

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ГЕОТЕХНИКИ И ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсу
«Геология, механика грунтов, основания и фундаменты»
для студентов дневной и заочной форм обучения
по специальности 1-70 04 03 ВВиОВР

УДК 624.131.7

Изложена методика определения физико-механических характеристик грунтов в лабораторных условиях.

Составители: В.Н. Дедок, доцент
А.А. Кобзарь

Рецензент: В.Н. Деркач, зам. директора научно-технического центра Минстройархитектуры, к.т.н.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 Определение гранулометрического состава песчаных грунтов ситовым методом (ГОСТ 12536-79).....	5
Лабораторная работа №2 Определение гранулометрического состава грунта полевым методом (ГОСТ 12536-79).....	7
Лабораторная работа № 3 Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы (ГОСТ 5180-84).....	10
Лабораторная работа №4 Определение плотности грунтов (ГОСТ 5180-84)..	11
Лабораторная работа № 5 Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом (ГОСТ 5180-84).....	13
Лабораторная работа № 6 Определение плотности сухого грунта, пористости, коэффициента пористости и степени влажности.....	14
Лабораторная работа № 7 Определение полной влагоемкости грунта.....	16
Лабораторная работа № 8 Определение оптимальной влажности и плотности сухого грунта методом стандартного уплотнения.....	16
Лабораторная работа № 9 Определение высоты капиллярного поднятия воды в трубке.....	19
Лабораторная работа № 10 Определение коэффициента фильтрации грунтов.....	20
Лабораторная работа № 11 Определение угла естественного откоса песчаных грунтов.....	27
Лабораторная работа № 12 Определение пластичности глинистых грунтов (ГОСТ 5180-84).....	28
Лабораторная работа № 13 Определение показателей сжимаемости грунта в компрессионном приборе (одометре) (ГОСТ 12248-96).....	31
Лабораторная работа № 14 Определение показателей прочности грунта методом прямого среза образца (ГОСТ 12248-96).....	35
Лабораторная работа № 15 Анализ результатов определения физико-механических характеристик грунтов. (ГОСТ 12248-96).....	38
ЛИТЕРАТУРА.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ	41

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторных занятий по курсу «Геология, механика грунтов, основания и фундаменты» является определение показателей физического состояния и механических свойств грунтов, которые широко используются при проектировании оснований и фундаментов зданий, земляных сооружений, котлованов, траншей и др.

При выполнении лабораторных работ студенты осваивают методику лабораторных исследований грунтов, знакомятся с необходимым оборудованием и проводят экспериментальные испытания песчаных и пылевато-глинистых грунтов.

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

Лабораторная работа № 1

Определение гранулометрического состава песчаных грунтов ситовым методом (ГОСТ 12536-79)

Нескальные грунты (крупнообломочные, пылевато-глинистые и песчаные) состоят из частиц различной величины, формы и вещественного состава. Размер составных частей изменяется от тысячных долей миллиметра до нескольких метров.

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

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

- классификация грунтов по гранулометрическому составу;
- оценка пригодности грунтов для использования их в качестве насыпей для дорог, дамб, земляных плотин;
- оценка рыхлых несвязных грунтов как строительного материала и, главным образом, как заполнителя при изготовлении бетона.

Наибольшее распространение в строительной практике получили ситовый анализ, метод Сабанина, пипеточный метод, ареометрический метод и полевой метод Рутковского.

Гранулометрический анализ на ситах является основным методом определения гранулометрического состава песчаных грунтов. Ситовый анализ заключается в просеивании пробы воздушно-сухого грунта через сита с диаметром отверстий 2, 0.5, 0.25, 0.1 мм.

Порядок выполнения работы

1. Сита собирают в колонку так, чтобы диаметры их отверстий уменьшались сверху вниз. Нижнее сито закрывается поддоном.

2. Осуществляют отбор средней навески, для чего высушенный на воздухе образец тщательно перемешивают, затем шпателем или линейкой распределяют на листе бумаги тонким ровным слоем толщиной в несколько мм и двумя взаимно перпендикулярными линиями разделяют на равные части (квадранты); два противоположных квадранта (по диагонали) оставляют в качестве сокращенной пробы, а два других удаляют. Такое деление производится до тех пор, пока не останется необходимое количество - 100 г. Взвешенную пробу помещают на верхнее сито собранной колонки, закрывают крышкой и просеивают до полной сортировки частиц грунта на ситах. Контроль полной сортировки частиц грунта осуществляется просеиванием содержимого каждого сита над листом бумаги. При выпадении частиц, содержимое бумаги высыпать на нижележащее сито, снятое сито следует поставить на место и продолжать обработку до тех пор, пока процесс разделения грунта на фракции не будет завершен.

3. Содержимое каждого сита высыпать в предварительно взвешенные фарфоровые чашечки или листики бумаги, взвесить с точностью до 0.01 г. и вычислить массу каждой фракции. Суммарная масса всех фракций не должна отличаться более чем на 0.5% массы образца, взятой для анализа.

4. Вычислить процентное содержание каждой фракции по формуле:

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

где X – процентное содержание фракций в грунте;

A – масса фракции, г;

B – масса навески, г.

Данные анализа заносим в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты просеивания грунта на ситах

Наименование показателей	Размеры фракций грунта в мм				
	>2	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	<0.1
1	2	3	4	5	6
Масса фракций грунта, г					
Содержание фракций, %					
Содержание частиц крупнее данного диаметра, %					
Содержание частиц менее данного диаметра, %					

По данным таблицы 1 подсчитать сумму процентов по массе частиц крупнее 2, 0.5, 0.25 и 0.1 мм. Наименование песка по крупности установить по таблице А1 приложения А по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице (сверху вниз).

Для большей наглядности и удобства сравнения различных грунтов между собой гранулометрический состав обычно изображают графически. Кривая гранулометрического состава строится в системе прямоугольных координат, в полулогарифмическом масштабе.

По оси абсцисс откладывают логарифмы диаметров частиц, а по оси ординат – суммарные процентные содержания частиц менее данного размера. Для этого последовательно суммируют содержание фракций, начиная с самой мелкой. По кривой гранулометрического состава, представленной на рис.1, находят показатель максимальной неоднородности – мера неоднородности гранулометрического состава песка, который определяется по формуле:

$$U_{max} = d_{50} \cdot \frac{d_{95}}{d_5},$$

где d_{95} , d_{50} , d_5 – диаметры частиц, мм, процентное содержание которых в грунте соответственно менее 95, 50 и 5%.

Чем выше U_{max} , тем зерновой состав грунта более неоднороден.

Рассматриваемые песчаные грунты классифицируются по показателю максимальной неоднородности в соответствии с ГОСТ 943-2007 следующим образом:

однородные $U_{max} < 4$;

среднеоднородные $4 \leq U_{max} \leq 20$;

неоднородные $20 \leq U_{max} \leq 40$;

повышенной неоднородности $U_{max} > 40$.

По данным определения гранулометрического состава в лабораторном журнале дается заключение по наименованию песчаного грунта с учетом его однородности.

Наиболее распространенным полевым методом является метод Рутковского, применяемый для массовых определений гранулометрического состава глинистых грунтов. В основу метода положена способность глинистых фракций набухать в воде, а также различная скорость осаждения частиц, зависящая от их размера. Экспериментально выделяют три основные группы фракций: глинистую, пылеватую и песчаную.

