

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

*В. В. Конюшков, Т. Г. Колесникова, Ю. В. Волкова, В. А. Мельников,
К. К. Крылова*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2026 г.

УДК 624.131

Конюшков В. В. **Исследование физико-механических свойств грунтов:** учеб. пособие / В. В. Конюшков, Т. Г. Колесникова, Ю. В. Волкова, В. А. Мельников, К. К. Крылова. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2026. — 92 с.

Пособие соответствует содержанию разделов федеральной учебной программы «Инженерная геология. Механика грунтов» подготовки по специальности 08.03.01 «Строительство».

Главное внимание в пособии уделено методам исследования физико-механических характеристик грунтов.

Предназначено для выполнения практических занятий студентами дневной, очно-заочной, заочной форм обучения, изучающими дисциплины «Инженерная геология. Механика грунтов».

Табл. 27. Ил. 47. Библиогр.: 9 назв.

Издается в электронном виде в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого.

© Конюшков В. В., Колесникова Т. Г.,
Волкова Ю. В., В. А. Мельников,
Крылова К. К., 2026

© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ:

1. Лабораторная работа № 1 Определение гранулометрического состава песчаного грунта ситовым методом.....	4
2. Лабораторная работа № 2 Определение плотности песчаного грунта в рыхлом и плотном состояниях (РСН 5184).....	8
3. Лабораторная работа № 3 Определение угла естественного откоса песчаного грунта	13
4. Лабораторная работа № 4 Определение коэффициента фильтрации песчаного грунта	16
5. Лабораторная работа № 5 Определение максимальной плотности песчаного грунта прибором Проктора.....	21
6. Обработка результатов лабораторных работ 1–5. Определение характеристик песчаного грунта	34
7. Лабораторная работа № 6 Часть 1. Определение плотности глинистого грунта методом режущего кольца (ГОСТ 5180).....	36
8. Лабораторная работа № 6 Часть 2. Определение плотности глинистого грунта методом парафинирования	39
9. Лабораторная работа № 7 Определение гранулометрического состава грунта полевым методом Рутковского.....	43
10. Лабораторная работа № 8 Определение плотности твердых частиц грунта пикнометрическим методом (ГОСТ 5180).....	49
11. Лабораторная работа № 9 Определение природной влажности глинистого грунта (ГОСТ 5180)	55
12. Лабораторная работа № 10 Определение характерных влажностей глинистого грунта (ГОСТ 5180). Пределы Аттерберга	57
13. Обработка результатов лабораторных работ 7–10. Результаты определения характеристик глинистого грунта.....	65
Библиографический список	68

1. Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСЧАНОГО ГРУНТА СИТОВЫМ МЕТОДОМ

Гранулометрический (зерновой) состав песков определяют для того, чтобы классифицировать песок согласно ГОСТ 25100, а также изучить распределение частиц по размеру. Гранулометрический (зерновой) состав выражается в процентном соотношении частиц разных фракций к общему весу сухой пробы. Гранулометрический состав помогает косвенно определить физико-механические свойства грунта, такие как пористость, влагоёмкость, водопроницаемость, плотность и др.

Согласно ГОСТ 25100 песчаный грунт (песок) — это несвязный минеральный грунт с массой частиц размером 0,05–2 мм более 50% и числом пластичности I_L менее 1. Также, согласно ГОСТ 25100, в зависимости от размера частиц и их процентного содержания различают песок гравелистый, крупный, средней крупности, мелкий и пылеватый (таблица 1.1). Грунты, в которых фракции крупнее 2 мм составляют более 50 %, называют крупнообломочными.

Таблица 1.1

Классификация песков по гранулометрическому составу

Разновидность песка	Размер частиц, мм	Содержание частиц, % по массе
Гравелистый	> 2	> 25
Крупный	> 0,50	> 50
Средней крупности	> 0,25	> 50
Мелкий	> 0,10	≥ 75
Пылеватый	> 0,10	< 75

Ситовой метод является основным для определения гранулометрического состава песков. Он основан на выделении в навеске песка, с помощью специального набора сит, отдельных фракций, с последующим определением веса и процентного содержания каждой из них в данной навеске.

Ситовой анализ может использоваться только для выделения фракций более 0,1 мм, а также является составной частью комбинированного анализа при определении гранулометрического состава глинистого грунта с содержанием песчаных частиц. Ситовой анализ может проводится без промывки водой и с промывкой. Ситовой метод без промывки водой используется для разделения грунта на фракции при исследовании чистых песков, с промывкой водой – песков с содержанием глинистых частиц и при определении гранулометрического состава глинистых грунтов.

Материалы и оборудование

- образец песчаного грунта (массой 0,5 кг) в таре (рис. 1.1);
- вторая пустая тара (рис. 1.2);
- поднос;
- ложка;
- набор сит с отверстиями 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм (рис. 1.3);
- весы электронные.



Рис. 1.1. Образец песчаного грунта



Рис. 1.2. Пустая тара



Рис. 1.3. Набор сит

Ход работы

1. Подготавливают таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Определение гранулометрического состава песчаного грунта ситовым методом без промывки

Вес тары _____

Вес общей навески грунта в таре _____

Вес общей навески грунта без учета тары g_i _____

№ п/п	Вес пробы, g_i	Гранулометрический состав																Σ
		Содержание фракций в % (диаметр в мм)																
		Галька		Гравий				Песок								Пыль		
		более 10		от 5	до 10	от 2	до 5	от 1	до 2	от 0,5	до 1	от 0,25	до 0,5	от 0,10	до 0,25	менее 0,1		
		$g_{ф,}$ г	A, %	$g_{ф,}$ г	A, %	$g_{ф,}$ г	A, %	$g_{ф,}$ г	A, %	$g_{ф,}$ г	A, %	$g_{ф,}$ г	A, %	$g_{ф,}$ г	A, %	$g_{ф,}$ г	A, %	
1																		

Разновидность песка _____

2. Сита монтируют в колонну, размещая их от поддона и вверх в порядке увеличения размера отверстий (диаметр отверстий от 0,1 до 10 мм). Образец песчаного грунта в таре взвешивают (записывают значение в таблицу 1.2), далее высыпают песок на верхнее сито и закрывают всю колонну сит крышкой (рис. 1.4). Освободившуюся тару взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г, результат заносят в таблицу 1.2. Далее начинают просеивать песок с помощью легких боковых ударов ладонями рук до полной сортировки грунта.

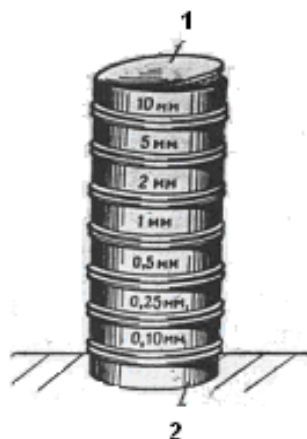


Рис. 1.4. Набор сит: 1 – крышка, 2 – поддон.

3. После окончания просеивания фракции песка, задержавшиеся после просеивания на каждом сите, необходимо поочередно высыпать из каждого сита, в предварительно взвешенную тару (см. п. 2) и взвесить для получения g_{ϕ} – веса каждой отдельно взятой фракции. Результаты занести в таблицу 1.2, строку g_{ϕ} , г, предварительно отняв вес тары. После взвешивания каждой отдельной фракции ее высыпают во вторую пустую тару. Взвешивание производить с точностью до 0,01 г. В конце процедуры взвесить также песок из поддона, высыпав его в предварительно взвешенную тару (вес записать в таблицу 1.2 в ячейку «менее 0,1»).

Содержание в грунте каждой фракции A , %, следует вычислять по формуле (1.1):

$$A = \frac{g_{\phi}}{g_i}, \quad (1.1)$$

где A – процентное содержание фракции в грунте, %; g_{ϕ} – масса данной фракции грунта из сита, г (без учета веса тары); g_i – масса всей пробы грунта, взятой для анализа, г (без учета веса тары).

4. Полученные результаты занести в таблицу 1.2 в соответствующие столбцы.

5. Далее необходимо суммировать массы всех фракций грунта. Если полученная сумма масс всех фракций грунта отличается более чем на 1 % от общей массы взятой для анализа пробы, то анализ следует повторить. По результатам гранулометрического анализа необходимо определить разновидность песка и записать название в таблице 1.2. Разновидность грунта определяется в соответствии с таблицей 1.1.

2. Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА В РЫХЛОМ И ПЛОТНОМ СОСТОЯНИЯХ (РСН 5184)

Плотность песка в большой степени влияет на его строительные свойства, в том числе статическую и динамическую устойчивость песчаных оснований и земляных сооружений, деформируемость, водопроницаемость и т. д. Так, например, если песок находится в рыхлом состоянии, то он может быть использован в качестве основания только после его уплотнения или закрепления.

Плотность песков природного сложения ρ может быть определена методом режущего кольца по ГОСТ 5180 и, зная плотность частиц грунта ρ_s и его естественную влажность $W_{\text{ест}}$, можно рассчитать коэффициент пористости песка. Коэффициент пористости вычисляют по формуле (2.1):

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}, \quad (2.1)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³; ρ_d – плотность сухого грунта, г/см³;

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w}, \quad (2.2)$$

ρ – плотность грунта, г/см³; w – естественная влажность грунта, доли ед.

По ГОСТ 25100 зная разновидность песка и его коэффициент пористости e определяют его плотность (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Классификация песков по коэффициенту пористости

Разновидность песка	Коэффициент пористости e песков		
	гравелистых, крупных и средней крупности	мелких	пылеватых
Плотный	$e \leq 0,55$	$e \leq 0,60$	$e \leq 0,60$
Средней плотности	$0,55 < e \leq 0,70$	$0,60 < e \leq 0,75$	$0,60 < e \leq 0,80$
Рыхлый	$e > 0,70$	$e > 0,75$	$e > 0,80$

Зная плотность песка и его коэффициент пористости, можно оценить его механические характеристики по СП 22.13330 Приложение А, Таблица А.1 (см. таблицу 2.2).

Таблица 2.2

Нормативные значения удельного сцепления c , кПа, угла внутреннего трения φ , град. и модуля деформации E , МПа песков четвертичных отложений

Пески	Обозначение характеристик грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистые и крупные	c	2	1	-	-
	φ	43	40	38	-
	E	50	40	30	-
Средней крупности	c	3	2	1	-
	φ	40	38	35	-
	E	50	40	30	-
Мелкие	c	6	4	2	-
	φ	38	36	32	28
	E	48	38	28	18
Пылеватые	c	8	6	4	2
	φ	36	34	30	26
	E	39	28	18	11

Когда не удастся отобрать образцы песка, не нарушая их природной структуры, плотность сложения песка оценивают с помощью статического или динамического зондирования по ГОСТ 19912 в полевых условиях, используя СП 11-105 часть 1, Приложение И.

Зная коэффициенты пористости в природном сложении, в максимально рыхлом и максимально плотном сложении, можно рассчитать степень плотности песка I_D , по формуле (2.3):

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}, \quad (2.3)$$

где e_{max} – коэффициент пористости в предельно рыхлом сложении; e – коэффициент пористости в искусственном сложении; e_{min} – коэффициент пористости в предельно плотном сложении.

Степень плотности песка I_D является более точной характеристикой плотности песчаных грунтов, чем просто определение плотности по коэффициенту пористости. Это важно, например, чтобы:

- предусмотреть поведение грунтов при возведении на них сооружений;
- выбрать нормативное давление на основание (или механические показатели);
- установить возможность применения в расчётах тех или иных теоретических решений механики грунтов.

Также степень плотности I_D используется для классификации песков искусственного сложения (в теле земляных сооружений – дамб, насыпей, засыпок и т. п.) и может быть оценена по ГОСТ 25100 через степень плотности I_D (таблица 2.3).

Таблица 2.3

Классификация песков по степени плотности

Разновидность песка	Степень плотности I_D
Слабоуплотненный	$0 < I_D \leq 0,33$
Среднеуплотненный	$0,33 < I_D \leq 0,66$
Сильноуплотненный	$0,66 < I_D \leq 1,00$

До настоящего времени отсутствуют унифицированные методы определения параметров пористости e_{min} и e_{max} , т. к. при расчетах коэффициента пористости должна использоваться влажность песка, которая в состоянии максимальной и минимальной пористости неизвестна. Поэтому на практике чаще применяют вычисления, в которых плотность скелета сухого грунта рассчитывается без учета влажности (в воздушно-сухом состоянии песка).

В лабораторных условиях для песков нарушенного сложения определяют плотность песка в максимально плотном и максимально рыхлом сложении. По полученным значениям максимально плотного и максимально рыхлого сложения песка вычисляют коэффициент пористости e в

максимально рыхлом e_{max} и максимально плотном сложении e_{min} . Песок используется в воздушно-сухом состоянии, его гигроскопической влажностью пренебрегают.

Коэффициент пористости вычисляют по формуле (2.1), принимая плотность частиц грунта ρ_s в данной работе равной $2,65 \text{ г/см}^3$.

Так как для опыта используют песок в воздушно-сухом состоянии, то, пренебрегая его гигроскопической влажностью, считают $w = 0$, а $\rho_d = \rho$.

Материалы и оборудование

- песок **средней крупности**, не содержащий включения более 5 мм, около 0,75 кг в емкости;

- прибор стандартного уплотнения грунтов (СУГ), состоящий из металлического стакана, трамбовки и линейки;



Рис. 2.1. Прибор СУГ

- воронка;
- ложка;
- весы;
- поднос.

Ход работы

1. Заготавливают форму записи (таблица 2.4).

Таблица 2.4

Результаты определения коэффициентов пористости песка

Сложение песка	Масса стакана m_1 , Г	Масса стакана с грунтом m_p , Г	Масса песка $m_2 - m_1$, Г	Объем стакана V , см ³	Плотность $\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}$, г/см ³	Коэффициент пористости e	Классификация песка по коэффициенту пористости (см. таблицу 2.1)
Предельно рыхлое				250			
Предельно плотное				250			

2. Взвешивают пустой стакан. Результаты измерений записывают в таблицу 2.4.

3. Стакан ставят на поднос и наполняют песком.

