  – передаточное число системы рычагов;

$P$  – ступень давления, МПа.

7. Ожидается условная стабилизация деформации.

8. После стабилизации производится запись показания индикатора и добавляется нагрузка следующей ступени.

9. Аналогичным способом производятся наблюдения для следующих ступеней нагрузки.

10. По данным наблюдений вычисляются коэффициенты пористо-

сти, коэффициенты уплотнения и модуль деформации при соответствующих нагрузках. Данные заносятся в табл. 8.1.

Таблица 8.1. Результаты компрессионных испытаний

Общая нагрузка на образец, Н	Давление на образец, МПа	Показание индикатора			Деформация образца, мм			Коэффициент пористости	Коэффициент уплотнения, МПа <sup>-1</sup>	Модуль деформации, МПа
		$n_1$	$n_2$	среднее	образца и прибора	прибора	образца относительная			

Коэффициент пористости для каждой ступени давления вычисляется по зависимости

$$e = e_o - \frac{\Delta h}{h_n}(1 + e_o),$$

где  $e$  – начальный коэффициент пористости;

$\Delta h$  – деформация образца грунта для каждой ступени давления;

$h_n$  – начальная высота образца грунта, мм.

Коэффициент уплотнения подсчитывается по выражению

$$a = \frac{e_n - e_{n+1}}{P_{n+1} - P_n},$$

где  $(P_{n+1} - P_n)$  – расчетный интервал нагрузки, МПа;

$e_n$  и  $e_{n+1}$  – коэффициенты пористости при заданных нагрузках.

Модуль общей деформации в определенных интервалах нагрузки вычисляется по формуле

$$E = \beta \frac{1 + e_o}{a},$$

где  $e_o$  – начальный коэффициент пористости;

$a$  – коэффициент сжимаемости (компрессии), МПа<sup>-1</sup>;

$\beta$  – коэффициент стеснения поперечной деформации (для песчаных грунтов  $\beta = 0,8$ , для супесей  $\beta = 0,74$ , для суглинков  $\beta = 0,62$ , для глин  $\beta = 0,4$ ).

11. По произведенным подсчетам строят компрессионные кривые, откладывают на оси абсцисс в принятом масштабе давление  $P$ , а на оси ординат – соответствующие им коэффициенты пористости (рис. 8.2) и модули осадки (рис. 8.3).

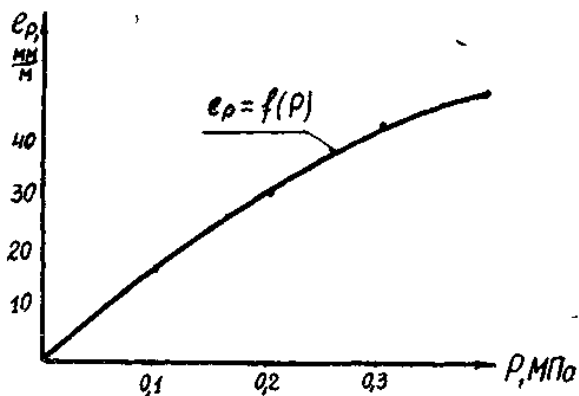


Рис. 8.2. Компрессионная кривая

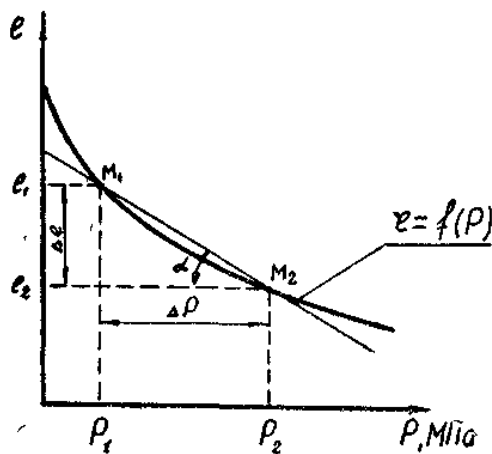


Рис. 8.3. Кривая зависимости модуля осадки от давления

## Лабораторная работа 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

**Водопроницаемость грунтов** – это способность грунтов пропускать через себя воду. Движение воды в грунтах называется фильтрацией. Для фильтрации воды в грунте необходимо наличие напора, который представляет собой столб воды, создающий давление в грунте. Это давление при отсутствии фильтрации называют гидростатическим, или внутриводным, а при наличии фильтрации – фильтрационным.