Лабораторная работа №2

Определение гранулометрического состава грунта полевым методом (ГОСТ 12536-79)

Порядок выполнения работы

А. Определение содержания глинистых частиц $d < 0.005$ мм

1. Из воздушно-сухого грунта, прошедшего через сито $d = 0.5$ мм, в мензурку емкостью 100 см^3 насыпают с уплотнением 10 см^3 грунта V_0 .
2. Грунт в мензурке разрыхляют, наливают $50\text{--}70 \text{ см}^3$ воды и тщательно размешивают стеклянной палочкой с резиновым наконечником.
3. В полученную суспензию для ускорения коагуляции прибавляют $2\text{--}3 \text{ см}^3$ 5% раствора CaCl_2 .
4. В мензурку доливают воды до 100 см^3 и оставляют суспензию отстаиваться на 1 час.
5. Затем измеряют объем осадка V в мензурке и определяют приращение объема грунта K в результате его набухания:

$$K = \frac{V - V_0}{V_0}$$

6. Определяют процентное содержание глинистой фракции (меньше 0.005 мм) по эмпирической формуле:

$$a_{2n} = 22.7 \cdot K$$

Б. Определение содержания в грунте песчаных частиц $d = (2 - 0.05)$ мм

1. В мензурку емкостью 100 см^3 насыпают с уплотнением 10 см^3 грунта, прошедшего через сито $d = 0.5$ мм.
2. Грунт в мензурке разрыхляют, наливают 100 см^3 воды, содержимое размешивают стеклянной палочкой и затем отстаивают его в течение 90 с.
3. Через 90 с. суспензию в объеме $70\text{--}75 \text{ см}^3$ сливают в мерный сосуд.
4. Отмучивание в мензурке проводится $5\text{--}8$ раз, пока вода на сливаемую высоту, по истечении 90 с. не станет прозрачной.
5. Для контроля чистоты отмучивания в мензурку наливают воду до уровня 30 см^3 , взмучивают и через 30 с. сливают весь слой жидкости, находящейся над осадком. Взмучивание со сливом проводят до тех пор, пока осадок не будет содержать взвешенные частицы.
6. Доливают в мензурку воды до 100 см^3 и после отстоя определяют объем песчаных частиц (V_n).
7. Вычисляют его процентное содержание (a_n), принимая, что 1 см^3 осевших песчаных частиц соответствует 10% .

В. Определение содержания пылеватой фракции $d = (0.05 - 0.005) \text{ мм}$

Процентное содержание пылеватой фракции ($a_{\text{пыл}}$) вычисляют по разности между 100% и суммой процентного содержания песчаной и глинистой фракции.

Данные сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты определения песчаной, пылеватой и глинистой фракций полевым методом.

№ образца грунта	Первоначальный объем грунта, см ³ (V_0)	Объем набухшего грунта, см ³ (V)	Приращение объема грунта, см ³ (K)	Объем песка, осевшего в мензурке после отмучивания, см ³ (V_n)	Содержание фракций, %		
					глинистая	песчаная	пылеватая
1	2	3	4	5	6	7	8

Г. Оформление журнала гранулометрического состава

Журнал оформляется в виде таблицы 3 с использованием данных ситового анализа и данных, полученных по методу Рутковского.

Для наглядности и анализа на кривой гранулометрического состава (рис.1) выделяем зоны состава фракций (глинистые, пылеватые, песчаные, гравийные) и достраиваем кривую гранулометрического состава в зоне глинистых и пылеватых фракций.

Таблица 3 – Результаты определения гранулометрического состава грунтов.

Результаты ситового анализа (содержание фракции, %)					Результаты анализа по методу Рутковского						Гранулометрический состав грунта, %							
>2 мм	2-0.5 мм	0.5-0.25 мм	0.25-0.1 мм	<0.1 мм	Песок		Глина				Содержание пыли в грунте, %	Гравий	Песок				Пыль	Глина
					Объем осадка после отмучивания, см ³	Содержание в грунте, %	Объем набухшего грунта, см ³	Прирост объема на 1 см ³	Содержание в грунте, %	> 2 мм			2-0.5 мм	0.5--0.25 мм	0.25-0.1 мм	0.1-0.05 мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	

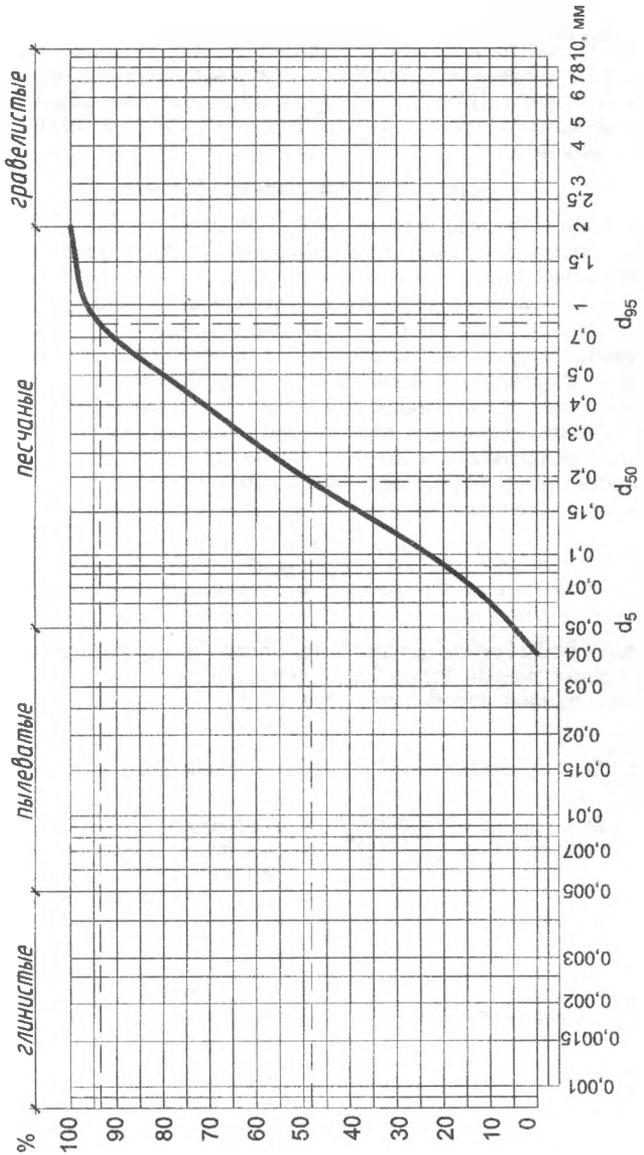


Рисунок 1 – Суммарная кривая гранулометрического состава

Лабораторная работа № 3

Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы (ГОСТ 5180-84)

Влажностью грунта называют отношение массы воды, удаленной из грунта при его высушивании до постоянной массы при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, к массе сухого грунта. Влажность грунта является важнейшей характеристикой физического состояния грунта. Влажность выражается в процентах либо в долях единицы.

Порядок выполнения работы

1. Взвешивают пронумерованный бюкс с крышкой (m_1 , г).
2. В бюкс помещают пробу грунта массой 15-20 г, закрывают крышкой и взвешивают (m_2 , г).
3. Сняв крышку, бюкс помещают в нагретый сушильный шкаф, где грунт высушивают до постоянной массы при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$. Песчаные грунты высушивают в течение 3 ч., а остальные – в течение 5 ч., после чего производят взвешивание (m_3 , г). Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1 ч., остальных – в течение 2 ч. Высушивание производят до получения разности масс грунта с бюксом при двух последующих взвешиваниях не более 0.02 г.
4. Влажность грунта в % вычисляют по формуле:

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100.$$

Для каждой пробы грунта делают 2 параллельных определения. Расхождение между определениями более 2% не допускается.

Полученные данные записываем в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты определения влажности грунта

№ стаканчика	Масса пустого бюкса, г (m_1)	Масса бюкса с влажным грунтом, г (m_2)	Масса бюкса с сухим грунтом, г (m_3)	Влажность, %	
				Опытные данные, w	Среднее значение, w_{cp}
1	2	3	4	5	6

1. Определяется среднее значение влажности, w_{cp} .

$$w_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{n}$$

где n – количество определений.

Лабораторная работа №4

Определение плотности грунтов (ГОСТ 5180-84)

Плотность грунта равна отношению массы грунта к его объему. Плотность грунта зависит от минералогического состава, пористости, влажности грунта. Максимального значения плотность при данной пористости достигает при полном заполнении пор водой. Изменяется плотность для большинства видов грунтов в пределах от 1.4 г/см^3 до 2.2 г/см^3 . Используется плотность грунта в расчетах оснований, земляных сооружений и для подземных конструкций, а также при установлении объема земляных работ.

Зная плотность грунта, можно найти его удельный вес по формуле:

$$\gamma = \rho \cdot g,$$

где ρ – плотность грунта, г/см^3 ,

g – ускорение свободного падения, равное 9.81 м/с^2 .

Удельный вес выражается в кН/м^3 .

А. Определение плотности грунта методом режущего кольца

Этот метод применяют для связных грунтов, легко поддающихся вырезке, а также песчаных грунтов ненарушенного сложения и естественной влажности.