Для получения *предельно рыхлого сложения стакан* заполняют песком, через воронку. Стебель воронки держат на расстоянии 1020 мм от поверхности песка в стакане без уплотнения. Все операции выполняют крайне осторожно, избегая малейших сотрясений, вызывающих уплотнение песка. Наполнив стакан песком избыток песка сверху срезают линейкой. Нужно добиться, чтобы объем песка был строго равен объему цилиндра. После этого стакан с песком взвешивают.

Для получения *предельно плотного сложения* стакан заполняют песком, насыпая его слоями толщиной 1...2 см с уплотнением каждого слоя постукиванием колотушкой по цилиндру. После наполнения цилиндра лишний песок срезают линейкой и взвешивают стакан с песком.

Вычисляют плотность песка в предельной рыхлом и предельно плотном сложении, по результатам которых рассчитывают коэффициент пористости e . Результат записывают в таблицу 2.4. По таблице 2.1 классифицируют песок по коэффициенту пористости.

3. Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Углом естественного откоса α (рис. 3.1) называют угол, при котором неукрепленный откос грунта сохраняет равновесие или угол, под которым располагается свободно насыпанный грунт. Величина угла естественного откоса зависит от сил трения, возникающих при перемещении частиц материала относительно друг друга, и сил сцепления между ними. Угол естественного откоса песков (несвязных грунтов) зависит от шероховатости зерен, степени их увлажнения, гранулометрического состава и формы. В сухом состоянии крупно- и среднеобломочные грунты имеют средний угол откоса $35\text{--}37^\circ$, мелко- и разнообломочные — $30\text{--}32^\circ$. У глинистых (связных) грунтов угол откоса зависит от влажности, высоты откоса и величины нагрузки на откос и может изменяться от 0 до 90° . В чистых сухих песках угол естественного откоса приблизительно соответствует величине угла внутреннего трения φ .

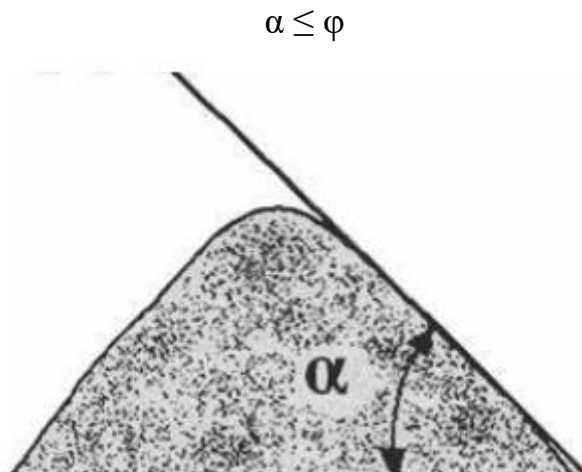


Рис. 3.1. Угол естественного откоса

Материалы и оборудование

- прибор УВТ-3М (рис. 3.2);

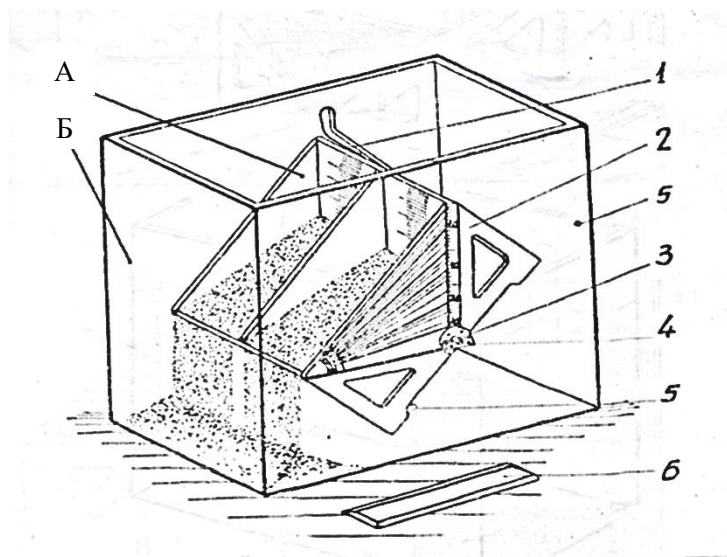
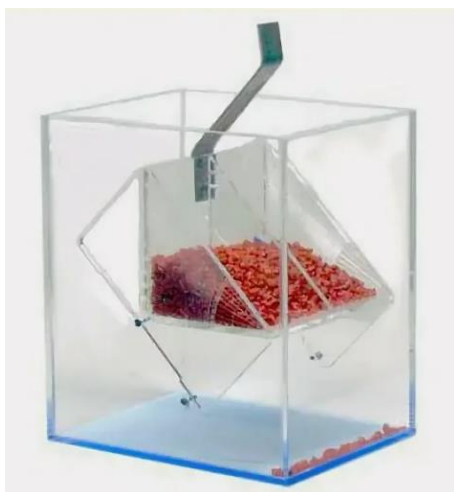


Рис. 3.2. Схема прибора УВТ-3М

А – контейнер, внутренняя часть которого разделена перегородкой на две части;
 Б – прямоугольная банка; 1 – ручка; 2 – угловые градуированные сетки; 3 – ось; 4 – паз подшипника; 5 – упоры; 6 – линейка

- емкость с песком 0,8-1,0 кг;
- ложка;
- поднос.

Ход работы

1. Установить контейнер на поднос и заполнить обе части контейнера песком, при этом ручка 1 должна опираться на стенку банки.

2. Контейнер плавно повернуть по оси 3 при помощи ручки 1 на угол 45° до упора 5. Поворот производят за 5–7 сек. При поворачивании вкладыша песок частично высыпается в банку, а оставшаяся в контейнере часть песка образует с нижней гранью контейнера угол, который и является искомым углом естественного откоса. Вкладыш при наличии перегородки позволяет одновременно получить результаты двух определений.

3. Повторить опыт 2–3 раза. Расхождение между полученными результатами не должно превышать 1° . За величину Ψ принять среднее арифметическое значение и занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Угол естественного откоса

Номер опыта	Контейнер №1	Контейнер №2	Среднее значение Ψ
1			
2			
3			

4. Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Коэффициент фильтрации используется в расчетах при определении притока грунтовой воды к строительным котлованам и буровым скважинам, утечек воды из водонесущих коммуникаций, из водохранилищ, консолидации водонасыщенных грунтов (времени затухания осадки фундаментов), расчета гидроизоляции и т. д.

Способность грунта пропускать воду называется водопроницаемостью. Вода движется по порам грунта главным образом под воздействием гравитационных сил и разности напоров. Количественно водопроницаемость характеризуется коэффициентом фильтрации грунта K_{ϕ} , представляющим собой скорость фильтрации при гидравлическом градиенте $i = 1$.

По закону Дарси количество (расход) воды Q (см^3), протекающей через поперечное сечение площадью F (см^2) в течение времени T (сек), определяется по следующей формуле (4.1):

$$Q = K_{\phi} F T i, \quad (4.1)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации (водопроницаемости).

Скорость фильтрации определяется по формуле (4.2):

$$V = \frac{Q}{F T}. \quad (4.2)$$

Тогда:

$$V = K_{\phi} i. \quad (4.3)$$

Скорость фильтрации прямо пропорциональна гидравлическому градиенту (градиенту напора). Величина K_{ϕ} определяется в следующих единицах: см/с , м/сут , см/год и т. д., и при одинаковых условиях зависит, главным образом, от пористости, действующего давления, гранулометрического состава грунта, минералогического состава грунта, температуры фильтрующейся жидкости.

При расчетах K_f применяются следующие соотношения:

- $1 \text{ см/с} = 864 \text{ м/сут}$;
- $1 \text{ см/с} = 3 \cdot 10^7 \text{ см/год} = 3 \cdot 10^5 \text{ м/год}$.

Коэффициент фильтрации в лабораторных условиях определяется с помощью специальных приборов на образцах естественного и нарушенного сложения. Трубка СПЕЦГЕО предназначена для лабораторного определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов на образцах нарушенного и естественного сложения. В данной лабораторной работе коэффициент фильтрации определяется на образцах песка нарушенного сложения.

Материалы и оборудование

- трубка СПЕЦГЕО КФ-1 (рис. 4.1);

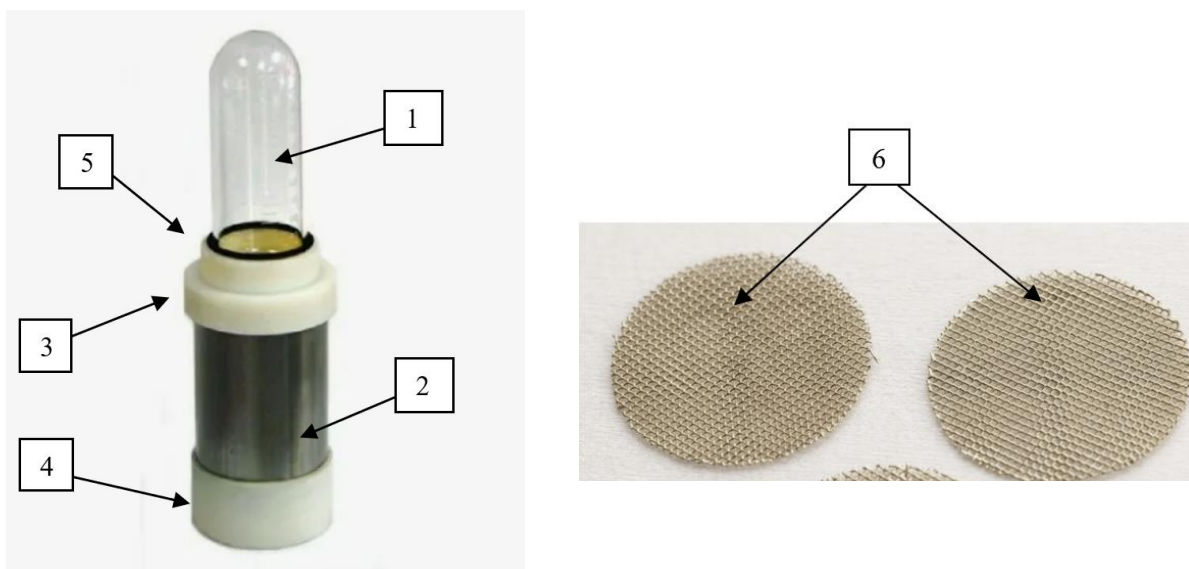


Рис. 4.1. Трубка СПЕЦГЕО КФ-1

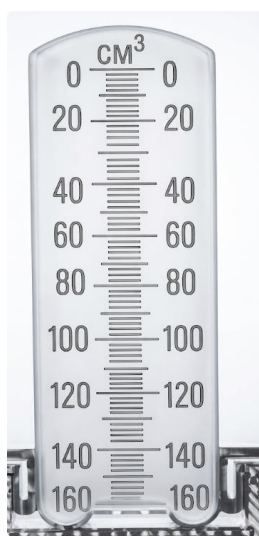


Рис. 4.2. Схема мерного сосуда Бойля-Мариотта

Трубка СПЕЦГЕО состоит из:

1 – мерного стеклянного сосуда Бойля-Мариотта, (рис. 4.2, объем – 140 см³, ц.д. – 0,1 см³);

2 – металлической фильтрационной трубки (внутренний диаметр – 56,5 мм, высота – 100 мм);

3,4 – дырчатые пластмассовые насадки-муфты для фильтрационной трубки, верхняя и нижняя (муфты одинаковые);

5 – резиновая прокладка;

6 – латунные сетки-фильтры, укладываемые на дно муфт-насадок (одинаковые 3,4).

- колба с водой;
- емкость с песком (рис. 4.3);
- ложка или совок;
- поднос;
- тарелка пластиковая – 2 шт (рис. 4.4);



Рис. 4.3. Емкость с песком



Рис. 4.4. Тарелка пластиковая

- секундомер (телефон с функцией секундомера).

Ход работы

1. Берут нижнюю пластмассовую муфту-насадку 4 и вставляют в нее одну латунную сетку-фильтр 6, далее муфту плотно насаживают на нижний конец фильтрационной трубки 2 (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Вставка латунной сетки-фильтра в пластмассовую муфту-насадку

2. Фильтрационную трубку 2, с надетой нижней муфтой, устанавливают в одну из пластиковых тарелок и заполняют трубку песком до верха, слегка уплотняя песок (рис. 4.6).

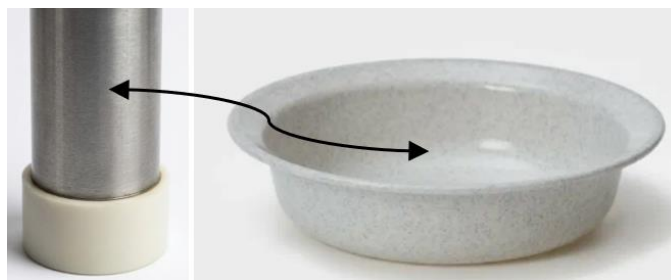


Рис. 4.6. Установка фильтрационной трубки в пластиковую тарелку

3. Наливают воду в пластиковую тарелку (с установленной трубкой СПЕЦГЕО) так, чтобы нижняя пластиковая муфта-насадка была скрыта водой (но вода не должна переливаться через край тарелки) и производят водонасыщение песка. Песок должен полностью водонасытиться, что определяется по увлажнению и потемнению песка на верхнем конце фильтрационной трубки. Если уровень песка в трубке при его водонасыщении понизился, следует досыпать песок до краев трубки и также дожидаться его водонасыщения.

4. После водонасыщения песка на верхний конец фильтрационной трубки (на песок) укладывают вторую латунную сетку-фильтр и на тот же верхний конец фильтрационной трубки надевают вторую верхнюю пластмассовую муфту-насадку. Все операции производят, не вынимая прибора из пластиковой тарелки (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Установка второй верхней пластмассовой муфты-насадки

5. Вынимают трубку СПЕЦГЕО из тарелки, заполненной водой, и ставят ее во вторую (пустую) пластиковую тарелку.