Прибором КФ-00М определяется коэффициент фильтрации песчаных грунтов нарушенного и ненарушенного сложения при напорных градиентах от 0 до 1. Прибор состоит из фильтрационной трубки и внешнего стакана, позволяющего насыщать грунт и регулировать напор воды.

Фильтрационная трубка (рис. 9.1) состоит из основного металлического цилиндра 5 с заостренным краем, дна, которое надевается на нижнюю часть цилиндра, и сетки 3, вставляемой в дно. На верхней части цилиндра устанавливается муфта 2 с сеткой 3 и со стеклянным баллоном 1 (мерный сосуд), на одной стороне которого нанесена шкала. Внешний стакан состоит из упорного дна, винта и шкалы. На шкале 4 нанесены деления напорного градиента от 0 до 1 с ценой деления 0,02.

**Ход работы.** 1. Из корпуса прибора извлекают фильтрационную трубку 4, снимают муфту 2 с сеткой 3 и мерным баллоном 1.

2. Заполняют трубку испытуемым грунтом.

3. Во внешний стакан 6 наливают воду и вращением винта 8 поднимают упорное дно 5 до совмещения отметки на шкале 9 напорного градиента 1 с верхним краем крышки.

4. На упорное дно 5 устанавливают фильтрационную трубку с грунтом. Вращением винта 8 медленно погружают фильтрационную трубку с грунтом до отметки напорного градиента 0,8. В таком положении оставляют прибор до момента появления влаги на поверхности грунта. Площадь поперечного сечения трубки равна 25 см<sup>2</sup>.

5. На грунт помещают сетку 3, надевают на трубку муфту 2 и вращением винта 8 опускают фильтрационную трубку в крайнее нижнее положение.

6. Заполняют мерный баллон 1 водой, зажимают его отверстие большим пальцем и, быстро опрокинув, вставляют в муфту фильтрационной трубки так, чтобы горлышко баллона соприкасалось с сеткой.

В таком виде мерный баллон поддерживает над грунтом постоянный уровень воды в 1–2 мм.

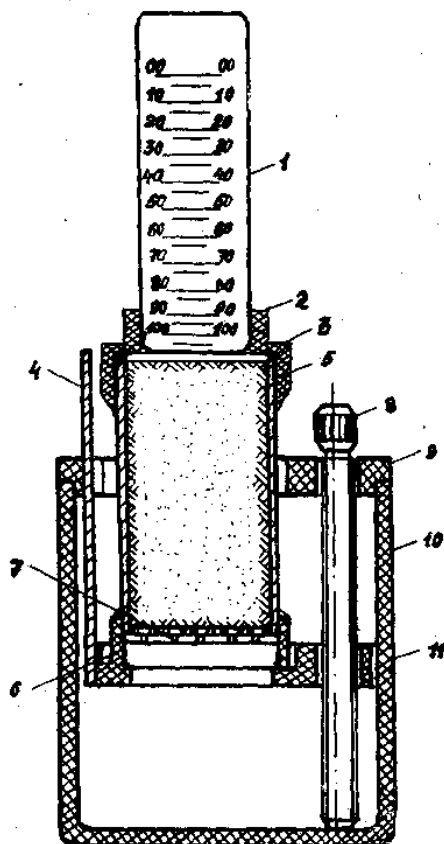


Рис. 9.1. Прибор КФ-00М: 1 – мерный баллон;  
2 – муфта; 3, 7 – латунные сетки; 4 – планка;  
5 – основной металлический цилиндр;  
6 – поддон; 8 – винт; 9 – крышка;  
10 – корпус; 11 – подставка

7. Устанавливают шкалу 9 на заданный градиент и доливают воду во внешний стакан 6 до верхнего края.