Порядок выполнения работы

1. Определяют массу (m_1 , г) режущего кольца вместе с крышками.
2. Определяют объем кольца (V , см^3).
3. Зачистив поверхность грунта, устанавливают на ней кольцо режущим краем вниз. Придерживая кольцо рукой, острым ножом вырезают столбик грунта высотой 5–10 мм и диаметром на 1–2 мм больше наружного диаметра кольца. По мере срезания грунта, легким нажимом на верхний край насыщают кольцо на столбик грунта, не допуская перекосов. Операция вырезания столбика грунта и погружения кольца в грунт продолжается до полного заполнения кольца. При пластичном или сыпучем грунте кольцо плавно, без перекосов, вдавливают в него и удаляют грунт вокруг кольца.
4. После заполнения кольца грунт, выступающий сверху, срезают вровень с краями кольца и накрывают крышкой. Поддерживая кольцо рукой, подрезают грунт на 8–10 мм ниже режущего края кольца и отделяют его. Затем производят зачистку нижней поверхности и закрывают кольцо второй крышкой.
5. Кольцо с грунтом и крышками взвешивают (m_2 , г).
6. Определяют плотность грунта по формуле:

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

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Расхождение в результатах параллельных определений более 0.03 г/см^3 не допускается.

Полученные данные сводим в таблицу 5 и определяем среднее значение плотности грунта по формуле:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n},$$

где n – количество определений.

Таблица 5 – Результаты определения плотности грунта

№ опыта	№ кольца	Масса кольца, г		Объем кольца V, см ³	Плотность грунта ρ_n , г/см ³	Среднее значение плотности ρ , г/см ³
		пустого с крышками, m_1	с крышками и грунтом, m_2			
1	2	3	4	5	6	7

Б. Определение плотности грунта методом взвешивания в воде

Метод взвешивания в воде (парафинирования) применяют для связных грунтов, трудно поддающихся вырезке или склонных к крошению.

Порядок выполнения работы

1. Берут кусочек грунта объемом не менее 50 см³ и, удалив по возможности при помощи ножа выступающие острые части и обвязав его тонкой нитью длиной 15-20 см, взвешивают на технических весах (m , г).
2. После взвешивания образец опускают на 1-2 с. в расплавленный парафин с температурой 57-60°. Так, повторными погружениями наращивают парафиновую оболочку до толщины 1-1.5 мм. При этом необходимо следить, чтобы в парафине не оставалось пузырьков воздуха.
3. Взвешивают охлажденный запарафинированный образец (m_1 , г).
4. Подвесив запарафинированный образец грунта на крючок коромысла весов, погружают его в сосуд с чистой водой, установленный на подставке, и взвешивают (m_2 , г) (рис.2). При этом образец не должен касаться дна и стенок сосуда.
5. Взвешенный образец вынимают из воды, промокают фильтрованной бумагой и взвешивают для проверки герметичности оболочки. При увеличении массы образца более чем на 0.02 г по сравнению с первоначальной, образец бракуется и испытание повторяется с другим образцом.
6. Плотность грунта вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_n \cdot \rho_w}{\rho_n \cdot (m_1 - m_2) - \rho_w \cdot (m_1 - m)}$$

где ρ_n – плотность парафина, принимаемая равной 0.90 г/см³;
 ρ_w – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

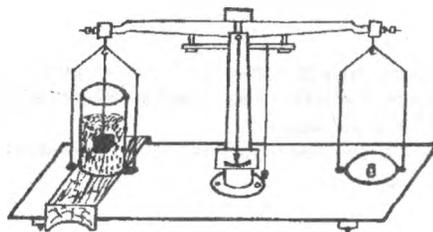


Рисунок 2 – Взвешивание в воде запарафинированного образца грунта

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Расхождение в результатах в этом случае не должно превышать 0.03 г/см^3 .

Данные определений сводим в табл.6 и определяем среднее значение плотности грунта.

Таблица 6 – Результаты определения плотности грунта.

№ опыта	Масса, г				Объем, см ³			Плотность грунта, г/см ³	Среднее значение плотности р, г/см ³
	образца грунта, m	образца грунта с парафином, m ₁	парафина, m ₁ - m	запарафинир. образца в воде, m ₂	образца грунта с парафином, V ₁	парафиновой оболочки, V _n	образца грунта, V		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Лабораторная работа № 5

Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом (ГОСТ 5180-84)

Плотность частиц грунта определяется отношением массы частиц грунта к их объему.

Плотность частиц грунта обуславливается только минералогическим составом и изменяется в пределах $2.4 \dots 2.8 \text{ г/см}^3$. Для ориентировочных расчетов можно принимать плотность частиц грунта равной 2.66 г/см^3 ; суглинков – 2.71 г/см^3 , глин – 2.74 г/см^3 .

Определяется плотность частиц грунта с помощью мерных сосудов (пикнометров), емкостью не менее 100 см^3 . Определив плотность частиц грунта, можно найти удельный вес частиц грунта (кН/м^3):

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g,$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3 ;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Порядок выполнения работы

1. Из приготовленного воздушно-сухого грунта берут навеску из расчета 15 г на каждые 100 мл емкости пикнометра.
2. Пикнометр, наполненный на $1/3$ объема дистиллированной водой, взвешивают (m_1 , г). Затем через воронку всыпают в него отобранную навеску грунта и снова взвешивают (m_2 , г).
3. Пикнометр с водой и грунтом взбалтывают и ставят кипятить на песчаную баню. Продолжительность спокойного кипячения (с момента начала кипения) для песков и супесей должна составлять 30 минут.
4. После кипячения пикнометр слегка охлаждают и доливают до риски на горлышке дистиллированную воду, а затем охлаждают до комнатной температуры, поместив его в небольшой сосуд с водой.

5. Поправляют положение мениска путем добавки в пикнометр нескольких капель дистиллированной воды. Низ мениска должен совпадать с мерной риской на пикнометре.
6. Пикнометр тщательно обтирают снаружи и шейку внутри (при помощи куска свернутой в трубочку фильтрованной бумаги), после чего взвешивают (m_3 , г).
7. Выливают содержимое пикнометра, его ополаскивают и наливают в него до того же уровня дистиллированную воду, имеющую температуру суспензии, и взвешивают (m_4 , г).
8. Определяют массу сухого грунта по формуле:

$$m_0 = \frac{m_2 - m_1}{1 + w_2},$$

где w_2 – гигроскопическая влажность, принимаемая равной 0.01...0.02.

9. Определяют плотность частиц грунта по формуле:

$$\rho_s = \frac{m_0 \cdot \rho_w}{m_0 + m_4 - m_3},$$

где ρ_w – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

10. Для каждого образца грунта производят два параллельных определения плотности частиц грунта. Расхождение между результатами определений более чем на 0.02 г/см³ не допускается. За плотность частиц грунта принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений, выраженное с точностью до 0.01 г/см³.

Данные опытов заносят в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты определения плотности частиц грунта

№ опыта	Масса, г					Плотность частиц грунта, г/см ³ ρ_{si}	Среднее значение плотности частиц ρ_s , г/см ³
	Пикнометра с водой, m_1	Пикнометра с водой и грунтом, m_2	Пикнометра с водой и грунтом до черты, m_3	Пикнометра с водой до черты, m_4	Сухого грунта, m_0		
1	2	3	4	5	6	7	8

Лабораторная работа № 6

Определение плотности сухого грунта, пористости, коэффициента пористости и степени влажности

Плотностью сухого грунта называется отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к его объему (включая имеющиеся в грунте поры).

Плотность сухого грунта вычисляют по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01 \cdot w},$$

где ρ – плотность грунта, г/см³; w – влажность грунта, %.

Пористостью грунта называется отношение объема пор к общему объему грунта. Пористость определяется по формулам:

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s},$$

или

$$n = 1 - \frac{\rho}{(1 + 0.01 \cdot w) \cdot \rho_s},$$

где ρ – плотность грунта, г/см³;

ρ_d – плотность сухого грунта, г/см³;

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³;

w – влажность грунта, %.

Коэффициентом пористости называется отношение объема пор к объему твердых частиц (скелета) грунта. Коэффициент пористости определяется по формулам:

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

или

$$e = \frac{n}{1 - n}.$$

Песчаные грунты по плотности их сложения разделяют, в зависимости от коэффициента пористости по табл. А2 Приложения А, на плотные, средней плотности и рыхлые.

Степень влажности грунта характеризует долю заполнения пор водой.

Степень влажности вычисляется по формуле:

$$S_r = \frac{w \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w},$$

где ρ – плотность воды, г/см³;

w – весовая влажность, в долях единицы.