6. Заполняют мерный стеклянный сосуд 1 водой и, закрывая большим пальцем отверстие, переворачивают сосуд, продолжая зажимать отверстие. Зажимая отверстие, подносят сосуд как можно ближе к цилиндру с грунтом и, отнимая палец, быстро вставляют его в верхнюю насадку 3 так, чтобы горлышко сосуда встало на латунную сетку, при этом из сосуда может вылиться некоторое количество воды, в этом случае опыт прерывать не надо. Во время этой операции может понадобиться некоторое усилие для того, чтобы плотно установить мерный сосуд в насадку 3 до соприкосновения с латунной сеткой. Далее надевают сверху на мерный сосуд резиновую прокладку 5 (рис. 4.1).

7. Дожидаются, когда в мерном сосуде, снизу-вверх, начнут равномерно подниматься мелкие пузырьки воздуха. Если в мерный баллон прорываются крупные пузыри воздуха, то необходимо надавить на сосуд сверху и опустить его ниже до соприкосновения с латунной сеткой и ждать появления мелких пузырьков (примерно, как в газированной воде). Равномерное поступление пузырьков свидетельствует о наступлении стационарного режима фильтрации, которое является обязательным условием проведения испытания.

8. После появления необходимых пузырьков дожидаются момента достижения уровнем воды в мерном сосуде любой ближайшей целой отметки на шкале (например: 10 мм, 15 мм или другой целой отметки, но не самой нижней отметки. Если вода находится выше верхней отметки на мерном

сосуде, следует дождаться опускания уровня до первой отметки на шкале. Включают секундомер, принимая этот уровень и это время за начало фильтрации воды.

9. Дожидаются, когда уровень воды в мерном баллоне снизится до следующей целой отметки (например, 20 мм), выключают секундомер, записывают время (сек) и объем профильтровавшейся воды (ц.д. = 0,1 см³). Не вынимая мерного сосуда из насадки, дожидаются снижения уровня воды до следующей целой отметки и проводят измерение еще 2 раза (если вода в сосуде закончилась, вновь проводят все манипуляции с п. 5). Данные заносят в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Определение коэффициента фильтрации песчаного грунта

№ опыта п/п	Напорный градиент	Время фильтрации t_m , сек	Объем воды V_w , см ³	Температура воды T_w , °С	Коэффициент фильтрации грунта K_{10} , м/сут	Среднее значение K_{10} , м/сут
1						

10. Коэффициент фильтрации грунта K_{10} , м/сут, то есть приведенный к условиям фильтрации при температуре 10°С, вычисляют по формуле (4.4):

$$K_{10} = \frac{864V_w}{t_m A T I}; \quad (4.4)$$

$$T = (0,7 + 0,03T_w), \quad (4.5)$$

где V_w – объем, профильтровавшийся воды, см³; t_m – время фильтрации, сек; A – площадь поперечного сечения фильтрационной трубки, $A = 25$ см²; I – градиент напора (постоянный при всех замерах), $I = 1$; T – поправка для приведения значения коэффициента фильтрации к условиям фильтрации воды при температуре 10°С; T_w – фактическая температура воды при испытании (постоянная при всех замерах), $T_w = 20$ °С; 864 – переводной коэффициент (из см/с в м/сут).

11. Коэффициент фильтрации вычисляют до второй значащей цифры, за конечный результат принимают среднее значение по трем измерениям.

5. Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА ПРИБОРОМ ПРОКТОРА

Максимальная плотность сухого грунта $\rho_{d \max}$ — это максимальная плотность, которую можно достичь для данного грунта при уплотнении в лабораторных условиях по ГОСТ 22733. Это **предельное, эталонное значение**.

Оптимальная влажность W_{opt} — это влажность, при которой достигается максимальная плотность $\rho_{d \max}$.

Определение максимальной плотности и оптимальной влажности определяется и в дальнейшем используется для **получения коэффициента уплотнения при контроле качества земляных работ** везде, где есть искусственные насыпи или ведется подготовка основания:

- Автомобильные дороги (основной потребитель): земляное полотно, слои дорожной одежды (песчаные, щебеночные, грунтовые основания).
- Аэродромы: взлетно-посадочные полосы (ВПП), рулежные дорожки, перроны. Требования здесь жестче, чем для дорог.
- Железные дороги: балластный слой, насыпи.
- Гидротехнические сооружения: плотины, дамбы, каналы (ядро и тело насыпи).
- Фундаменты зданий и сооружений: подготовка оснований, обратная засыпка пазух котлованов и траншей.
- Спортивные сооружения: основания полей, беговых дорожек.

Контроль качества необходим на каждой строительной площадке. В случае уплотнения грунта, проверяется, соответствует ли уже уплотненный грунт на стройплощадке требуемому коэффициенту уплотнения или уплотнен недостаточно.

Коэффициент уплотнения $K_{уп}$ — это отношение плотности сухого грунта $\rho_{d \text{ полевое}}$ в основании здания или сооружения в *процессе* строительства

к максимальной (эталонной) плотности сухого грунта $\rho_{d \max}$ лабораторное, определенной в лабораторных условиях по ГОСТ 22733:

$$K_{уп} = \rho_{d \text{ полевое}} / \rho_{d \max \text{ лабораторное}}; \quad (5.1)$$

$$\rho_d = \rho / (1 + W), \quad (5.2)$$

где ρ – плотность грунта, г/см³; W – влажность грунта, д.е.

Значения $K_{уп}$ (приведены в таблице 5.1) строго регламентированы для сооружений разной степени ответственности.

Таблица 5.1

Нормативные требования к коэффициенту уплотнения для объектов повышенной ответственности

Тип сооружения и элемент конструкции	Нормативный документ	Требуемый $K_{уплотнения}$ (min-max)	Инженерное обоснование
Земляное полотно автомобильных дорог I–II категории (верхняя часть)	СП 34.13330.2012 СП 78.13330.2012	0,98 – 0,99	Обеспечение стабильности под динамической нагрузкой от транспорта, предотвращение колеобразования.
Основания под асфальтобетонные покрытия (песчаные, щебёночные слои)	Тот же	0,98 – 1,00	Формирование жёсткой неизменяемой платформы для верхних слоёв одежды.
Взлётно-посадочные полосы (ВПП) аэродромов	СП 137.13330.2012 (Актуализация СНиП 32-03-96)	0,99 – 1,00 (для верхнего 1 м зем. полотна)	Критическая важность отсутствия остаточных деформаций под ударно-динамическими нагрузками до 30–40 т на ось.
Обратная засыпка пазух котлованов у фундаментов зданий КС-3	СП 45.13330.2017	0,95 – 0,98	Снижение бокового давления на заглублённые конструкции при обеспечении общего модуля деформации засыпки.
Тело и ядро грунтовых плотин	СП 39.13330.2012 (Актуализация СНиП 2.06.05-84*)	0,96 – 0,98 (тело) 0,98 – 1,00 (ядро, экран)	Обеспечение общей устойчивости массива (тело) и минимальной фильтрации (ядро/экран). Требования дифференцированы по зонам.
Высокие насыпи мостовых подходов (> 6 м)	Ведомственные ТУ, проект на УС	0,96 – 0,98 (низ) 0,99 (верх, 2 м)	Минимизация дифференциальных осадков в зоне сопряжения с жёстким устоем моста.

Определение плотности сухого грунта полевым методом ($\rho_{d \text{ полевое}}$) и лабораторным методом ($\rho_{d \max \text{ лабораторное}}$) по ГОСТ 22733 проводятся **параллельно** в процессе строительства.

Для *лабораторного* (эталонного) определения $\rho_{d\ max}$ и W_{opt} отбор пробы производится до *начала или в начале* массовых уплотнительных работ *из не уплотненного слоя*. Пробу берут из нескольких точек, чтобы она представляла собой усреднённый состав уплотняемого грунта. Отобранный объём грунта (около 6–10 кг) помещают в прочный мешок или контейнер и направляют в лабораторию, где по ГОСТ 22733 производится испытание для определения $\rho_{d\ max}$ и W_{opt} лабораторного. Методика определения будет приведена ниже.

После проведения уплотнительных работ на площадке строительства производится контроль уплотнения площадки, для чего в поле (на строительной площадке) отбирается проба для определения фактической, достигнутой в процессе уплотнения, плотности сухого грунта $\rho_{d\ полевое}$.

Отбор пробы для определения плотности сухого грунта $\rho_{d\ полевое}$ после уплотнения производится методом режущего кольца по следующей методике:

- Режущее кольцо 1 **строго вертикально** устанавливают на поверхность грунта (рис. 5.1).

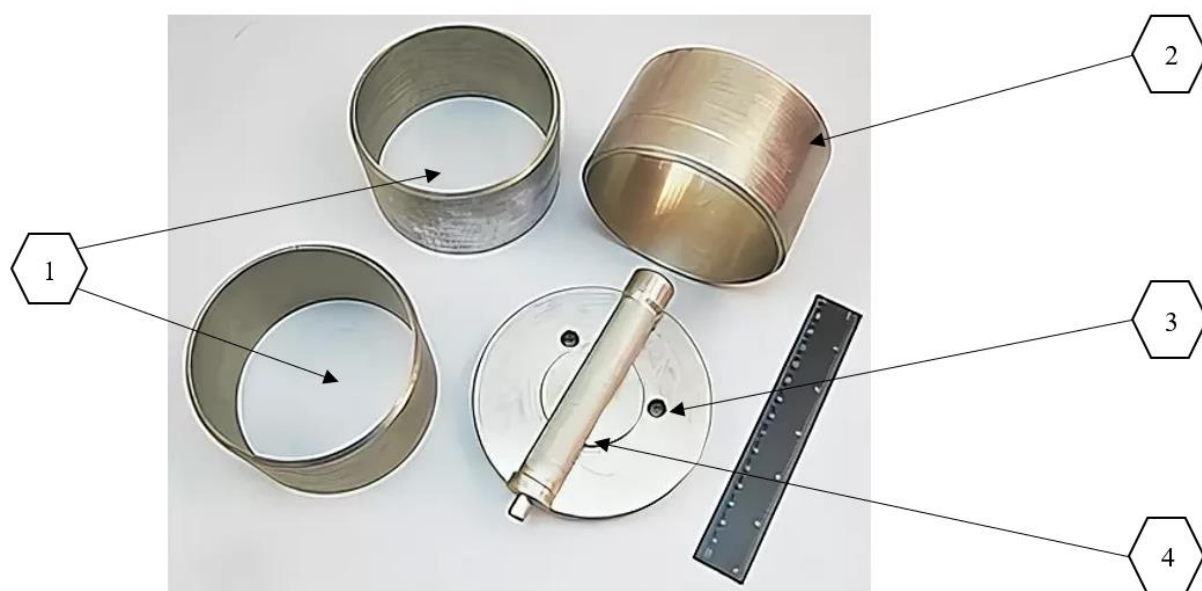


Рис. 5.1. Оборудование для отбора проб методом режущего кольца

- Сверху на кольцо дополнительно устанавливают насадку 2, в паз которой вставляют металлическую крышку 3 (для распределения удара и защиты от деформации).
- В углубление в крышке 3 устанавливается отбойник 4 (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Отбор пробы собранным прибором

- Равномерными ударами молотка по прокладке кольцо заглубляют в грунт.
- Далее грунт **вокруг** кольца аккуратно подкапывают лопаткой и подрезают под основанием кольца. Кольцо с грунтом извлекают, стараясь не допустить высыпания или деформации. Торцы кольца аккуратно срезают острым ножом или линейкой вровень с краями. Кольцо с грунтом упаковывают и отправляют в лабораторию (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Проба грунта, отправляемая в лабораторию

В лаборатории взвешивают кольцо с грунтом $m_{\text{кольцо+грунт}}$. Массу чистого сухого кольца $m_{\text{кольцо}}$, знают заранее из паспорта кольца. Рассчитывают массу влажного грунта по формуле (5.3):

$$m_{\text{вл}} = m_{\text{кольцо+грунт}} - m_{\text{кольцо}}. \quad (5.3)$$

Зная диаметр и высоту кольца (даны в паспорте на кольцо), высчитывают объем кольца V . После этого определяют плотность влажного грунта $\rho_{\text{вл}}$ (г/см³) по формуле (5.4):

$$\rho_{\text{вл}} = m_{\text{вл}} / V_{\text{кольца}}. \quad (5.4)$$

Вынимают грунт из кольца, берут из центра две навески по 10 г в металлические бюксы, взвешивают бюксы с влажным грунтом, после чего бюксы помещают в сушильный шкаф на необходимое время (в зависимости от типа грунта). Рассчитывают влажность грунта W (д.е) полевую и плотность сухого грунта $\rho_{d \text{ полевое}}$ (г/см³) по формуле (5.5):

$$\rho_{d \text{ полевое}} = \rho_{\text{вл}} / (1 + W_{\text{полевое}}), \quad (5.5)$$

где ρ – плотность грунта, г/см³; $W_{\text{полевое}}$ – влажность грунта, д.е.

Далее зная лабораторное (эталонное значение) $\rho_{d \text{ max}}$, полученное ранее в ходе опытов по ГОСТ 22733 (методом стандартного уплотнения, описание будет приведено ниже), рассчитывают коэффициент уплотнения по формуле (5.6):

$$K_{\text{уп}} = (\rho_{d \text{ полевое}} / \rho_{d \text{ max}}) 100\%. \quad (5.6)$$

Полевой контроль (отбор кольцом) и получение лабораторного эталона плотности сухого грунта — это звенья одной цепи, но разные её этапы. Сначала лабораторным путем из пробы нарушенного сложения и большого объема получают эталонное (лабораторное) значение $\rho_{d \text{ max}}$, а затем постоянно, в процессе строительства контролируют качество уплотнения с помощью малых проб ненарушенной структуры, отобранных методом кольца из разных точек на площадке строительства. После чего вычисляют коэффициент уплотнения $K_{\text{уп}}$ и сравнивают с нормативными данными (таблица 5.1).

Метод лабораторного определения максимальной плотности

Общие положения

Метод стандартного уплотнения заключается в установлении зависимости плотности сухого грунта от его влажности при уплотнении образцов грунта с постоянной работой уплотнения и последовательным увеличением влажности грунта. Для испытания используют образцы грунта нарушенного сложения, отобранные из грунта, предполагаемого к использованию при строительстве тех или иных сооружений или со дна котлованов. Максимальная плотность определяется как для связанных дисперсных грунтов, так и для несвязанных песчаных грунтов.