8. Отмечают по шкале уровень воды в мерном баллоне  $I$ , пускают секундомер и по истечении определенного времени (50–100 с для среднезернистых грунтов, 250–500 с для пылеватых песков) замечают второй уровень воды в мерном баллоне  $I$ . Это позволяет определить расход воды, профильтровавшейся через грунт за время  $t$ , с.

9. По данным опыта производят расчет коэффициента фильтрации по формуле

$$K_{10} = \frac{Q \cdot 864}{t \cdot F \cdot I \cdot r}, \text{ м/сут,}$$

где  $K_{10}$  – коэффициент фильтрации при температуре 10 °С;

$Q$  – объем профильтровавшейся воды, см<sup>3</sup>;

$F$  – площадь поперечного сечения цилиндра фильтрационной трубки, см<sup>2</sup>;

$t$  – средняя продолжительность фильтрации (по замерам при одинаковых расходах воды), с;

$I$  – напорный градиент;

$r$  – температурная поправка ( $0,7+0,03t^\circ$ );

$t_o$  – температура воды при опыте;

864 – переводной коэффициент сантиметров в секунду в метры в сутки.

10. Повторяют опыт при различных значениях градиента напора.

11. Все данные наблюдений заносят в табл. 9.1.

Таблица 9.1. Определение коэффициента фильтрации в приборе

Номер опыта	Уровень воды в баллоне	Время фильтрации, с		Объем профильтровавшейся воды, см <sup>3</sup>	Градиент напора	Температура воды, °С	Температурная поправка	Коэффициент фильтрации, см/с
		отдельные замеры	среднее					

## Лабораторная работа 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТА

**Просадочность** – способность лессовых и песчаных грунтов при их замачивании под давлением резко уменьшаться в объеме. Наиболее ярко это свойство проявляется у лессовых грунтов. Их способность состоит в том, что они обладают высокой пористостью, малой влажностью, высоким содержанием пылеватых частиц, повышенным содержанием легкорастворимых солей.

Испытания проводятся в компрессионных приборах. Процесс испытания аналогичен компрессионным испытаниям.

**Ход работы.** 1. Рабочее кольцо взвешивают на технических весах и измеряют его высоту и диаметр.

2. Кольцо заполняют лессовидным грунтом естественной структуры и влажности.

3. Кольцо с грунтом взвешивают.

4. Образец загружают в компрессионный прибор и уплотняют ступенями нагрузки по 0,05 МПа до заданной нагрузки, при которой определяется просадочность. После каждой ступени нагрузки образец выдерживают до полной стабилизации осадки. Наблюдения за деформацией ведут по индикатору.

5. После стабилизации осадки при заданной нагрузке образец замачивают.

6. При достижении стабилизации осадки от замачивания прикладывают следующую ступень нагрузки. Уплотнение ведут до нагрузки 0,4–0,6 МПа.

7. По показаниям индикатора вычисляют деформацию грунта, соответствующую каждой нагрузке, и коэффициенты пористости. Данные записывают в табл. 10.1.

8. Строят графическую зависимость коэффициента пористости от давления, определяют относительную просадочность грунта (рис. 10.1).