В зависимости от степени влажности песчаные грунты по табл. А3 Приложения А, разделяются на маловлажные, влажные и насыщенные водой.

Полученные показатели песчаных грунтов применяются для классификации грунтов той или иной категории, чтобы предусмотреть в самых общих чертах поведение грунтов при возведении на них сооружений и выбрать условное расчетное сопротивление грунта основания для назначения предварительных размеров фундаментов.

Лабораторная работа № 7

Определение полной влагоемкости грунта Порядок выполнения работы

1. В предварительно взвешенный стеклянный или металлический стакан объемом около 200 см³ и массой m_1 насыпают с легкой утрямбовкой воздушно – сухой испытуемый грунт.
2. Насыщают грунт в стакане водой до появления на поверхности грунта тонкой пленки воды и взвешивают, m_2 .
3. Высушивают испытуемый грунт в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ до постоянной массы m_3 .
4. Результаты исследований записывают в журнал, табл.8.
5. Вычисляют полную влагоемкость по формуле:

$$W_{\text{Sat}} = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100\%.$$

Таблица 8 – Результаты определения полной влагоемкости грунта

№ опыта	Масса пустого стакана, г (m_1)	Масса стакана с водонасыщенным грунтом, г (m_2)	Масса стакана с сухим грунтом, г (m_3)	Влагоемкость, % (W_{Sat})
1	2	3	4	5

Лабораторная работа № 8

Определение оптимальной влажности и плотности сухого грунта методом стандартного уплотнения

Оптимальной называется такая влажность грунта, при которой достигается заданное его стандартное уплотнение при наименьшей затрате уплотняющей работы.

При оптимальной влажности можно достичь наибольшего уплотнения, поскольку в этом случае комки грунта разрушаются относительно легко. Частицы грунта, имея на контактах смазку в виде пленок воды, смещаются друг относительно друга и более компактно располагаются в объеме грунта. При оптимальной влажности часть порового объема заполнена воздухом, который сжимается и не препятствует уплотнению.

Оптимальная влажность зависит от состава грунта, характера уплотняющего воздействия, его интенсивности и количества затраченной на уплотнение работы. Например, оптимальная влажность супесей составляет 9-15%, суглинков – 15-22% и т. д. Чем интенсивнее уплотняющее воздействие (например, больше вес катка), тем ниже оптимальная влажность.

Строительные нормы требуют, чтобы уплотнение грунтов при укладке в тело насыпи автодороги производилось при оптимальной влажности. Если влажность ниже оптимальной, приходится прибегать к искусственному увлажнению грунта.

Показателем степени уплотненности грунта служит величина плотности сухого грунта. Пробы грунта различной влажности уплотняются определенным

образом в специальном приборе стандартного уплотнения. Определяется плотность полученных образцов грунта, а затем вычисляется плотность сухого грунта (ρ_d). По вычисленным значениям строится график зависимости

$$\rho_d = f(w),$$

где w – влажность грунта.

По данному графику определяется оптимальная влажность $W_{\text{опт}}$.

Для определения оптимальной влажности и плотности сухого грунта используется прибор стандартного уплотнения, рис. 3.

Прибор состоит из двух полых, соединенных друг с другом металлических цилиндров: рабочего (разъемного) 2 и вспомогательного 3. Сечение цилиндров одинаково. Разъемный цилиндр закреплен в поддоне 7 зажимными винтами 8. Для уплотнения грунта, который закладывается в цилиндры, используется трамбовка 6, которая сбрасывается по направляющей штанге 5 с высоты h и ударяет по пуансону 4. Благодаря разъемной конструкции рабочего цилиндра помещенный образец грунта может быть легко извлечен из него для последующего взвешивания.

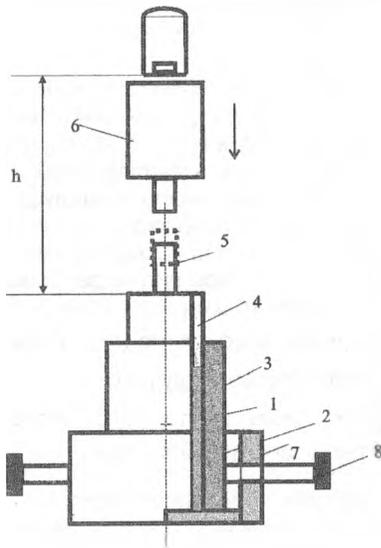


Рисунок 3 – Прибор стандартного уплотнения грунта

Порядок выполнения работы

1. Берется навеска воздушно-сухого грунта m_z , гигроскопическая влажность которого w_z известна ($w_z = 1.8\%$) с таким расчетом, чтобы масса абсолютно сухого грунта m_d составляла 2500 г. Тогда

$$m_z = m_d \cdot (1 + 0.01 \cdot w_z) = 2500 \cdot (1 + 0.018) = 2545 \text{ г}$$

2. Определяется количество воды v_w , которое необходимо добавить к исходной навеске грунта для получения следующих влажностей: 4, 6, 8, 10, 12 и 14 % по формуле:

$$V_w = 2500 \cdot (w_i - w_s) \cdot 0.01,$$

где w_i - заданная влажность;

$$m_{w_i} = m_d \cdot (1 + 0.01 \cdot w_i) = 2500 \cdot (1 + 0.01 \cdot w_i);$$

$$m_s = m_d \cdot (1 + 0.01 \cdot w_s) = 2500 \cdot (1 + 0.01 \cdot w_s).$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 9.

3. Грунт (в воздушно-сухом состоянии массой 2,5 кг) высыпается в ёмкость объёмом не менее 5 литров, мензуркой отмеряется количество воды, необходимые для получения заданных значений влажности (от 4 % до 14%). Всего проводится последовательно 6 испытаний по стандартной методике с использованием прибора уплотнения. Грунт тщательно перемешивается с водой до получения однородной массы.
4. Уплотнение грунта каждой пробы должно выполняться путём последовательного трамбования трёх слоёв:
- подготовленную пробу грунта переносят из емкости и слоями загружают в цилиндр прибора, где каждый слой должен иметь высоту 5–6 см и уплотняться 40 ударами гири (массой 2,5 кг) и высоты 300 мм при этом направляющий стержень необходимо удерживать в вертикальном положении. Перед загрузкой второго и третьего слоёв поверхность предыдущего взрыхляют ножом на глубину 1-2 мм. Перед укладкой третьего слоя на цилиндр надевают насадку;
 - после уплотнения третьего слоя насадку снимают и срезают выступающую часть образца вровень с торцом цилиндра. Толщина слоя срезаемого грунта не должна быть более 10 мм;
 - определяют (взвешивают) массу грунта (m_2) после уплотнения с погрешностью до 1 г и рассчитывают плотность грунта с погрешностью до 0,01 г/см³ (ρ). Вычисляют плотность сухого грунта (ρ_d) после уплотнения по формуле $\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 \cdot w}$, результат заносится в таблицу 9;
 - после взвешивания грунт отправляют обратно в ёмкость для последующего повышения влажности и последующего испытания.
5. Испытания по определению максимальной плотности сухого грунта следует считать законченными тогда, когда с повышением влажности пробы при последующих двух, трёх испытаниях на уплотнение происходит последовательные уменьшения значений плотности уплотнённых образцов грунта или когда грунт перестаёт уплотняться и при ударах гири (груза) вода начинает выжиматься из цилиндра. Результаты определения по полученным значениям в ходе испытаний записываются в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты определения оптимальной влажности

Влажность грунта, $w(\%)$	Масса воды в образце, m_w (г/см ³)	Объем добавляемой воды, V_w (см ³)	Масса образца после уплотнения, m_2 (г)	Объем цилиндра, v (см ³)	Плотность грунта после уплотнения, ρ (г/см ³)	Плотность сухого грунта, ρ_s (г/см ³)
1	2	3	4	5	6	7

6. По полученным данным строится график зависимости $\rho_d=f(w)$ при уплотнении для следующих влажностей - 6, 8, 10, 12 и 14 % (рис. 4)
7. По графику определяется оптимальная влажность w_{opt} грунта, как ордината точки, соответствующая перегибу кривой.