Число последовательных испытаний грунта при увеличении его влажности должно **быть не менее пяти**, а также достаточным для выявления максимального значения плотности сухого грунта по графику стандартного уплотнения – зависимости изменения плотности сухого грунта от влажности при испытании методом стандартного уплотнения.

Материалы и оборудование

- установка для испытания грунта методом стандартного уплотнения.

Конструкция устройства для уплотнения грунта должна обеспечивать падение груза массой (2500 ± 25) г по направляющей штанге с постоянной высоты (300 ± 3) мм на наковальню диаметром $(99,8 - 0,2)$ мм. Установка в сборе представлена на рис. 5.4. Состав установки для испытания грунта методом стандартного уплотнения представлен на рис. 5.5.



Рис. 5.4. Установка для испытания грунта методом стандартного уплотнения в сборе



Рис. 5.5. Состав установки для испытания грунта методом стандартного уплотнения

Установка для испытания грунта методом стандартного уплотнения состоит из:

- устройства для ручного уплотнения грунта падающим грузом с постоянной высоты, в состав которого входят:

1. направляющая штанга;
 2. груз, массой (2500 ± 25) г;
 3. наковальня диаметром $(99,8 - 0,2)$ мм;
- формы для образца грунта (рис. 5.6), в составе которой:
4. разъемная цилиндрическая часть (высота $(127,4 \pm 0,2)$ мм, внутренний диаметр $(100,0 + 0,3)$ мм);
 5. поддон;
 6. зажимное кольцо;

7. насадка на форму для образца при уплотнении последнего слоя грунта.



Рис. 5.6. Собранная форма для образца грунта

- Песок мелкий в таре в воздушно-сухом состоянии (около 500 г);
- весы, с пределом взвешивания не менее 4500 г;
- колба с водой 250 мл;
- мерный цилиндр 10 мл;
- шпатель металлический;
- бюксы – 5 шт;
- сушильный шкаф;
- линейка металлическая.

Ход работы

1. Испытание проводят, последовательно увеличивая влажность грунта испытываемой пробы. При первом испытании влажность грунта должна соответствовать значению, установленному в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Таблица для определения влажности грунта при первом испытании

Грунты	Влажность w_1 грунта для первого испытания, %
Песок гравелистый, крупный и средней крупности	4
Песок мелкий и пылеватый	6
Супесь, суглинок лёгкий	6–8
Суглинок тяжёлый, глина	10–12

При каждом последующем испытании влажность грунта следует увеличивать на 2 %. Например, для испытываемого мелкого песка требуемые влажности грунта каждой пробы примут значения: $w_1 = 6 \%$, $w_2 = 8 \%$, $w_3 = 10 \%$, $w_4 = 12 \%$.

2. Взвешивают пробу песка с точностью до 0,01 г и рассчитывают количество воды Q , г, необходимое для увлажнения отобранной пробы до влажности первого испытания по формуле (5.7):

$$Q = \frac{m}{1 + 0,01w_1} 0,01(w_1 - w_g), \quad (5.7)$$

где m – масса образца грунта в воздушно-сухом состоянии, г; w_g – влажность грунта в воздушно-сухом состоянии ($= 1,5 \%$); w_1 – влажность грунта для первого испытания, назначаемая по таблице 5.1, %.

3. Рассчитанное количество воды вводят в пробу за несколько приемов, тщательно перемешивая грунт металлическим шпателем, добиваясь равномерного цвета грунта, а также отсутствия комков крупнее 2 мм.

4. Далее подготавливают прибор стандартного уплотнения: взвешивают разъемную форму для образца в собранном виде (см рис. 5.6) и вычисляют ее объем (размеры даны в описании состава установки для испытания грунта методом стандартного уплотнения). Значения массы и объема записывают в «Журнал испытания» (таблица 5.3).

5. Собирают прибор стандартного уплотнения; подготовленный увлажненный грунт загружают в собранную форму слоем толщиной 50–60 мм и слегка уплотняют рукой его поверхность.

6. В форму для образца вставляется штамп с направляющей штангой и грузом. Проводят уплотнение 30 ударами груза по наковальне с высоты 300 мм, зафиксированной на направляющей штанге.

7. Аналогичную операцию проводят с каждым из трех слоев грунта, последовательно загружаемых в форму. Перед укладкой третьего слоя на форму устанавливают насадку 7 (см. рис 5.5) и проводят уплотнение согласно п. 6.

8. После уплотнения третьего слоя грунта снимают насадку и срезают выступающую часть грунта металлической линейкой заподлицо с торцом формы.

Взвешивают цилиндрическую часть формы с уплотненным грунтом, получают m_1 и вычисляют плотность грунта ρ_i (г/см³) с точностью 0,01 г/см³ по формуле (5.8):

$$\rho_i = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (5.8)$$

где m_1 – масса цилиндрической части прибора с грунтом, г; m_2 – масса цилиндрической части формы без грунта, г; V – объём формы, см³.

9. Извлекают из цилиндрической части формы уплотненный образец грунта. При этом из верхней, средней и нижней частей образца отбирают пробы для определения влажности грунта w_i по ГОСТ 5180. Извлеченный из формы грунт присоединяют к оставшейся в таре части пробы, измельчают и перемешивают.

10. Последовательно увеличивают влажность пробы согласно п. 2. После добавления воды грунт тщательно перемешивают. Второе и последующие испытания грунта следует проводить в соответствии с п. 2 по п. 8.

Испытание следует считать законченным, когда с повышением влажности пробы при последующих двух испытаниях происходит последовательное уменьшение значений массы и плотности уплотняемого образца грунта, а также когда при ударах грузом происходит отжатие воды или выделение разжиженного грунта через соединения формы.

Обработка результатов

По полученным в результате последовательных испытаний значениям плотности и влажности грунта вычисляют значения плотности сухого грунта ρ_{di} , г/см³, с точностью 0,01 г/см³ по формуле (5.9), результаты заносят в таблицу 5.3:

$$\rho_{di} = \rho_i / (1 + 0,01w_i), \quad (5.9)$$

где ρ_i – плотность грунта, г/см³; w_i – влажность грунта при очередном испытании, %.

Таблица 5.3

Журнал испытания грунта

№ п/п	Определение плотности			Плотность грунта ρ_i , г/см ³	Определение влажности			Влажность w_i , %	Плотность сухого грунта, г/см ³ $\rho_{di} = \frac{\rho_i}{1 + 0,01w_i}$
	m_1 , г масса формы с грунтом	m_2 , г масса формы без грунта	V , см ³ объем формы		масса пустого бюкса, m_1 , г	масса бюкса с влажным грунтом m_2 , г	масса бюкса с сухим грунтом m_3 , г		
1									
2									

По полученным результатам строят график зависимости изменения значений плотности сухого грунта от влажности (рис. 5.7).

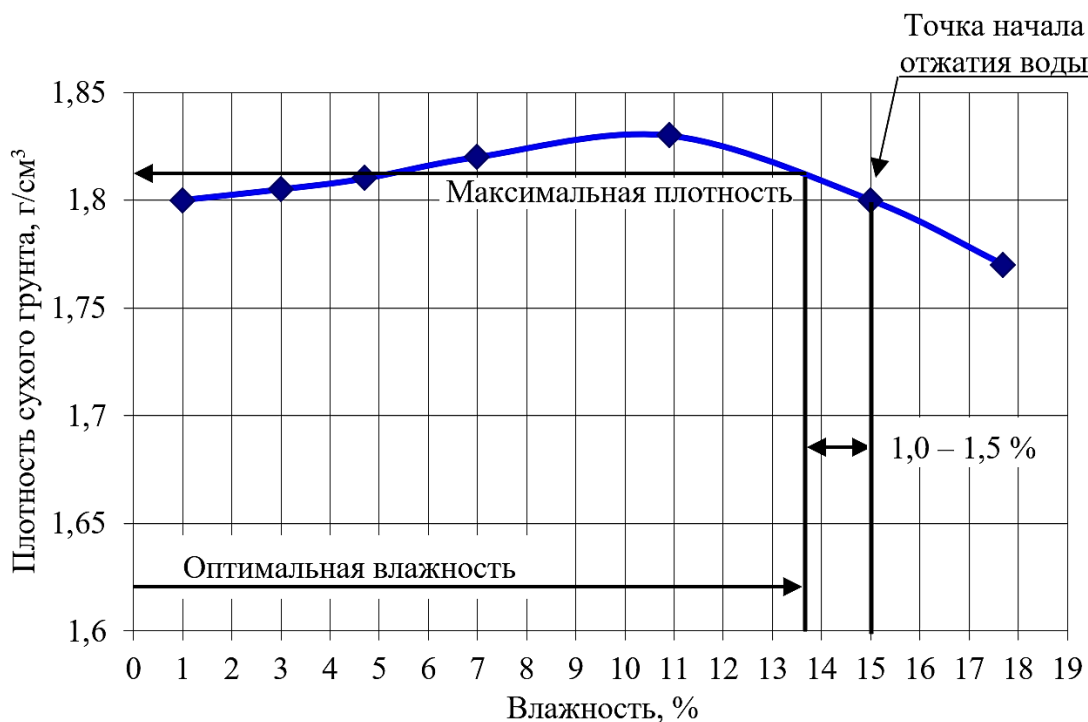


Рис. 5.7. График, не имеющий заметно выраженного максимума

При построении графиков должен соблюдаться масштаб.

Масштаб графиков: по горизонтали 1 см — 1 % для w ;

по вертикали 1 см — 0,02 г/см³ для ρ_d .

Для несвязных грунтов график стандартного уплотнения может *не иметь заметно выраженного максимума* в виде пика. В этом случае значение оптимальной влажности принимают на 1,0 %–1,5 % менее

влажности W_j , при которой происходит отжатие воды. Значение максимальной плотности принимают по соответствующей ей ординате.

При этом для песков гравелистых, крупных и средней крупности принимают W оптимальную на 1,0 % менее влажности W_j , при которой происходит отжатие воды. Для песков мелких и пылеватых песков на 1,5 % – менее влажности W_j , при которой происходит отжатие воды.

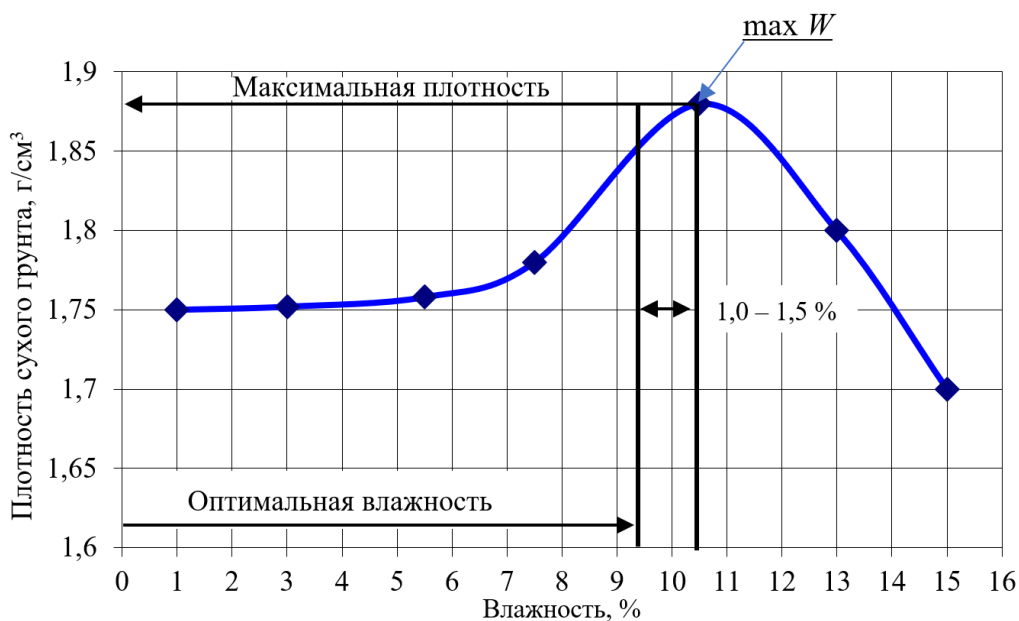


Рис. 5.8. График с ярко выраженным максимумом

Для однородных дренирующих песчаных грунтов, с **ярко выраженным максимумом** на кривой стандартного уплотнения в узком диапазоне влажности, за максимальную стандартную плотность следует принимать значение плотности слева от максимума при влажности на 1 % меньше для песков гравелистых, крупных и средней крупности на 1,5 % – для мелких и пылеватых. За оптимальную влажность – соответствующее им значение.

При определении максимальной плотности и оптимальной влажности для песков оптимальная влажность w_{opt} всегда принимается **ниже** (на 1–1,5 %) либо влажности отжатия, либо влажности в точке максимума кривой. Это делается из соображений **устойчивости и дренирующей способности** – чтобы в реальной конструкции грунт был чуть недонасыщен водой и не терял прочность.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ 1–5.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Результаты, полученные при обработке данных по ситовому анализу, при определении плотности песка в предельно рыхлом и предельно плотном состоянии и при расчете значения коэффициента фильтрации свести в сводную таблицу характеристик песчаного грунта по приведенному ниже примеру (таблица 6.1).