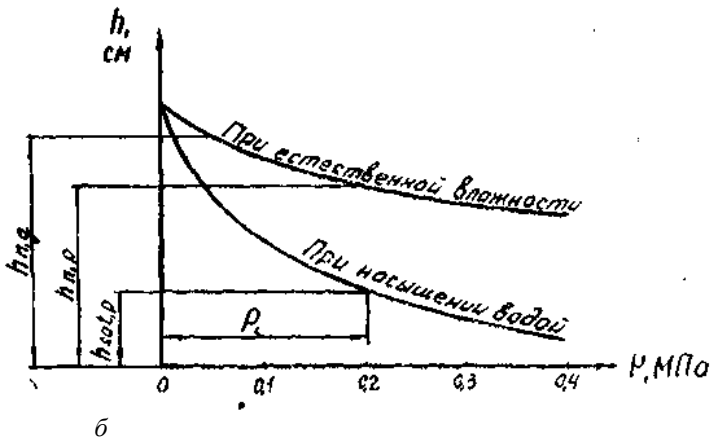
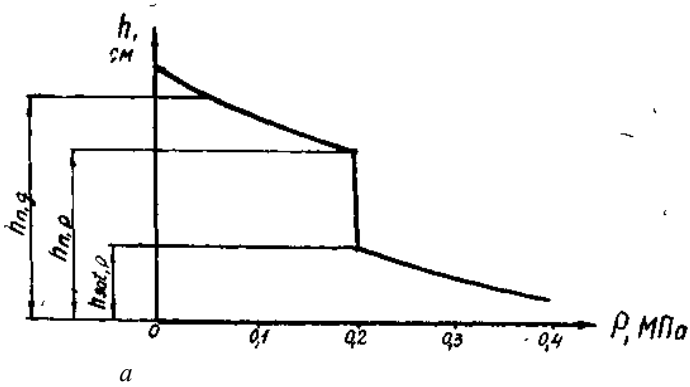


Рис. 10.1. Изменение высоты образца при различных давлениях

Таблица 10.1. Определение просадочности грунта, начальная высота образца \_\_\_\_\_ мм

Общая нагрузка на образец, Н	Давление на образец, МПа	Время от начала опыта, мин	Отсчеты по индикатору	Деформация образца, мм			Относительная просадочность
				абсолютная	прибора	относительная	

## Лабораторная работа 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА СРЕЗУ В ОДНОСРЕЗНОМ СДВИГОВОМ ПРИБОРЕ

Лабораторную работу можно выполнять на приборах ГПП-30, Гидропроекта, ПСГ-2М, приборе Маслоva и др. Для построения зависимости необходимо иметь несколько точек, поэтому испытания проводят на нескольких образцах, взятых из одного монолита. На рис. 11.1 представлена схема одноплоскостного прибора ГПП-30.

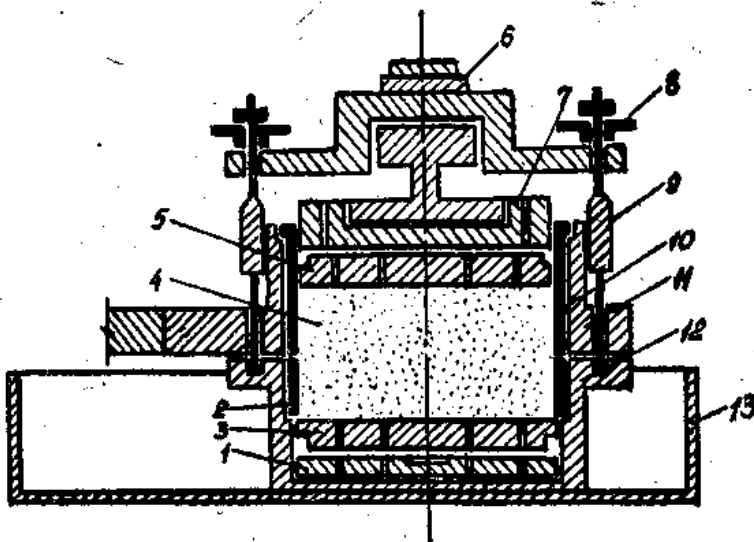


Рис. 11.1. Схематический разрез сдвигового прибора ГПП-30:  
1 – дно нижней обоймы; 2 – нижнее кольцо; 3 – нижний перфорированный диск; 4 – грунт; 5 – верхний перфорированный диск; 6 – гайка зазора; 7 – штамп; 8 – гайка; 9 – установочный винт; 10 – верхнее кольцо; 11 – верхняя обойма; 12 – нижняя обойма; 13 – ванна