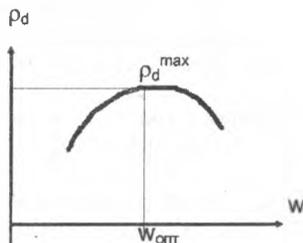


Рисунок 4 – График зависимости плотности сухого грунта от влажности при стандартном уплотнении

8. Если при построении графика кривая зависимости получается без заметного пика, что может иметь место для песчаных и гравийных грунтов, то за $\rho_{d \max}$ следует принимать достигнутую максимальную плотность сухого грунта, а за w_{opt} – наименьшее значение влажности, при которой достигнуто максимальное значение $\rho_{d \max}$.

Лабораторная работа № 9

Определение высоты капиллярного поднятия воды в трубке

Под капиллярными свойствами грунтов понимают высоту и скорость капиллярного поднятия в них воды.

Высота и скорость капиллярного поднятия воды в грунтах зависит от их гранулометрического состава. Чем мельче частицы грунта, тем меньше его поры и тем больше высота капиллярного поднятия. Скорость капиллярного поднятия воды, наоборот, больше в крупнозернистых грунтах и меньше в мелкозернистых.

Высота капиллярного поднятия воды зависит от вида грунтов и составляет:

- В крупнозернистых песках - 3,5 ÷ 12 см;
- В среднезернистых песках - 12 ÷ 35 см;
- В мелкозернистых песках - 35 ÷ 120 см;
- В супесях - 120 ÷ 350 см.

Определение капиллярных свойств имеет большое практическое значение при проектировании дорог на пучинистых грунтах.

Порядок выполнения работы

1. Исследуемый грунт высушивают до воздушно-сухого состояния.
2. Обвязывают нижний конец стеклянной трубки диаметром 2-3 см и высотой 0,5 - 1 см марлей.

3. Через воронку наполняют стеклянную трубку исследуемым грунтом, слегка утрамбовывая последний легким постукиванием по трубке резиновым пестиком.
4. Наполненную исследуемым грунтом трубку опускают нижним концом в воду на 0.5-1 см, предварительно укрепив ее в штативе. Указанный уровень воды поддерживают постоянным в течение всего опыта.
5. Зафиксировав время погружения трубки в воду, следят за скоростью поднятия воды по изменению окраски грунта вследствие его увлажнения.
6. Положение уровня поднятия воды h_k отмечают в течение 5, 10, 20, 30 минут, а затем через 1 час. Отсчет берут от поверхности воды в мм.
7. Опытные данные записывают в таблицу 10.
8. По полученным результатам строят график зависимости $h_k = f(t)$, рис.5.
9. Анализируя график, делаются соответствующие выводы.

Таблица 10 – Результаты определения капиллярных свойств грунтов

Время от начала опыта, t (мин.)	Высота капиллярного поднятия, h_k (мм)
1	2

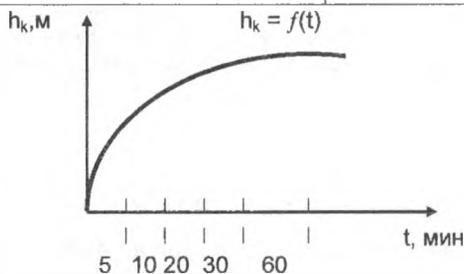


Рисунок 5 – График зависимости капиллярного поднятия

Лабораторная работа № 10

Определение коэффициента фильтрации грунтов

Водопроницаемостью грунтов называют способность грунтов пропускать сквозь себя воду. Она характеризуется коэффициентом фильтрации K_f , обычно измеряемым в см/с и м/сут. Коэффициент фильтрации используется при определении притока воды в строительные котлованы, горные выработки, при расчете утечек воды из водохранилищ, при проектировании дренажных сооружений и фильтров, также в ряде других расчетов.

Лабораторные определения коэффициента фильтрации характеризуют водопроницаемость отдельных точек водоносного слоя. При этом более близкую к естественным условиям картину дают определения на образцах с ненарушенной структурой. Коэффициент фильтрации зависит от гранулометрического состава, степени плотности грунта, температуры и др.

А. Определение коэффициента фильтрации песков в приборе «КФ»

Прибор предназначен для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов с нарушенной и ненарушенной структурой при переменных напорных градиентах от 0 до 1. Прибор состоит из фильтрационной трубки, корпуса с крышкой и специального винтового телескопического приспособления, позволяющего насыщать грунт и регулировать напор воды. Фильтрационная трубка (рис. 6) состоит из основного металлического цилиндра 5 с заостренным краем, дна 6, которое надевается на нижнюю часть цилиндра и сетки 7, вставляемой в дно. На верхней части цилиндра устанавливается муфта 2 с сеткой 4 и со стеклянным баллоном 1 (Мариоттовым сосудом), на одной стороне которого нанесена шкала. Телескопическое приспособление состоит из подставки 11, винта 8, планки 4. На планке 4 нанесены деления напорного градиента от 0 до 1 с ценой деления 0.02.

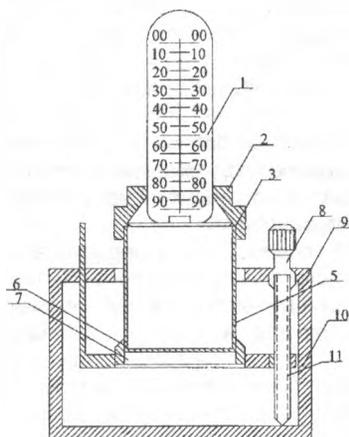


Рисунок 6 – Конструктивная схема прибора «КФ»

Порядок выполнения работы

1. Из корпуса прибора извлекают фильтрационную трубку. Снимают с нее муфту 2 с сеткой 3 и мерным баллоном 1.
2. При испытании песчаных грунтов нарушенной структуры рекомендуется коэффициент фильтрации определять дважды: при рыхлом и при максимально плотном. Наполнение металлического цилиндра для первого случая производится простым насыпанием грунта до необходимой высоты. Во втором случае наполнение грунтом ведут слоями в 1–2 см с легкой трамбовкой. Для каждого случая производят определение плотности грунта. Если требуется определить коэффициент фильтрации грунтов с ненарушенной структурой, то с цилиндра 5 снимают дно 6 с сеткой 7, и цилиндр в вертикальном положении задавливают непосредственно в грунт.

3. После заполнения цилиндра грунтом в корпус 10 наливают воду и вращением винта 6 поднимают подставку 11 до совмещения отметки на планке 4 напорного градиента 1 с верхним краем крышки 9.
4. На подставку 11 устанавливают фильтрационную трубку с испытуемым грунтом. Вращением винта 8 медленно погружают фильтрационную трубку с грунтом в воду до отметки напорного градиента $J = 0.8$. В таком положении оставляют прибор до момента появления влаги в верхнем торце цилиндра, о чем судят по изменившемуся цвету грунта.
5. Помещают на грунт сетку 3, одевают на трубку муфту 2 и вращением винта 8 опускают фильтрационную трубку в крайнее нижнее положение.
6. Заполняют мерный баллон 2 водой, предварительно измерив ее температуру, зажимают его отверстие большим пальцем, быстро опрокинув, вставляют в муфту фильтрационной трубки так, чтобы горлышко баллона соприкасалось с латунной сеткой. В таком виде мерный баллон автоматически поддерживает над грунтом постоянный уровень воды в 1–2 мм. Как только этот уровень вследствие просачивания воды через грунт понизится, в мерный баллон прорывается пузырек воздуха, и соответствующее количество воды вытекает из него. Этим достигается постоянство напорного градиента. Если в мерный баллон прорываются крупные пузырьки воздуха, это свидетельствует о том, что горлышко баллона отстоит на значительном расстоянии от поверхности грунта. В этом случае необходимо баллон опустить ниже на 1–2 мм и добиться того, чтобы в него равномерно поднимались мелкие пузырьки воздуха.
7. После этого устанавливают планку 4 на градиент $J = 0.6$ и доливают воду в корпус 10 до верхнего края.
8. Отмечают по шкале уровень воды в мерном баллоне, пускают секундомер и по истечении определенного времени t (50–100 с. для среднезернистых грунтов, 250–500 с. для глинистых песков) замечают второй уровень воды в мерном баллоне 1, что дает возможность определить расход воды Q , профильтровавшейся через грунт за время t . Для получения средней величины коэффициента фильтрации повторяют замеры расхода воды при различных положениях уровня воды в мерном баллоне за время t .
9. Опустив цилиндр с грунтом в крайнее нижнее положение, снимают мерный баллон 1, заполняют его водой и вновь вставляют в муфту 2.
10. Устанавливают планку 4 на напорный градиент $J = 0.8$. Далее поступают согласно пункту 8. Так производят определение для любого напорного градиента. Для случая $J = 1.0$ телескопическим приспособлением можно не пользоваться. Тогда фильтрационная трубка ставится на любую ровную поверхность.
11. По данным опыта производят расчет коэффициента фильтрации по формуле:

$$K_{10} = \frac{864 \cdot Q}{t \cdot F \cdot J \cdot r},$$

где K_{10} – коэффициент фильтрации при $t = 10^\circ\text{C}$; Q – расход воды, мл; F – площадь поперечного сечения трубки (25 см^2); t – время, с.; J – напорный градиент; r – температурная поправка, равная $0.7 \pm 0.03t^\circ$, где t° – температура фильтрующейся воды; 864 – переводной коэффициент из $\text{см}^3/\text{с}$ в $\text{м}^3/\text{сут}$.