Таблица 6.1

Таблица физико-механических свойств песчаного грунта

№ п/п	Гранулометрический состав							Плотность частиц грунта, ρ_s	Плотность скелета грунта, ρ_d	Угол откоса, α	Коэффициент пористости	Коэффициент фильтрации	Наименование грунта							
	Содержание фракций в % (диаметр в мм)												Нормативные значения (для песка плотного сложения)							
	А, %	более 10	Галька	Гравий	Песок			Пыль												
		от 5 до 10	от 2 до 5	от 1 до 2	от 0,5 до 1	от 0,25 до 0,5	от 0,10 до 0,25	менее 0,1	Σ , %	Предельно плотный, $\rho_{d\ max}$	Предельно рыхлый, $\rho_{d\ min}$	сухой	мокрый	плотный, e_{min}	рыхлый, e_{max}	м/сут	Удельное сцепление, c_n	Угол внутреннего трения, φ_n	Модуль деформации, E	
1	А, %	более 10	Галька	Гравий	Песок			Пыль												
4,2	А, %	более 10	Галька	Гравий	Песок			Пыль	2,65	1,64	1,42	25	20	0,616	0,866	0,148				
4,4	А, %	от 5 до 10	Галька	Гравий	Песок			Пыль												
8,2	А, %	от 2 до 5	Галька	Гравий	Песок			Пыль												
6,2	А, %	от 1 до 2	Галька	Гравий	Песок			Пыль												
12,2	А, %	от 0,5 до 1	Галька	Гравий	Песок			Пыль												
9,2	А, %	от 0,25 до 0,5	Галька	Гравий	Песок			Пыль												
37,0	А, %	от 0,10 до 0,25	Галька	Гравий	Песок			Пыль												
18,6	А, %	менее 0,1	Галька	Гравий	Песок			Пыль												
100																				
	г/см ³																			
	г/см ³																			
	г/см ³																			
	град.																			
	град.																			
	–																			
	–																			
	м/сут																			
Песок мелкий																				
	Наименование грунта																			
2	МПа	Удельное сцепление, c_n																		
33	–	Угол внутреннего трения, φ_n																		
29	МПа	Модуль деформации, E																		

Угол откоса песка принять в соответствии с наименованием грунта по таблице 6.2 и вписать в таблицу. Плотность частиц принимается равной 2,65 г/см³.

Угол естественного откоса

Грунт	Угол естественного откоса в градусах	
	Грунт сухой	Грунт мокрый
Гравий	40	30
Песок крупный, чистый	32	27
Песок средний	28	25
Песок мелкий	25	20
Песок пылеватый	22	18

По наименованию песка, и зная его плотность и коэффициент пористости, можно оценить его механические характеристики по СП 22.13330 Приложение А, Таблица А.1. Полученные данные внести в таблицу 6.1. Механические характеристики принимаются по коэффициенту пористости песка плотного сложения.

Таблица 6.3

Нормативные значения удельного сцепления c_n , кПа, угла внутреннего трения φ_n , град., и модуля деформации E , МПа, песков четвертичных отложений

Пески	Обозначение характеристик грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистые и крупные	c	2	1	-	-
	φ	43	40	38	-
	E	50	40	30	-
Средней крупности	c	3	2	1	-
	φ	40	38	35	-
	E	50	40	30	-
Мелкие	c	6	4	2	-
	φ	38	36	32	28
	E	48	38	28	18
Пылеватые	c	8	6	4	2
	φ	36	34	30	26

7. Лабораторная работа № 6

Часть 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА МЕТОДОМ РЕЖУЩЕГО КОЛЬЦА (ГОСТ 5180)

Плотность — физическое свойство грунтов, количественно оцениваемое величиной отношения их массы к занимаемому объему. Физические свойства, характеризующие взаимосвязь между массой и объемами горных пород или минералов, называются плотностными. Плотность используется как прямой расчетный показатель при вычислении бытового давления, давления на подпорную стенку, при расчете устойчивости оползневых склонов и откосов, осадки сооружений, распределения напряжений в грунтах основания под фундаментами, при определении объема земляных работ и др.

Плотность грунта в данной работе рассчитывают путем определения массы грунта в известном объеме кольца.

По величине плотности ρ вычисляют значение удельного веса грунта:

$$\gamma = \rho g,$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Характеристика «удельный вес» используется для определения расчетного сопротивления грунта, давления грунта на ограждающие конструкции, расчета устойчивости откосов и т.д.

Материалы и оборудование

- образец грунта (рис. 7.1);
- режущее кольцо с заточенной кромкой (рис. 7.2);
- нож;
- пластины из оргстекла (2 шт);
- весы;
- вазелин;
- салфетка.



Рис. 7.1. Образец грунта



Рис. 7.2. Режущее кольцо с заточенной кромкой

Ход работы

1. Подготавливают таблицу 7.1 для записи результатов опыта.
2. Взвешивают кольцо и пластины. В таблицу 7.1 записывают данные о массе колец и пластин.

Таблица 7.1

Результаты определения плотности и удельного веса грунта

Объем кольца V , см ³	Масса кольца m_0 , г	Масса кольца с грунтом и пластинами m_1 , г	Масса пластинок m_2 , г	Масса грунта $m_1 - m_0 - m_2$, г	Плотность грунта $\rho = (m_1 - m_0 - m_2) / V$, г/см ³	Удельный вес грунта $\gamma = \rho g$, кН/м ³

3. Кольцо смазывают с внутренней стороны тонким слоем вазелина.
4. Верхнюю поверхность образца грунта зачищают и выравнивают ножом, устанавливают на ней режущий край кольца и вручную слегка вдавливают кольцо в грунт, фиксируя границу образца для испытаний (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Вдавливание кольца в грунт

5. Затем грунт снаружи кольца обрезают на глубину 5–10 мм ниже режущего края кольца.

6. Периодически, по мере срезания грунта, насаживают кольцо на столбик грунта, не допуская перекосов. После заполнения кольца грунт подрезают на 8–10 мм ниже режущего края кольца и отделяют его (рис. 7.4).

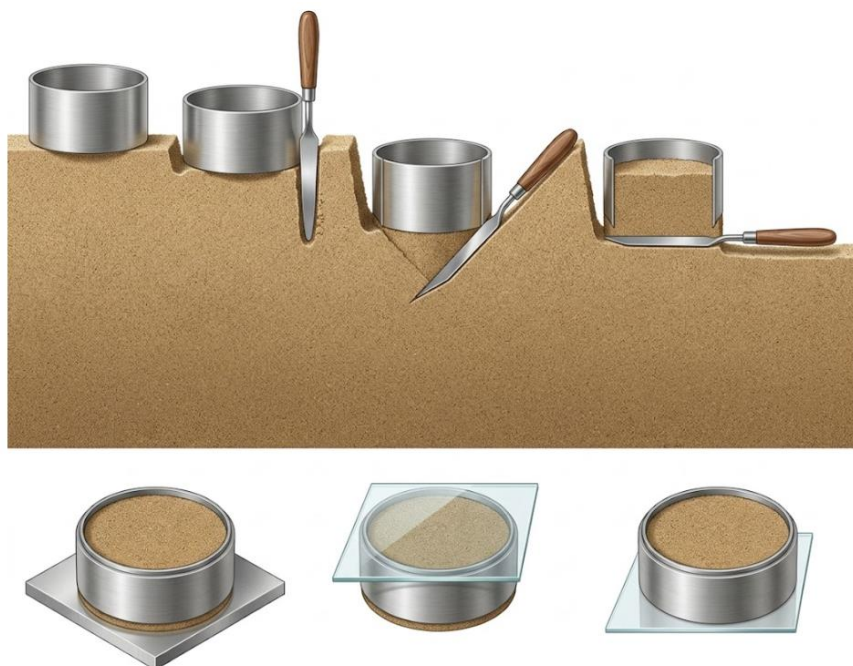


Рис. 7.4. Последовательное заполнение и отделение кольца с грунтом

7. Подрезанное кольцо тщательно протирают снаружи от налипшего грунта салфеткой и зачищают верхнюю и нижнюю части грунта ножом вровень с краями кольца (рис. 7.5) и далее пластинами из оргстекла закрывают торцы образца (рис. 7.6).



Рис. 7.5. Отделенное кольцо с грунтом

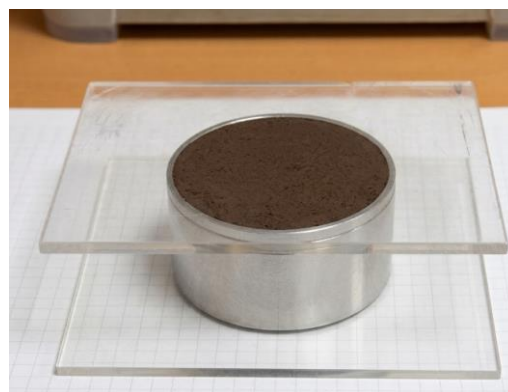


Рис. 7.6. Отделенное кольцо с грунтом

8. Кольцо с грунтом и пластинами взвешивают с точностью до 0,01 г.

9. Рассчитывают плотность и удельный вес грунта по формулам, приведенным в таблице. Точность вычисления плотности – 0,01 г/см³, удельного веса – 0,1 кН/м³. Equation Section 8

8. Лабораторная работа № 6

ЧАСТЬ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА МЕТОДОМ ПАРАФИНИРОВАНИЯ

Метод парафинирования — это способ определения плотности грунта, заключающийся в гидростатическом взвешивании образца неправильной формы, предварительно покрытого тонким слоем парафина, в воде. Метод парафинирования рекомендован ГОСТ 5180 для определения плотности связных дисперсных грунтов, глинистых грунтов твердой консистенции, а также **полускальных и скальных, когда метод режущего кольца неприменим.**

Материалы и оборудование

- образец глинистого грунта (рис. 8.1);



Рис. 8.1. Образец грунта

- нож лабораторный;
- парафин в металлической емкости;
- весы;
- устройство для взвешивания образца в воде;
- емкость с водой;
- нить;
- электроплитка.

Ход работы

1. Вырезают образец грунта в виде прямоугольника, объемом около 50 см^3 и придают ему округлую форму, немного срезая острые выступающие части.

2. Образец обвязывают тонкой прочной нитью (рис. 8.2) со свободным концом длиной 15–20 см (имеющей петлю для подвешивания к серьге устройства для взвешивания образца в воде) и взвешивают на весах, результат записывают в таблицу 8.1.

3. Растапливают парафин в металлической емкости (рис. 8.3) до температуры 57°C – 60°C .

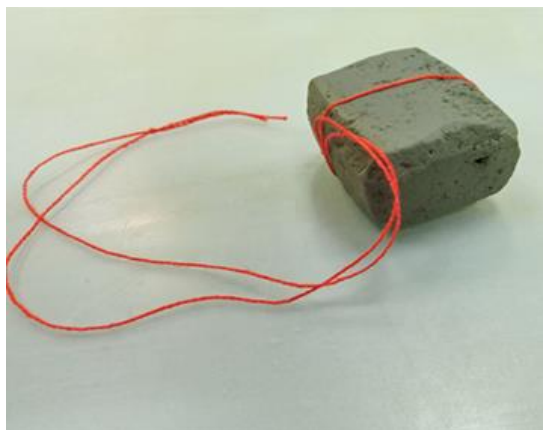


Рис. 8.2. Образец для парафинирования



Рис. 8.3. Металлическая емкость для растапливания парафина

4. Образец грунта покрывают парафиновой оболочкой, погружая его на 2–3 секунды в нагретый парафин. Эту операцию повторяют до образования плотной парафиновой оболочки. Охлажденный запарафинированный образец взвешивают (рис. 8.4). Результаты записывают в таблицу 8.1.



Рис. 8.4. Запарафинированный образец

5. Затем запарафинированный образец взвешивают в сосуде с водой. Для этого над чашей весов устанавливают подставку для сосуда с водой так, чтобы исключить касание подставки к чаше весов. К серьге устройства подвешивают образец и опускают в сосуд с водой. Объем сосуда и длина нити должны обеспечить полное погружение образца в воду. При этом образец не должен касаться дна и стенок сосуда (рис. 8.5). Результат взвешивания записывают в таблицу 8.1.

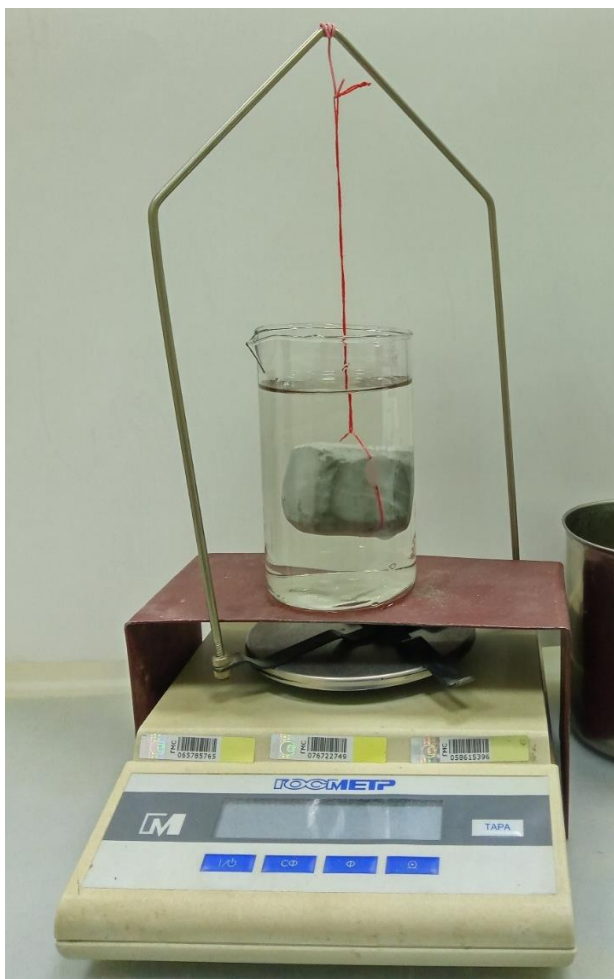


Рис. 8.5. Гидростатическое взвешивание запарафинированного образца

Таблица 8.1

Результаты определения плотности грунта

Масса образца грунта до парафинирования m , г	Масса запарафинированного образца m_1 , г	Результат взвешивания образца в воде m_2 , г	Плотность грунта ρ , г/см ³ , вычисляемая по формуле: $\rho = \frac{m \rho_p \rho_w}{\rho_p (m_1 - m_2) - \rho_w (m_1 - m)}$

Значения: ρ_p – плотность парафина, принимается равной 0,900 г/см³;

ρ_w – плотность воды, принимается равной 1 г/см³.

б. Рассчитывают плотность и удельный вес грунта по формулам, приведенным в таблице 8.1. Точность вычисления плотности – 0,01 г/см³, удельного веса – 0,1 кН/м³.

9. Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА ПОЛЕВЫМ МЕТОДОМ РУТКОВСКОГО

Гранулометрическим составом грунта называется весовое содержание в нем частиц различной крупности (фракции), выраженное в процентах по отношению к общему весу сухой пробы, взятой для анализа.

Для определения гранулометрического состава составляющие грунт элементы разделяют на отдельные фракции. Методы разделения зависят от размера фракций (ГОСТ 12536).

По размерам слагающие дисперсный грунт элементы и их фракции подразделяют согласно ГОСТ 25100 (таблица 9.1).

Таблица 9.1

Разновидности дисперсных грунтов по размерам слагающих элементов

Элементы грунта	Фракции	Размер фракций, мм
Валуны (глыбы)	Крупные	>800
	Средние	400–800
	Мелкие	200–400
Галька (щебень)	Крупные	100–200
	Средние	60–100
	Мелкие	10–60
Гравий (дресва)	Крупные	5–10
	Мелкие	2–5
Песчаные частицы	Грубые	1–2
	Крупные	0,5–1
	Средние	0,25–0,5
	Мелкие	0,10–0,25
	Тонкие	0,05–0,10
Пылеватые частицы	Крупные	0,01–0,05
	Мелкие	0,002–0,01
Глинистые частицы	–	<0,002

Гранулометрический состав позволяет косвенно судить о некоторых строительных свойствах грунтов. С уменьшением размеров частиц возрастает суммарная площадь их поверхности на единицу объема, что увеличивает коагуляционные связи (связи молекулярного и водно-коллоидного притяжения между частицами и их водными оболочками). Так, между фракциями гальки и гравия коагуляционные связи отсутствуют. Грунты, состоящие из этих фракций, отличаются хорошей водопроницаемостью, полным отсутствием капиллярного поднятия, неизменностью свойств при изменении влажности.

Пески хорошо пропускают воду, имеют незначительную величину капиллярного поднятия. При изменении влажности пески пылеватые и мелкие меняют строительные свойства.

Глинистые частицы резко изменяют свойства грунтов при их увлажнении (приобретают пластичность и липкость, увеличиваются в объеме и придают грунтам водонепроницаемые свойства). Грунты с преобладанием пылеватых и глинистых частиц имеют малую водопроницаемость, но значительную высоту капиллярного поднятия.

Полевой метод Рутковского относится к косвенным методам определения гранулометрического состава и дает приближенное представление о составе грунтов. В основу метода положены:

- различная скорость падения частиц в воде в зависимости от их размера;
- способность глинистых частиц набухать в воде.

С помощью метода Рутковского выделяют три основные фракции: песчаную (размер частиц 2 – 0,05 мм), пылеватую (размер частиц 0,05 – 0,002 мм) и глинистую (размер частиц < 0,002 мм).

Данный метод целесообразно применять для определения разновидностей песков пылеватых и супесей.

В настоящей работе требуется определить содержание песчаных, пылеватых и пылевато-глинистых частиц в исследуемом грунте методом

С. И. Рутковского. В лабораторной работе для гранулометрического анализа используется грунт, размер фракций которого не превышает 2 мм. Разновидность грунта определяется по гранулометрической классификации, представленной в таблице 9.2.

Таблица 9.2

Гранулометрическая классификация грунтов (по В. В. Охотину)

Грунт	Содержание глинистых частиц (менее 0,002 мм), % по массе
Песок	< 2
Супесь	2...10
Суглинок	10...30
Глина	>30

Материалы и оборудование

- проба грунта нарушенной структуры в воздушно-сухом состоянии – 50 г;
- градуированные цилиндры – 2 шт;
- палочки с резиновыми наконечниками – 2 шт;
- раствор хлористого кальция (CaCl_2 – 5 %);
- колба с водой – 1 шт;
- стакан для слива суспензии – 1 шт;
- секундомер – 1 шт;
- ложка.

Ход работы

Определение содержания песчаных частиц (размер от 0,05 до 2,0 мм)

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

1. Грунт нарушенной структуры в воздушно-сухом состоянии насыпают ложкой в прозрачный цилиндр и уплотняют постукиванием по ладони. После уплотнения грунт должен иметь объем 10 см³.

2. Наклоном цилиндра и легким встряхиванием грунт разрыхляют так, чтобы показалось дно, после чего в цилиндр наливают воду до 50...60 см³.

3. Грунт, при помощи палочки с резиновым наконечником тщательно растирают и перемешивают с водой до исчезновения частиц, налипших на стенки цилиндра и наконечник. После этого в цилиндр доливают воду до 100 см³.

4. Полученную суспензию хорошо взмучивают палочкой с резиновой кисточкой. Кисть вынимают, замечают время и дают суспензии отстояться 90 сек. За это время все песчаные частицы успевают осесть на дно (таблица 9.3). После этого 2/3 объема суспензии с более мелкими пылеватыми и глинистыми частицами сливают (до 30...35 см³).

Таблица 9.3

Скорости падения частиц в воде по Стоксу

Диаметр частиц, мм	Скорости падения частиц в воде, мм/с, при температуре воды, °С				
	10	12	15	17	20
0,05	1,727	1,871	2,041	2,042	2,246
0,01	0,070	0,076	0,083	0,083	0,091
0,005	0,0173	0,0187	0,0204	0,0204	0,0225
0,002	0,0028	0,0030	0,0033	0,0033	0,0036
0,001	0,00070	0,00076	0,00083	0,00083	0,00091

5. Цилиндр вновь доливают водой до 100 см³, суспензию взмучивают, отстаивают 90 с, после чего сливают 2/3 ее объема и т. д. Процесс повторяют до практически полного осветления жидкости.

6. Для контроля чистоты отмучивания в цилиндр вновь наливают воду до объема 30...35 см³, взмучивают и через 30 сек осторожно сливают мутную воду над осевшим грунтом. При сливании необходимо следить, чтобы песчаные частицы не уносились из цилиндра вместе с водой. Затем цилиндр снова доливают водой до 30–35 см³, взмучивают осадок, через 30 с сливают и т. д. Процесс повторяют до тех пор, пока вода не станет прозрачной.

7. По завершении отмучивания в цилиндр наливают воду до 100 см³, дают песку отстояться и определяют его объем. Так как 1 см³ составляет 10 % от первоначального объема грунта, то содержание песка в грунте определяют умножением числа кубических сантиметров осадка на 10. Результат опыта записывают в таблицу 9.4.

Таблица 9.4

Результаты определения содержания песчаных частиц

Начальный объем грунта V_1 , см ³	Объем песчаных частиц V_2 , см ³	Содержание песчаных частиц $X_1 = \frac{V_2}{V_1} 100$, %
10,0		

Определение содержания глинистых частиц (размер менее 0,002 мм)

Способ основан на свойстве глинистых частиц увеличиваться в объеме (набухать) при увлажнении. Набухание происходит в результате расклинивающего действия оболочек связанной воды, образующихся при гидратации глинистых минералов и тонкодисперсных частиц.

1. Сухой грунт из той же пробы, что и в предыдущем опыте, насыпают в прозрачный цилиндр и постукиванием по ладони уплотняют до 10 см³.

2. Грунт разрыхляют и в цилиндр наливают воду до 50...60 см³.

3. Для коагуляции и ускорения оседания глинистых частиц к полученной суспензии добавляют 3...4 см³ пятипроцентного раствора хлористого кальция (CaCl₂).

4. Цилиндр доливают водой до 100 см³, суспензию взмучивают один раз и оставляют для отстаивания и набухания в течение 1...2 суток или до следующего занятия.

В цилиндр вставляют этикетку с указанием группы и фамилии студента.

5. После отстаивания определяют объем набухшего грунта. Содержание глинистых частиц в процентах определяют умножением относительного приращения объема грунта на эмпирический коэффициент $K = 22,7$. Результат опыта записывают в таблицу 9.5.

Таблица 9.5

Результаты определения содержания глинистых частиц

Начальный объем грунта $V_1, \text{см}^3$	Объем набухшего грунта $V_2, \text{см}^3$	Приращение объема $(V_2 - V_1), \text{см}^3$	Относительное приращение объема $(V_2 - V_1) / V_1$	Содержание глинистых частиц $X_2 = \frac{V_2 - V_1}{V_1} K, \%$
10,0				

Определение содержания пылеватых частиц (размер от 0,002 до 0,05 мм)

Процентное содержание пылеватых частиц определяют вычитанием из 100 % суммы процентов глинистых и песчаных частиц (таблица 9.6).

Таблица 9.6

Результаты определения гранулометрического состава грунта

Частицы	Содержание частиц, %	Наименование грунта
Песчаные		
Глинистые		
Пылеватые		

Определение наименования грунта

Наименование грунта определяют, используя гранулометрическую классификацию (см. таблицу 9.2). Результат определения записывают в таблицу 9.6.

10. Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ГРУНТА ПИКНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ (ГОСТ 5180)

Плотностью частиц грунта ρ_s называется отношение массы сухого грунта (исключая массу воды и воздуха в его порах) к объему твердой части грунта. Плотность частиц грунта входит в состав всех физико-механических характеристик грунтов, которые используются при проектировании зданий и сооружений.

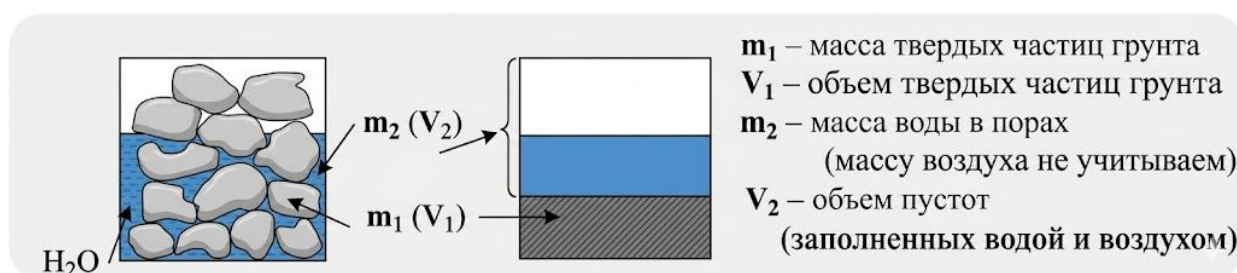


Рис. 10.1. Составляющие грунта как многокомпонентной системы

Численно плотность частиц грунта равна отношению массы твердых (скелетных) частиц к занимаемому ими объему:

$$\rho_s = m_s / V_s, \quad (10.1)$$

где m_s – масса частиц грунта, г; V_s – объём частиц грунта, см^3 .

Плотность частиц грунта зависит от минералогического состава грунта и увеличивается с увеличением содержания в грунте тяжелых минералов. Единица измерения – $\text{т}/\text{м}^3$, $\text{г}/\text{см}^3$. Осредненные значения ρ_s для различных грунтов могут приниматься равными: для песков 2,64–2,66 $\text{г}/\text{см}^3$; для супесей 2,68–2,70 $\text{г}/\text{см}^3$; для суглинков 2,70–2,72 $\text{г}/\text{см}^3$; для глин 2,74–2,76 $\text{г}/\text{см}^3$. Плотность частиц грунта определяют пикнометрическим методом (ГОСТ 5180). В основу способа положено определение объема частиц грунта по массе вытесненной ими воды. Для этого определяют массу сосуда (пикнометра) с водой и с водой и грунтом.

Объем пикнометра определяется по массе дистиллированной воды, налитой до мерной риски на горлышке пикнометра (рис. 10.2).

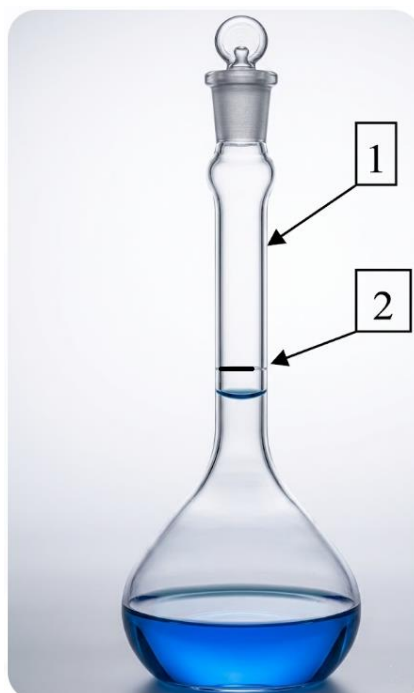


Рис. 10.2. Пикнометр 100 мл: 1 – горлышко; 2 – риска

Для того чтобы удалить воду из грунта его высушивают на открытом воздухе до воздушно-сухого состояния, размельчают в ступке или грунтовой мельнице до состояния порошка, порошок просеивают через сито 0,2 мм и полученную пробу грунта выдерживают 3 часа в сушильном шкафу при температуре 105° , после чего приступают к выполнению испытания. Так как в природном состоянии, частицы в грунте находятся в виде слепленных микроагрегатов и в них образуются поры, в которые вода не может проникнуть, а для определения объема твердых частиц необходимо, чтобы каждая частица вытесняла только свой объем жидкости, без объема пор, то есть необходимо оторвать частицы друг от друга и разорвать структурные связи грунта. Это достигается кипячением пробы.

Материалы и оборудование

- проба грунта, просеянная через сито 2 мм и высушенная при 105° ;
- пикнометры вместимостью не менее 100 см^3 ;
- электронные весы;
- ложка чайная;
- емкость для взвешивания пробы массой 15 г;
- воронка;

- кисточка;
- пипетка Пастера 3 мл;
- дистиллированная вода;
- песчаная баня.