Прибор имеет две загрузочные системы – одну для создания вертикального давления на грунт, постоянного на все время опыта, и другую – для получения горизонтальной сдвигающей нагрузки, которая возрастает в процессе опыта. Рабочий цилиндр прибора состоит из подвижной верхней обоймы 11 и неподвижной нижней 12. Обоймы

соединяются установочными винтами 9. Для создания зазора между нижней 12 и верхней 11 обоймами нужно сделать небольшой поворот гайкой зазора 6. Вертикальная нагрузка на образец передается через штамп 7. Снизу и сверху на грунт 4 укладывают перфорированные диски 3 и 5. Устанавливают два индикатора: один для контроля вертикальных деформаций, другой – для замера деформаций сдвига. Предварительное уплотнение образцов производится на специальном приборе ГПП-29.

**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 укладывается фильтровальная бумага.

4. На образец грунта сверху устанавливают перфорированный поршень.

5. На подвеску рычага кладут груз для создания заданного давления ( $P = 0,01$  МПа).

6. После стабилизации осадки образца под заданным давлением рабочий цилиндр с заключенным в нем образцом устанавливают в ванну сдвигового прибора (см. рис. 11.1).

7. Установочные винты 9 вращением выводят из углубления нижней обоймы 12. Поворотом гайки 6 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 величины 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 2–3 мм.

10. По формуле вычисляют сдвигающее усилие:

$$\tau = \frac{g \cdot N}{F},$$

где  $g$  – вес груза на подвеске, Н;

$N$  – передаточное число рычага;

$F$  – площадь образца, м<sup>2</sup>.

11. Повторяют операции 1–10 для давлений  $P_2 = 0,2$  МПа и  $P_3 = 0,3$  МПа. Результаты опытов заносят в табл. 11.1.

Таблица 11.1. Определение сопротивляемости грунта сдвигу при различных нормальных давлениях

Номер опыта	Вертикальные нагрузки на образец		Горизонтальные нагрузки на образец		Показание индикатора деформаций сдвига	Деформация сдвига, мм	Сопротивляемость грунта, МПа
	Общая, Н	Напряжение, МПа	Общая, Н	Касательное напряжение, МПа			

12. Строят график зависимости сдвигающего напряжения от вертикального давления (рис. 11.2).

13. По графику среза глинистого грунта определяют угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $C$ :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta \tau}{\Delta P}, \quad C = \tau - P \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\Delta \tau$  и  $\Delta P$  – разности сопротивления сдвигу и нормального давления.

14. Определяют угол сдвига  $\varphi$  для нескольких значений  $P$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau}{P}.$$

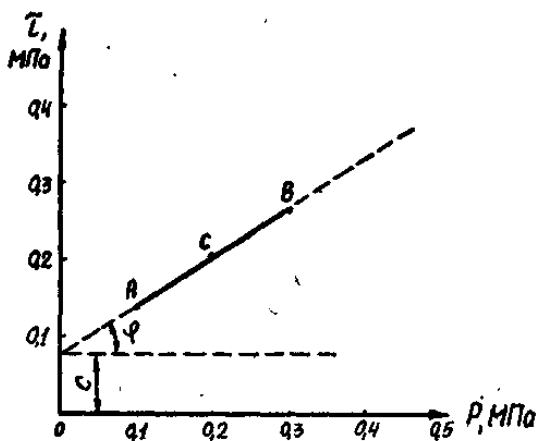


Рис. 11.2. График зависимости сопротивления сдвигу от нормальных напряжений (консолидированный сдвиг)

## Лабораторная работа 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Сухие песчаные грунты при отсыпке укладываются в виде конусов. Углом естественного откоса называется угол, при котором неукрепленный песчаный откос сохраняет предельное равновесие, или угол, под которым располагается свободно осыпавшийся песок. Значение угла естественного откоса песчаного грунта в сухом состоянии примерно равно его углу внутреннего трения.

Угол естественного откоса определяют в воздушно-сухом состоянии и под водой в приборе УВТ-2.