12. Все данные, полученные в процессе определения коэффициента фильтрации, заносятся в таблицу 11.

Таблица 11 – Результаты испытания грунтов на водопроницаемость

Наименование грунта	Напорный градиент, J	Время фильтрации, t (с)	Объем профильтровавшейся воды, Q (см ³)	Температура воды, t° (град)	Коэффициент фильтрации, k_{10} (м/сут)	Среднее значение, $k_{ср}$ (м/сут)
1	2	3	4	5	6	7

Б. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов в приборе ПКФ-СД

Прибор состоит из следующих основных частей: фильтрационной трубки в сборе, трамбующего устройства, стакана и ванны. Общий вид прибора представлен на рисунке 7.

Фильтрационная трубка включает рабочий цилиндр 1, на котором размещён пьезометр 2. Снизу к цилиндру навинчено перфорированное дно 3 с сеткой 4. После уплотнения грунта фильтрационная трубка устанавливается на подставку 6.

Для проведения опыта по определению коэффициента фильтрации K_f при гидравлическом градиенте $i = 1$, фильтрационная трубка с подставкой помещается в стакан 7. При гидравлическом градиенте $i = 2$, фильтрационная трубка с подставкой устанавливается в ванну 8.

Трамбующее устройство состоит из направляющего стержня 9, наковальни 10, ударника 11 и рукоятки 12.

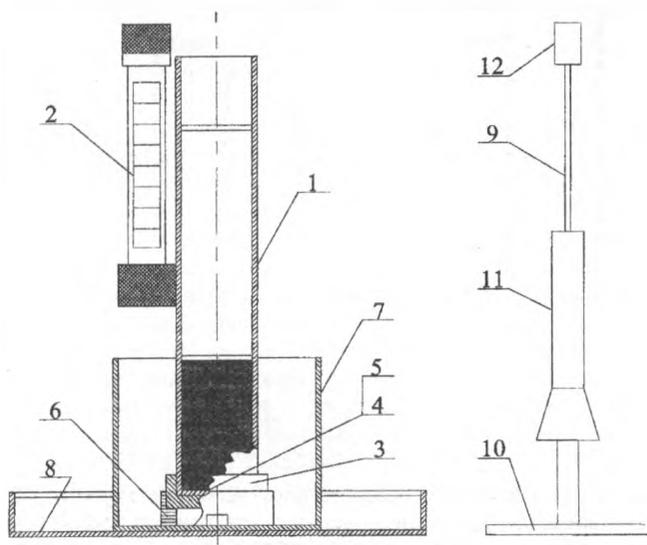


Рисунок 7 – Устройство прибора ПКФ-СД

При подготовке прибора к работе необходимо на рабочий цилиндр (1) навинтить дно (3), на основание которого укладывают металлическую сетку (4), предотвращающую вымывание пылевидных частиц из пробы грунта. Рабочий цилиндр с навинченным дном далее именуется фильтрационной трубкой.

Фильтрационную трубку взвешивают с точностью до 1 г и полученный результат заносят в рабочий журнал таблицы.

Измеряют начальную высоту фильтрационной трубки H_0 , для чего отпускают в неё металлическую линейку до упора в металлическую сетку и фиксируют расстояние от сетки до верхнего торца фильтрационной трубки.

Высушивают подлежащий испытаниям грунт при комнатной температуре. Просеивают его через сито с размером ячейки 5 мм для гравелистых и крупных песков или 2 мм для песков средней крупности, мелких и пылеватых. Из просеянного грунта отбирают навеску массой 450 г.

Затем засыпают в рабочий цилиндр первую навеску (примерно 1/3 объёма цилиндра), вставляют в него трамбовку (масса груза 0,5 кг, высота падения груза 0,3 м) и проводят 25 ударов по уплотняемому грунту.

Замеряют с точностью до 1 мм расстояние от поверхности уплотнённого грунта до верха цилиндра и результаты записывают в табл. 12.

Таблица 12 – Результаты определения коэффициента фильтрации песка

Точка отбора	Масса, г		Высота фильтрации трубки, см		Плотность грунта г/см ³		Время фильтрации, сек		Падение уровня воды в трубке, см	Температура воды, °С		Градиент напора	Коэффициент фильтрации, м/сут	
	Цилиндра	Цилиндра с грунтом	грунта	Между уровнями воды в трубке и стакане,	Над уплотнённым образцом,	Влажного	Сухого	Отдельные замеры		Среднее значение	Отдельные замеры			Среднее значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Взрыхляют поверхность уплотнённого слоя ножом на глубину 1-2 мм и засыпают в рабочий цилиндр вторую навеску, уплотняют, производят замеры и записывают в таблицу. Аналогично поступают с третьей навеской грунта.

После завершения уплотнения грунта рабочий цилиндр с грунтом взвешивают с точностью до 1 г и заносят результаты взвешивания в рабочий журнал.

Остаток грунта сохраняют для последующего определения фактической влажности.

На поверхность уплотнённого грунта в рабочем цилиндре засыпают гравий с размером частиц 2–5 мм таким образом, чтобы толщина слоя гравия составила 5–10 мм.

Затем фильтрационную трубку с уплотнённым грунтом помещают во входящий в комплект прибора металлический стакан (7), высота которого соответствует верхнему уровню грунта в рабочем цилиндре. Заполняют этот стакан водой на 2/3 высоты и выдерживают перед проведением следующей операции в течение 30 минут.

Переносят стакан с помещённой в него фильтрационной трубкой в резервуар с водой ёмкостью 8–10 л и доводят уровень воды в этом резервуаре до высоты на 10–15 мм выше верхней кромки стакана.

Выдерживают стакан в резервуаре с водой до появления зеркала воды над слоем гравия и фиксируют время насыщения грунта водой в рабочем журнале.

Осторожно доливают воду во внутреннюю полость фильтрационной трубки на 1/3 её высоты и переносят прибор вместе с металлическим стаканом в ванну для проведения замеров длительности фильтрации, расположив его таким образом, чтобы нулевая отметка водомерной трубки располагалась на уровне глаз.

Порядок выполнения работы

Доливают во внутреннюю полость фильтрационной трубки воду до уровня, превышающего не менее чем на 0,5 см нулевую отметку водомерной трубки (каждое деление на водомерной трубке соответствует 0,5 см).

Проверяют уровень воды в металлическом стакане и в случае необходимости заполняют его водой доверху.

Устанавливают в металлический стакан термометр для измерения температуры воды в процессе испытаний.

По секундомеру определяют время понижения уровня воды по шкале водомерной трубки от 0 до 5 см для хорошо фильтрующих песков. Для засоренных мелкозернистых песков можно ограничиться отсчётами делений от 0 до 1 см (или 3 см). После первого отсчёта воду снова доливают до нулевой отметки и отсчёты повторяют 3–4 раза. Из 3–4 отсчётов берётся среднее в секундах. Температура воды также замеряется.

В случае если длительность фильтрации превышает 10 минут, градиент напора при проведении испытания необходимо принять равным 2. Для этого фильтрационную трубку вместе с подставкой необходимо извлечь из металлического стакана и установить её в ванну без стакана.

Измерение длительности фильтрации при выбранных уровнях падения воды и градиенте напора следует провести не менее 2-х раз, рассчитав после этого среднее значение.

В случае, если один из результатов отличается от среднего значения более чем на 10 %, следует провести еще одно измерение и рассчитать среднее значение без учёта выпадающего результата.