Ход работы

1. Заготовить таблицу 10.1.
2. Взвесить пустой пикнометр $m_{п}$, г. Данные занести в таблицу 10.1.
3. Из подготовленной пробы грунта берут навеску m_0 из расчета 15 г на каждые 100 мл емкости пикнометра, т. е. в нашем случае 15 г.
4. Наполняют пикнометр на $1/3$ дистиллированной водой и взвешивают, получают m_3 , данные заносят в таблицу 10.1. Затем, через воронку, всыпают в пикнометр высушенную пробу грунта и снова взвешивают, получают m_4 , результаты заносят в таблицу 10.1.
5. Пикнометр осторожно взбалтывают и кипятят на песчаной бане для удаления адсорбированного воздуха и разделения агрегатов глинистого грунта. Продолжительность спокойного кипячения (с момента начала кипения) должна составлять: для песков и супесей – 30 мин, для суглинков и глин – 1 ч.
6. После кипячения пикнометр охлаждают до комнатной температуры и доливают дистиллированную воду до мерной риски 2 (рис. 10.2) на горлышке, ставят пикнометр в ванну с водой и доводят температуру в пикнометре до 20 °С. Температуру пикнометра определяют по температуре воды в ванне, измеряемой с точностью до $\pm 0,5^\circ\text{C}$.
7. После охлаждения пикнометра до 20 °С поправляют положение уровня воды в нем в соответствии с риской 2 на горлышке, добавляя или удаляя пипеткой дистиллированную воду.
8. Взвешивают пикнометр с грунтом и водой после его охлаждения до 20 °С (m_1), г. Данные заносят в таблицу 8.1.
9. Далее выливают содержимое пикнометра, ополаскивают его, наливают в него дистиллированную воду и выдерживают в ванне с водой

строго при температуре 20 °С. После охлаждения поправляют положение уровня воды до мерной риски 2 при помощи пипетки и взвешивают пикнометр с водой (m_2). Результаты заносят в таблицу 8.1.

10. Объем пикнометра $V_{\text{п}}$, см³, вычисляют по формуле (10.2):

$$V_{\text{п}} = \frac{m'_2 - m_{\text{п}}}{\rho_w}, \quad (10.2)$$

где m'_2 – масса пикнометра с дистиллированной водой при температуре 20 °С, г; $m_{\text{п}}$ – масса пустого пикнометра, г; ρ_w – плотность воды при той же температуре, $\rho_w = 1$ г/см³.

Плотность частиц грунта ρ_s , г/см³, вычисляют по формуле (10.3):

$$\rho_s = \frac{\rho_w m_0}{m_0 + m_2 - m_1}, \quad (10.3)$$

где m_1 – масса пикнометра с водой и грунтом при 20 °С, г; m_2 – масса пикнометра с водой при 20 °С, г; ρ_w – плотность воды при 20 °С, $\rho_w = 1$ г/см³; m_0 – масса навески сухого грунта, $m_0 = m_4 - m_3$), г.

Таблица 10.1

Результаты определения плотности твердых частиц грунта

Масса пустого пикнометра $m_{\text{п}}$, г	Масса пикнометра с водой на 1/3 m_3 , г	Масса пикнометра с водой на 1/3 и навеской грунта m_4 , г	Масса навески сухого грунта, г $m_0 = m_4 - m_3$	Масса пикнометра с водой до риски и грунтом после кипячения и охлаждения m_1 , г	Масса пикнометра с водой до риски при температуре тарировки, m_2 , г	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³ $\rho_s = \frac{\rho_w m_0}{m_0 + m_2 - m_1}$

Вычисление дополнительных физических характеристик грунта

Физические характеристики грунта, определяемые экспериментально, называют основными. К ним относят плотность грунта ρ , плотность частиц грунта ρ_s и влажность w . Используя их, можно вычислить дополнительные физические характеристики грунта по ГОСТ 25100.

Коэффициент водонасыщения грунта (степень влажности) — это степень заполнения объёма пор водой. Это отношение естественной влажности грунта к его полной влагоёмкости. Величина коэффициента может изменяться от 0 (при природной влажности = 0) до 1 (при природной влажности = полной влагоёмкости). Коэффициент водонасыщения важен для характеристики физического состояния грунта, особенно глинистых, прочностные свойства которых зависят от степени увлажнения.

Полная влагоёмкость грунта w_{sat} — это количество воды, которое грунт может вместить при полном заполнении всех его пор водой. При такой влагоёмкости вода содержится в грунте во всех формах — гигроскопической, пленочной, капиллярной и гравитационной. Формулы для определения полной влагоёмкости грунта w_{sat} (10.4) или (10.5):

$$w_{sat} = e \rho_w / \rho_s. \quad (10.4)$$

$$w_{sat} = \frac{\rho_w (\rho_s - \rho_d)}{\rho_d \rho_s}, \quad (10.5)$$

где e — коэффициент пористости; ρ_w — плотность воды, $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$; ρ_s — плотность частиц грунта, г/см^3 .

Коэффициент водонасыщения S_r , д.е.; определяют по формуле (10.6):

$$S_r = \frac{w \rho_s}{e \rho_w}, \quad (10.6)$$

где w — природная влажность грунта, д.е. (см. ГОСТ 5180); e — коэффициент пористости, д.е.; ρ_s — плотность частиц грунта, г/см^3 (см. ГОСТ 5180); ρ_w — плотность воды, $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$.

Коэффициент пористости грунта (обозначается буквой e) — это соотношение объёма пустот к объёму твёрдых частиц грунта, выраженное в долях единицы. В объём пустот входит объём воды и объём воздуха (пористость).

Коэффициент пористости e , д.е.; определяют по формуле (10.7):

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}, \quad (10.7)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³ (см. ГОСТ 5180); ρ_d – плотность сухого грунта, г/см³.

Плотность сухого грунта (плотность скелета грунта) — это отношение массы грунта, за вычетом массы воды в его порах, к первоначальному объему грунта.

Плотность сухого грунта (скелета) ρ_d , г/см³; определяют по формуле (10.8):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01w}, \quad (10.8)$$

где ρ – плотность грунта, г/см³ (см. ГОСТ 5180); w – естественная влажность грунта, % (см. ГОСТ 5180).

Пористость грунта — это отношение объема пор (пустот) к общему объему грунта, выраженное в процентах или в долях единицы. Поры могут быть заполнены воздухом или водой.

Пористость грунта n , %; определяют по формуле (10.9):

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} 100, \quad (10.9)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³ (см. ГОСТ 5180); ρ_d – плотность сухого грунта, г/см³.

11. Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА (ГОСТ 5180)

Влажностью (весовой влажностью) грунта называется отношение массы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного грунта.

Влажность определяют весовым методом по результатам взвешивания пробы влажного грунта и той же пробы грунта после его высушивания при температуре 105 °С в сушильном шкафу (термостате).

Показатель влажности грунта используется при расчете коэффициента водонасыщения, пористости грунта, коэффициента пористости грунта, плотности сухого грунта, показателя текучести (консистенции) грунта и др.

Материалы и оборудование

- образец грунта в фарфоровой чашке (рис. 11.1);
- бюкс (рис. 11.2);



Рис. 11.1. Образец грунта в фарфоровой чашке

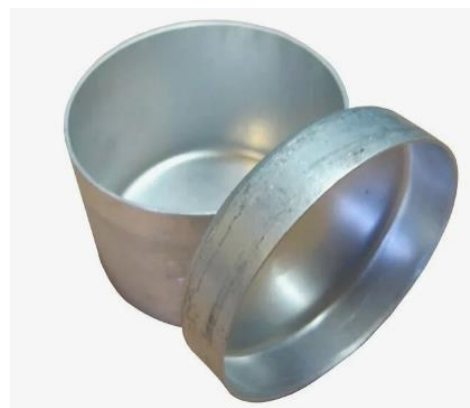


Рис. 11.2. Бюкс

Ход работы

1. Подготавливают таблицу 11.1 для записи результатов опыта. В таблицу записывают данные о бюксе (номер бюкса и его массу (написана на его крышке), при отсутствии данных взвесить бюкс самостоятельно).

Результаты определения природной влажности

Номер бюкса	Масса бюкса m_1 , г	Масса бюкса с влажным грунтом m_2 , г	Масса бюкса с сухим грунтом m_3 , г	Влажность грунта, д.е. $w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$

2. Из грунтовой пасты, из центра фарфоровой чашки, отбирают грунт, примерно 10 грамм, помещают в бюкс и закрывают крышкой.

3. Бюкс с влажным грунтом и крышкой взвешивают с точностью до 0,01 г, данные заносят в таблицу 11.1.

4. В конце занятия лаборант помещает бюкс с грунтом в сушильный шкаф, где он высушивается при температуре 105 °С в течение 4...6 ч, после чего он взвешивается. На следующем занятии полученные данные передаются студентам. Влажность вычисляют в долях единицы с точностью до 0,01 по формуле, приведенной в таблице 11.1.

12. Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВЛАЖНОСТЕЙ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА (ГОСТ 5180). ПРЕДЕЛЫ АТТЕРБЕРГА

Глинистые грунты при определенной влажности обладают **пластичностью**, т. е. способностью изменять форму (деформироваться) без разрыва сплошности и сохранять приданную им форму.

Пластичность связных грунтов определяется их составом и свойствами, как твёрдых частиц, так и взаимодействующей с ними поровой жидкости.

Содержание глинистых частиц сильно влияет на пластичность. Чем больше в грунте содержится глинистых частиц, тем он пластичнее.

Для оценки пластичности глинистых грунтов определяют их характерные влажности: влажность на границе текучести w_L и влажность на границе раскатывания w_p .

Влажность на границе текучести w_L (верхний предел пластичности) соответствует влажности, при незначительном превышении которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее (рис. 12.1).

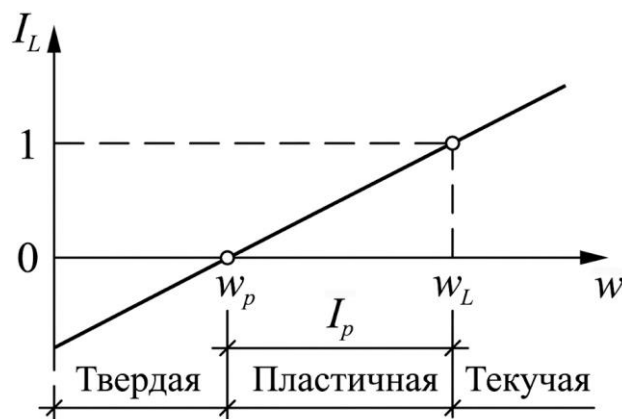


Рис. 12.1. Зависимость показателя текучести и консистенции глинистого грунта от влажности

Влажность на границе пластичности (раскатывания) w_p (нижний предел пластичности) соответствует влажности, при незначительном уменьшении которой грунт перестает быть пластичным (влажность на границе пластичного и твердого состояний).

Число пластичности I_p — это характеристика, отражающая способность грунта удерживать воду. Вычисляется как разность между пределами текучести и раскатывания. Диапазон значений влажности от w_L до w_p , показывает в пределах каких значений влажности грунт сохраняет пластичное состояние. Число пластичности определяется по формуле (12.1):

$$I_p = w_L - w_p. \quad (12.1)$$

Чем больше число пластичности, тем грунт пластичнее. По числу пластичности I_p глинистые грунты подразделяют согласно ГОСТ 25100 на следующие разновидности (таблица 12.1).

Таблица 12.1

Классификация глинистых грунтов по числу пластичности

Разновидности глинистых грунтов	Число пластичности I_p , %
Супесь	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$

Сопоставление пределов пластичности и естественной влажности грунтов позволяет ориентировочно судить, в каком состоянии они находятся в естественном залегании, т. е. определить их **консистенцию**. Консистенция грунтов в естественном залегании выражается через показатель текучести I_L .

Показатель текучести I_L — показатель состояния (консистенции) глинистых грунтов, определяется по формуле (12.2), или при подстановке вместо I_p формулы (12.1) I_L можно определить по формуле (12.3):

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p}; \quad (12.2)$$

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}, \quad (12.3)$$

где w — влажность грунта в естественном состоянии; w_L — влажность на границе текучести; w_p — влажность на границе пластичности, раскатывания; I_p — число пластичности.

Показатель текучести грунта I_L используется при выборе глубины заложения фундаментов, определении расчетного сопротивления грунта, определении несущей способности свай и т. д. По показателю текучести I_L глинистые грунты подразделяют согласно ГОСТ 25100-2011 на следующие разновидности, приведенные в таблице 12.2.

Таблица 12.2

Классификация глинистых грунтов по показателю текучести

Разновидности глинистых грунтов	Показатель текучести I_L
Супесь:	
твердая	$I_L < 0$
пластичная	$0 \leq I_L \leq 1$
текучая	$I_L > 1$
Суглинки и глины:	
твердые	$I_L < 0$
полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,50$
мягкопластичные	$0,50 < I_L \leq 0,75$
текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1,00$
текучие	$I_L > 1,00$

Определение влажности на границе текучести w_L

Влажность на границе текучести соответствует весовой влажности грунта, при которой стандартный конус погружается в грунтовую пасту за 5 сек под собственным весом на глубину 10 мм (рис. 12.2, 12.3).



Рис. 12.2. Схема к определению влажности на границе текучести



Рис. 12.3. Фото конуса с балансирным устройством

Стандартным называется конус с углом при вершине 30° , масса которого вместе с балансным устройством составляет 76 г (рис. 12.4, 12.5). На расстоянии 10 мм от вершины на конусе нанесена круговая черта.

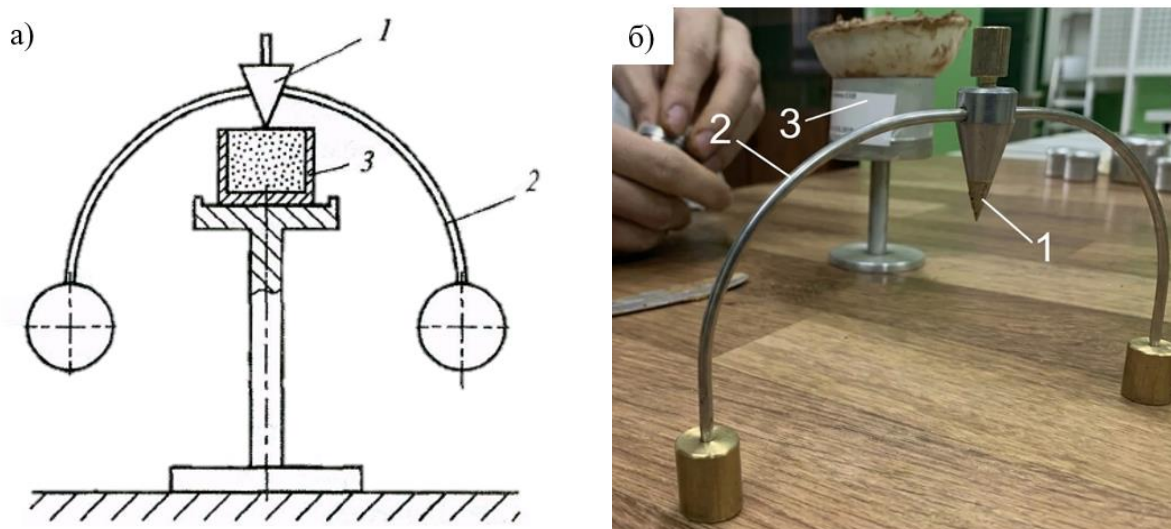


Рис.12.4. Конус с балансным устройством для определения границы текучести:
а) схема; б) фото; 1 – конус; 2 – балансное устройство; 3 – металлический стаканчик с
грунтовым тестом

Определение границы текучести состоит в подборе соответствующей влажности испытываемого грунта.