Прибор (рис. 12.1) состоит из опорного столика 1 с мелкими сквозными отверстиями, шкалы 2, укрепленной в центре столика, и съемного конуса 3. В комплект прибора входит стеклянный цилиндр 4 для выполнения опытов под водой.

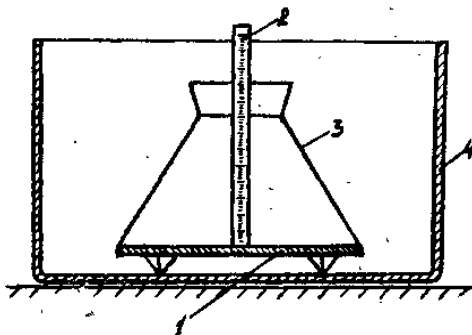


Рис 12.1. Схема прибора для определения угла естественного откоса УВТ-2: 1 – опорный столик; 2 – шкала; 3 – съемный конус; 4 – стеклянный сосуд

**Ход работы.** 1. Стеклянный цилиндр ставят на ровную поверхность и в него помещают опорный столик.

2. На опорный столик устанавливают съемный конус.

3. В съемный конус насыпают песок до полного его заполнения, слегка постукивая по поверхности конуса.

4. Осторожно снимают конус. По шкале против вершины конуса отсчитывают величину угла естественного откоса.

5. Для определения угла естественного откоса песков под водой после заполнения конуса песком стеклянный цилиндр наполняют во-

дой. Как только песок полностью увлажнится, определяют угол естественного откоса описанным выше способом. После 3–4-кратного повторения опыта берут среднее арифметическое значение. Данные опытов заносят в табл. 12.1.

Т а б л и ц а 12.1. **Определение угла естественного откоса песчаного грунта**

Номер опыта	Прибор УВТ-2		Прибор И. М. Литвинова				
	Угол естественного откоса, град		Высота откоса $h$ , см	Основание откоса $l$ , см	$\text{tg } \varphi$	Угол естественного откоса, град	
	сухого грунта	под водой				сухого грунта	под водой
1							
2							
3							

## ЛИТЕРАТУРА

1. К у м а ч е в, В. И. Механика грунтов, основания и фундаменты: учеб. пособие / В. И. Кумачев. – Минск: ООО «Красико-Принт», 2007.
2. У х о в, С. Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов. – М.: Высш. шк., 2004.
3. Б е р м е н о в, М. В. Расчет оснований и фундаментов / М. В. Берменов. – М.: Высш. шк., 2000.
4. К у м а ч е в, В. И. Основания и фундаменты. Методические указания к лабораторным работам / В. И. Кумачев. – Горки: БГСХА, 2009.
5. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Основания и фундаменты зданий и сооружений: Строительные нормы Республики Беларусь: СНБ 5.01.01–99. – Введ. 21.01.99. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1999. – 36 с.
6. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Технический кодекс установившейся практики: ТКП 45-5.01-67–2007. – Введ. 02.04.2007. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2007. – 140 с.
7. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Строительство. Основания и фундаменты. Термины и определения. Государственный стандарт Республики Беларусь: СТБ 1648–2006. – Введ. 20.04.2006. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2006. – 49 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа 1. Определение гранулометрического состава песчаных грунтов .....	4
Лабораторная работа 2. Определение плотности грунтов .....	7
Лабораторная работа 3. Определение влажности грунта.....	9
Лабораторная работа 4. Определение плотности частиц грунта .....	10
Лабораторная работа 5. Определение пределов пластичности глинистого грунта .....	12
Лабораторная работа 6. Изучение набухания глинистого грунта .....	16
Лабораторная работа 7. Изучение размокания грунта .....	18
Лабораторная работа 8. Компрессионные испытания грунтов .....	20
Лабораторная работа 9. Определение коэффициента фильтрации песчаного грунта .....	24
Лабораторная работа 10. Определение просадочности грунта .....	27
Лабораторная работа 11. Определение сопротивления грунта срезу в односрезном сдвиговом приборе .....	29
Лабораторная работа 12. Определение угла естественного откоса песчаного грунта .....	32
Литература .....	34