Коэффициент фильтрации рассчитывают по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{864 \cdot L \cdot \phi}{t(0,7 + 0,03T_{\phi})}, \text{ м/сут,}$$

где L – высота фильтрующего слоя песка, определяемая как разность между общей высотой фильтрационной трубки H_0 , расстоянием от верхнего торца трубки до поверхности грунта h_3 , см;

t – среднее значение фильтрации, сек;

T_{ϕ} – температура воды, °C;

ϕ – значение функции падения уровня воды, определяемой по табл.

13, в зависимости от отношения S/H_0 ;

S – падение уровня воды в водомерной трубке, см;

H_0 – высота первоначального напора воды в приборе от его дна до нулевого деления водомерной трубки, равная 10 для градиента напора 1 или 20 для градиента напора 2.

Таблица 13 – Зависимость величины падения уровня воды от первоначального напора

S/H_0	$\phi(S/H_0)$	S/H_0	$\phi(S/H_0)$	S/H_0	$\phi(S/H_0)$	S/H_0	$\phi(S/H_0)$
0,01	0,010	0,26	0,301	0,51	0,713	0,76	1,427
0,02	0,020	0,27	0,315	0,52	0,734	0,77	1,470
0,03	0,030	0,28	0,329	0,53	0,755	0,78	1,514
0,04	0,040	0,29	0,346	0,54	0,777	0,79	1,561
0,05	0,051	0,30	0,357	0,55	0,799	0,80	1,609
0,06	0,062	0,31	0,371	0,56	0,821	0,81	1,661
0,07	0,073	0,32	0,385	0,57	0,844	0,82	1,715
0,08	0,083	0,33	0,400	0,58	0,863	0,83	1,771
0,09	0,094	0,34	0,416	0,59	0,892	0,84	1,838
0,10	0,105	0,35	0,431	0,60	0,916	0,85	1,897
0,11	0,117	0,36	0,446	0,61	0,941	0,86	1,966
0,12	0,128	0,37	0,462	0,62	0,957	0,87	2,040
0,13	0,139	0,38	0,478	0,63	0,994	0,88	2,120
0,14	0,151	0,39	0,494	0,64	1,022	0,89	2,207
0,15	0,163	0,40	0,510	0,65	1,050	0,90	2,303
0,16	0,174	0,41	0,527	0,66	1,079	0,91	2,408
0,17	0,186	0,42	0,545	0,67	1,109	0,92	2,526
0,18	0,196	0,43	0,562	0,68	1,139	0,93	2,659
0,19	0,210	0,44	0,580	0,69	1,172	0,94	2,813
0,20	0,223	0,45	0,593	0,70	1,204	0,95	2,996
0,21	0,236	0,46	0,616	0,71	1,238	0,96	3,219
0,22	0,248	0,47	0,635	0,72	1,273	0,97	3,507
0,23	0,261	0,48	0,654	0,73	1,309	0,98	3,912
0,24	0,274	0,49	0,673	0,74	1,347	0,99	4,605
0,25	0,288	0,50	0,693	0,75	1,386		

Заносят полученное значение K_{ϕ} в табл.12 с округлением результатов до 0,1 м/сут, если величина коэффициента фильтрации составляет менее 5 м/сут, и округлением результатов до целых чисел, если коэффициент фильтрации более 5 м/сут.

Определяют плотность грунта, разделив массу грунта на фактический объём образца, вычисляемый по формуле:

$$V_{\varphi} = (H_0 - H_3) \cdot F, \text{ см}^3;$$

где H_0 – общая высота фильтрационной трубки, см;

H_3 – расстояние от верхнего торца трубки до поверхности грунта, см;

F – площадь внутреннего сечения трубки, см^2 .

Рассчитывают плотность сухого грунта по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 \cdot w_{\phi}}, \text{ г/см}^3,$$

где ρ – плотность грунта, г/см^3 ;

w_{ϕ} – фактическая влажность, %.

Лабораторная работа № 11

Определение угла естественного откоса песчаных грунтов

Углом естественного откоса называется угол между горизонталью и поверхностью наиболее крутого свободного откоса песчаного грунта, при котором он сохраняет равновесие.

Значение угла естественного откоса для сухих и водонасыщенных песков врыхлом состоянии практически совпадает с углом внутреннего трения, но определяется значительно позже последнего.

Угол естественного откоса сыпучего грунта является одной из расчетных характеристик при проектировании многих земляных сооружений.

Угол естественного откоса определяют в воздушно – сухом состоянии и водонасыщенном (под водой).

Для определения угла естественного откоса песчаных грунтов служит прибор, который состоит из круглой перфорированной подставки с вертикальной стойкой в центре, на которую нанесена шкала в градусах, и полого корпуса в виде усеченного конуса.

А. Определение угла естественного откоса песчаного грунта в воздушно-сухом состоянии

Порядок выполнения работы

1. Собрать прибор, установить в стеклянную чашку и постепенно заполнить песком до краев корпуса. Избыток песка удалить с помощью линейки.
2. Коническую часть прибора плавно, без толчков и сотрясений, приподнять на 1-2 мм над подставкой так, чтобы песок очень медленно высыпался из прибора в стеклянную чашку. После того, как песок перестанет осыпаться, конус приподнять вверх и снять с прибора.
3. Оставшийся на подставке песок образует конус с минимальным углом естественного откоса для данного песка. Значение угла естественного откоса определяют по шкале на стойке прибора.

- Опыт повторить трижды. Расхождение в определении угла естественного откоса между повторными определениями не должно превышать 1°. Результаты занести в таблицу 14.
- Вычислить среднее значение угла естественного откоса воздушно-сухого песчаного грунта.

Б. Определение угла естественного откоса водонасыщенного песка (под водой)

- Прибор установить в стеклянную чашку и заполнить воздушно-сухим песком.
- Осторожно наполнить стеклянную чашку водой так, чтобы она лишь на 2–3 мм не доходила до верха прибора. После насыщения песка водой через перфорированную подставку, что видно по изменению цвета песка, опыт продолжить в соответствии с п.п. 2-5 первой части работы.
- Результаты определения заносим в таблицу 14.
- Определяется среднее значение угла естественного откоса по формуле:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n},$$

где $n \geq 2$ – количество опытов.

Таблица 14 – Результаты определения угла естественного откоса

Воздушно – сухой песок		Водонасыщенный песок	
№ опыта	Угол в градусах	№ опыта	Угол в градусах
1	2	3	4

Лабораторная работа № 12

Определение пластичности глинистых грунтов (ГОСТ 5180-84)

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

Характеристики пластичности пылевато-глинистых грунтов - это влажности на границе текучести w_l и раскатывания w_p , а также число пластичности J_p и показатель текучести J_l .

Влажность, при которой грунт находится на границе твердого и пластичного состояний, называют границей раскатывания (пластичности) - w_p .

Влажность, при которой грунт находится на границе пластичного и текучего состояний, называют границей текучести - w_l .

Разность между влажностями на пределе текучести и раскатывания, выраженная в процентах или долях единицы, называется числом пластичности

$$J_p = W_l - W_p.$$

Пылевато-глинистые грунты подразделяются по числу пластичности в соответствии с табл.А4, приложения А, на супеси, суглинки и глины.

По величинам характерных влажностей w_p и w_l и естественной влажности w можно оценить консистенцию грунта, т.е. степень подвижности слагающих грунт частиц при механическом воздействии, характеризуемой величиной показателя текучести – J_l :

$$J_l = \frac{w - w_p}{w_l - w_p}.$$

По показателю текучести пылевато-глинистые грунты подразделяются по табл. А5, приложения А, на группы от твердых до текучих.

Характеристики W_p , W_l и J_p являются косвенными показателями состава (гранулометрического и минералогического) пылевато-глинистых грунтов. Более высокие значения этих характеристик свойственны грунтам с большим содержанием глинистых частиц, а также грунтам, в минералогический состав которых входит монтмориллонит.

Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо выделять лессовые грунты и илы, а также грунты, проявляющие специфические неблагоприятные свойства при замачивании: просадочные и набухающие.

А. Определение границы текучести

Граница текучести характеризуется как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой балансирный конус под действием собственной массы – 76 г погружается на глубину 10 мм за 5 с, рис. 8.