Материалы и оборудование

- грунт в виде грунтовой пасты в фарфоровой чашке, оставшийся после определения естественной влажности (рис.12.5);
- шпатель (рис. 12.6);



Рис. 12.5. Образец грунта в фарфоровой чашке



Рис. 12.6. Шпатель

- колба с водой и пипеткой Пастера;

- металлический стаканчик и подставка с конусом и балансирующим устройством (рис. 12.7);

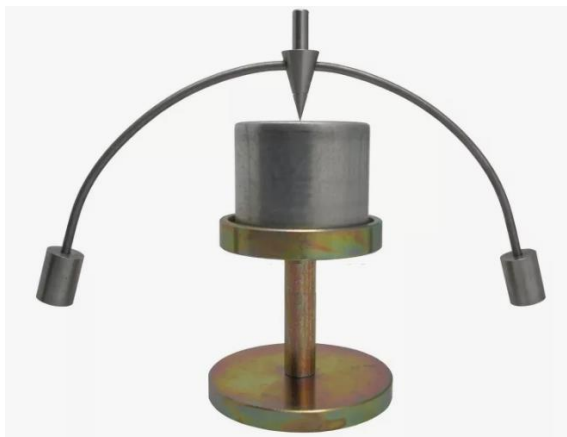


Рис. 12.7. Металлический стаканчик и подставка с конусом и балансирующим устройством

- технический вазелин;
- салфетка для конуса;
- бюксы – 2 шт;
- весы;
- секундомер – телефон.

Ход работы

1. Часть грунта, оставшегося после определения естественной влажности (20–30 г), из фарфоровой чашки перекладывают в один из двух приготовленных бюксов для определения в дальнейшем нижнего предела пластичности методом раскатывания. Оставшийся грунт в фарфоровой чашке, затворяют *небольшим* количеством воды из пипетки Пастера и тщательно перемешивают шпателем.

2. Металлический стаканчик от прибора полностью заполняют перемешанной грунтовой пастой. Излишки грунтовой пасты в стаканчике срезают шпателем вровень с краями стаканчика.

3. Острие конуса, смазывают тонким слоем вазелина и подносят к самой поверхности грунта и мгновенно отпускают, позволяя конусу свободно погрузиться в грунт под влиянием собственного веса (рис 12.8). Через 5 сек отмечают положение круговой черты.



Рис. 12.8. Свободное погружение конуса в грунт под влиянием собственного веса

4. Если погружение конуса менее 10 мм, грунт из металлического стаканчика перекалывают обратно в фарфоровую чашку и после добавления **небольшого** количества воды пипеткой снова тщательно перемешивают. Затем опыт повторяют.

Если конус погрузился более чем на 10 мм, пасту из стаканчика переложить обратно в фарфоровую чашку, слегка подсушить непрерывно перемешивая шпателем или, если этого недостаточно, промокнуть грунт салфетками, необходимое количество раз, до получения нужной консистенции. Далее также перемешать пасту и повторить опыт.

5. При достижении консистенции грунта, при которой стандартный конус погружается в грунтовую пасту за 5 сек под собственным весом на глубину 10 мм (что соответствует верхнему пределу текучести) из стаканчика отбирают пробу грунта (не менее 10 г), помещают в бюкс, взвешивают и результаты записывают в таблицу 12.3.

6. Определяют влажность w_L , по формуле из таблицы 12.3.

Таблица 12.3

Результаты определения характерных влажностей грунта

Характерная влажность грунта	Номер бюкса	Масса бюкса m_1 , г	Масса бюкса с влажным грунтом m_2 , г	Масса бюкса с сухим грунтом m_3 , г	Влажность грунта $w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$, доли ед.
w_L					
w_p					

Определение влажности на границе пластичности (раскатывания) w_p

Влажность на нижней границе пластичности соответствует весовой влажности, при которой грунт, раскатываемый в жгут диаметром 3 мм, начинает терять пластичность и распадается на кусочки длиной 3...8 мм.

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

Для определения границы раскатывания используют грунтовую пасту из второго бюкса (см. п. 1 из работы по определению влажности на границе текучести w_L).

Ход работы

1. Вынимают грунтовую пасту из бюкса, отделяют от нее небольшой комочек грунтового теста (примерно 10 г), раскатывают на ладони до образования жгута диаметром около 3 мм.



Рис. 12.9. Отделение комочка грунтового теста и его раскатка до жгута

2. Если при этой толщине жгут сохраняет связность и пластичность, т. е. не распадается на куски длиной 3–8 мм, его вновь собирают в комок и вновь раскатывают до образования жгута диаметром около 3 мм. Раскатывание продолжают до тех пор, пока жгут не начинает распадаться по поперечным трещинам на кусочки длиной 3–8 мм (рис. 12.10).

3. Раскатывать следует, слегка нажимая на жгут кончиками пальцев, длина жгута не должна превышать ширины ладони.

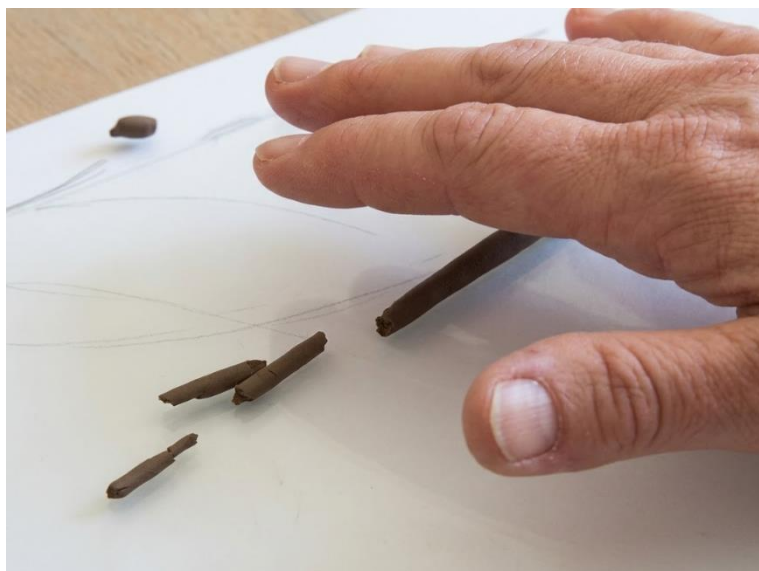


Рис. 12.10. Разрушение жгута по поперечным трещинам на кусочки

4. Если грунт пересушился и распадается в порошок, необходимо пипеткой добавить 2–3 мл воды в пересушенный грунт, тщательно перемять в руках подсохший грунт и продолжить раскатывание как описано выше.

Полученные кусочки грунта длиной 3–8 мм, помещают в бюкс (из которого предварительно извлечена неиспользованная грунтовая паста для раскатывания). Во время работы бюкс, с полученными кусочками грунта длиной 3–8 мм, держат закрытым, для предохранения грунта от высыхания. Для завершения испытания необходимо набрать не менее 5 г грунта в виде жгутов.

5. Полученный грунт взвешивают, в таблицу 12.3 записывают результаты и определяют влажность w_p , по формуле из таблицы 12.3.

Определение разновидности глинистого грунта

Пользуясь найденными значениями w_L и w_p , по формулам, приведенным выше, вычисляют число пластичности I_p , показатель текучести I_L и устанавливают разновидность глинистого грунта по таблице 12.2 (см. выше).

13. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ 7–10. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

Результаты, полученные при расчете данных при определении влажности, консистенции, плотности, пористости и других характеристик грунта свести в сводную таблицу глинистого грунта по приведенному ниже примеру (таблица 13.1).

По наименованию грунта, и зная его консистенцию и коэффициент пористости, можно оценить его механические характеристики по СП 22.13330 Приложение А, Таблица А.3. Таблица А.2. Полученные данные внести в таблицу 13.1. Если полученные цифры не совпадают с табличными брать средние значения (методом интерполяции) между соседними цифрами. Если полученные цифры больше или меньше всех табличных данных – брать значения, ближайšie к полученным цифрам.

Например, для суглинка текучего с коэффициентом пористости 1,250 д. е. – выбрать $E = 5$ МПа, $c = 12$ кПа, $\varphi = 12^\circ$. Для глин твердой консистенции – использовать значения из Таблицы А.3 СП 22.13330 для юрских отложений оксфордского яруса, для остальных глинистых грунтов – значения для четвертичных отложений. Дать краткую характеристику несущей способности грунта по полученным механическим характеристикам:

Грунт, приведенный в качестве примера, обладает высокими несущими способностями, с большим модулем деформации $E = 32$ МПа и высокими прочностными характеристиками $c = 30$ кПа и $\varphi = 30^\circ$.

Таблица 13.1

Пример определения наименования и свойств глинистого грунта

№ п/п	Влажность			Число пластичности (ГОСТ 25100)	Показатель текучести (ГОСТ 25100)	Плотность ГОСТ 5180			Коэффициент пористости (ГОСТ 25100)	Коэффициент водонасыщения (ГОСТ 25100)	Нормативные значения удельного сцепления c , кПа, угла внутреннего трения φ , град. и модуля деформации E , МПа			Наименование грунта
	естественная	на границе текучести	на границе раскалывания			Частиц грунта	Грунта	Скелета (сухого) грунта			Коэффициент пористости (ГОСТ 25100)	Коэффициент водонасыщения (ГОСТ 25100)	c	
	w	w_L	w_p	I_p	I_L				ρ_s	ρ				
	%	%	%	%	%	г/см ³	г/см ³	г/см ³	доли ед.	доли ед.	кПа	град	МПа	
1	17	26	15	11	0,18	2,71	2,17	1,85	0,465	0,991	30	21	32	Суглинок легкий полутвердый

Таблица 13.2

Нормативные значения модуля деформации E , МПа, глинистых грунтов

Происхождение и возраст грунтов		Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести I_L		Модуль деформации грунтов E , МПа, при коэффициенте пористости e , равном												
				0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,2	1,4	1,6		
Четвертичные отложения	Аллювиальные, делювиальные, озерные, озерно- аллювиальные	Супеси	$0 \leq I_L \leq 0,75$	-	32	24	16	10	7	-	-	-	-	-		
			$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	34	27	22	17	14	11	-	-	-	-		
		Суглинки	$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	32	25	19	14	11	8	-	-	-	-	-	
			$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	17	12	8	6	5	-	-	-	-	
			Глины	$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	-	28	24	21	18	15	12	-	-	-	-
				$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	-	-	21	18	15	12	9	-	-	-	-
	Флювио- гляциальные	Супеси	$0 \leq I_L \leq 0,75$	-	33	24	17	11	7	-	-	-	-	-		
			$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	40	33	27	21	-	-	-	-	-	-		
		Суглинки	$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	35	28	22	17	14	-	-	-	-	-		
			$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	17	13	10	7	-	-	-	-		
			Моренные	Супеси	$I_L \leq 0,5$	60	50	40	-	-	-	-	-	-	-	
				Суглинки		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Юрские отложения оксфордского яруса	Глины	$-0,25 \leq I_L \leq 0$	-	-	-	-	-	-	27	25	22	-	-			
		$0 < I_L \leq 0,25$	-	-	-	-	-	-	24	22	19	15	-			
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	-	-	-	-	-	-	-	16	12	10			

Нормативные значения удельного сцепления c , кПа, угла внутреннего трения φ , град. и модуля деформации E , МПа глинистых грунтов четвертичных отложений

Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести I_L		Обозначение характеристик грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супеси	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	21	17	15	13	–	–	–
		φ	30	29	27	24	–	–	–
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	c	19	15	13	11	9	–	–
		φ	28	26	24	21	18	–	–
Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	47	37	31	25	22	19	–
		φ	26	25	24	23	22	20	–
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c	39	34	28	23	18	15	–
		φ	24	23	22	21	19	17	–
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c	–	–	25	20	16	14	12
		φ	–	–	19	18	16	14	12
Глины	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	–	81	68	54	47	41	36
		φ	–	21	20	19	18	16	14
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c	–	–	57	50	43	37	32
		φ	–	–	18	17	16	14	11
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c	–	–	45	41	36	33	29
		φ	–	–	15	14	12	10	7

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 41 с. – Текст : непосредственный.
2. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ. – Москва : ПНИИС : НИИОСП, 2004. – 39 с. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 5180–2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – Москва : Стандартиформ, 2015. – 23 с. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ 30416–2012. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – Москва : Стандартиформ, 2013. – 15 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 22733–2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – Москва : Стандартиформ, 2016. – 15 с. – Текст : непосредственный.
6. ГОСТ 12248.1–2020. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 20 с. – Текст : непосредственный.
7. ГОСТ 12248.2–2020. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости методом одноосного сжатия. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 14 с. – Текст : непосредственный.
8. ГОСТ 12248.3–2020. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 36 с. – Текст : непосредственный.
9. ГОСТ 12248.4–2020. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности методом одноплоскостного среза. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 22 с. – Текст : непосредственный.

Конюшков Владимир Викторович
Колесникова Татьяна Георгиевна
Волкова Юлия Валерьевна
Мельников Виктор Алексеевич
Крылова Катерина Константиновна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГРУНТОВ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Учебное пособие в электронном виде
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. Тел.: (812) 552-77-17;
550-40-14.