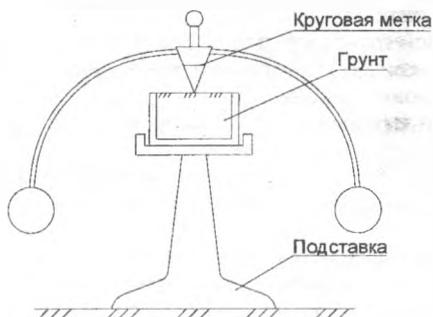


Рисунок 8 – Балансирный конус

Порядок выполнения работы

Из грунта, прошедшего через сито с отверстиями в 1 мм, с добавлением небольшого количества дистиллированной воды приготавливают грунтовую пасту, которую выдерживают в закрытом стеклянном сосуде не менее 2 ч.

Грунтовую пасту тщательно перемешивают в фарфоровых чашках и укладывают с помощью шпателя в стаканчик прибора, заполняя его без оставления пустот. Поверхность пасты сглаживают шпателем в уровень с краями стаканчика.

Подносят к поверхности грунтовой пасты, находящейся в стаканчике, смазанный тонким слоем вазелина конус и, опустив его, дают в течение 5 с. свободно погружаться в пасту под давлением от собственной массы.

Если конус за 5 с. погрузился в пасту до черты, то верхний предел считается достигнутым.

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

Отбирают из испытываемой пасты пробу не менее 15 г и производят определение влажности по ГОСТ 5180-84.

Производят не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах более 2 % не допускается.

Б. Определение границы раскатывания (пластичности)

Границу раскатывания (пластичности) следует определять как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой раскатываемая в жгут паста толщиной 3 мм начинает распадаться на отдельные кусочки длиной 5–10 мм.

Порядок выполнения работы

1. Приготовленную грунтовую пасту, оставшуюся от определения границы текучести, подсушивают до тех пор, пока она при раскатывании не перестанет прилипать к ладоням рук.
2. Из подсушенной грунтовой пасты берут небольшие кусочки и раскатывают их на стекле до образования жгута диаметром около 3 мм и длиной, равной ширине ладони.
3. Если при такой толщине грунтовой жгут начинает крошиться, то считают, что предел раскатывания достигнут.

Если при толщине около 3 мм жгут сохраняет связность и эластичность и не крошится, его переминают руками, а затем вновь раскатывают до указанной толщины.

Если жгут начинает крошиться, не достигнув толщины 3 мм, добавляют несколько капель дистиллированной воды и перемешивают, а затем раскатывают.

4. Отобрав кусочков жгута не менее 10 г в предварительно взвешенный бюкс, определяют его влажность (по ГОСТ 5180-84). Для каждого образца грунта производят не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах более 2 % не допускается.

В. Определение естественной влажности

Естественную влажность определяют весовым методом. Результаты определения влажности на границах текучести и раскатывания и естественной влажности надлежит выражать в %.

За границы текучести и раскатывания и естественной влажности принимается среднее арифметическое результатов параллельных определений. Результаты определений влажности заносим в таблицу 15.

По влажностям границы текучести, границы раскатывания и естественной влажности определяют наименование и состояние пылевато-глинистого грунта и делают заключение по выполняемой работе.

Таблица 15 – Результаты определения пластичности грунта

Показатели пластичности	№№ бюкса	Масса бюкса, г	Масса бюкса с влажным грунтом, г	Масса бюкса с сухим грунтом, г	Влажность, %	
					опытные данные	средний результат
1	2	3	4	5	6	7
W_L						
W_P						
W						

Лабораторная работа № 13

Определение показателей сжимаемости грунта в компрессионном приборе (одометре) (ГОСТ 12248-96)

Сжимаемостью грунтов называют способность их уменьшаться в объеме (давать осадку) под действием внешнего давления.

Степень сжимаемости зависит от структуры грунта и является важной характеристикой механических свойств грунта, которая используется для расчета осадок зданий и различных сооружений.

Сжимаемость грунтов обусловлена изменением их пористости при приложении нагрузки и происходит за счет возникновения взаимных сдвигов частиц, уменьшения толщины водно-коллоидных пленок, отжатия воды в водонасыщенных грунтах и за счет разрушения кристаллизационных связей в сильно структурированных грунтах.

В связи с тем, что сжимаемость грунтов связана с уменьшением его пористости, в механике грунтов принято характеризовать сжимаемость грунта зависимостью коэффициента пористости e от уплотняющего давления P (рис. 9).

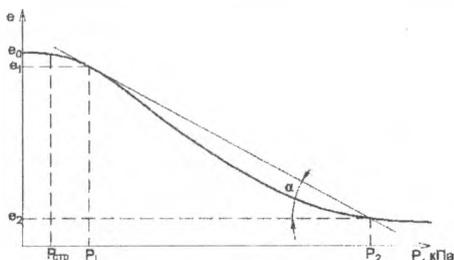


Рисунок 9 – Компрессионная кривая

Эта зависимость называется компрессионной и определяется в лабораторных условиях экспериментально в приборах двух типов:

- одометре (приборе одноосного сжатия с жесткими боковыми стенками обоймы, в которую заключен образец грунта), называемом также компрессионным прибором;
- стабилометре (приборе трехосного сжатия с эластичными боковыми стенками, в которые заключен грунт).

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

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} = m_0,$$

где m_0 – коэффициент сжимаемости грунта, кПа^{-1} .

Для расчета осадок удобнее пользоваться коэффициентом относительной сжимаемости m_v , который равен:

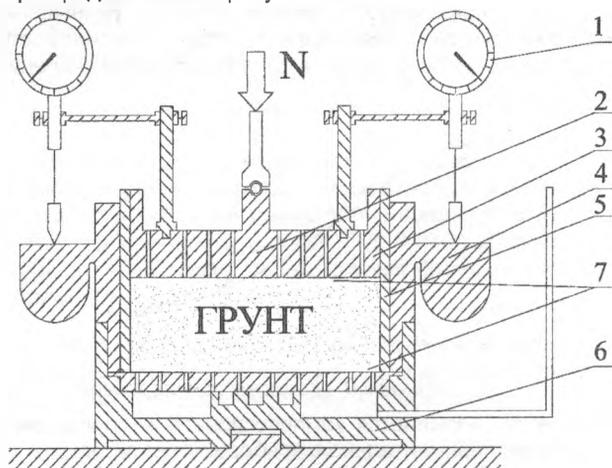
$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0}, \text{кПа}^{-1},$$

где e_0 – начальный коэффициент пористости.

Показатель сжимаемости грунта m_0 (или m_v) необходим для расчета величин осадок зданий или сооружений. Для этих же целей нам нужны и показатели: E_0 (МПа) – модуль общей деформации и ν – коэффициент относительной поперечной деформации. Однако E_0 и ν используются как для расчета деформации оснований, так и при установлении распределения величин реактивных давлений под гибкими фундаментными блоками и плитами.

В одометре можно определить только один показатель – коэффициент сжимаемости m_0 . В стабилометре мы имеем возможность непосредственно определить уже два показателя (m_v и ν или E_0 и ν).

Одометр (компрессионный прибор) предназначен для определения сжимаемости (уплотнения) грунтов под действием заданного вертикального давления при невозможности поперечных (боковых) деформаций. Схематический разрез одометра представлен на рисунке 10.



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

Рисунок 10 – Схема компрессионного прибора (одометра)

Собранный одомер помещается в нагрузочное устройство. Отношение плеч рычажного устройства, передающего нагрузку, 1:10. Высота образца грунта $h = 25$ мм, площадь образца $A = 60 \text{ см}^2 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$. Применение образцов небольшой, по сравнению с диаметром, высоты вызвано стремлением уменьшить по возможности влияние на результаты испытания сил трения, развивающихся по боковой поверхности образца. Кроме того, для еще большего уменьшения сил трения внутреннюю поверхность кольца одомера иногда смазывают маслом или применяют одомеры с фторопластовым покрытием.

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

Порядок выполнения работы

1. Снять одомер со станины нагрузочного устройства и разобрать его.
2. Вырезать режущим кольцом 5 одомера образец из монолита грунта, зачистив торцы образца в уровень с краями кольца, и положить на торцы бумажные фильтры 7.
3. Собрать одомер и установить его на станину нагрузочного устройства, положить шариковый шарнир между штампом и нагрузочной рамой.
4. Закрепить на штампе 2 два индикатора часового типа, проконтролировать расположение тросиков на рычаге нагрузочного устройства и проверить правильность сборки прибора. При легком нажатии на рычаг нагрузочного устройства стрелки индикаторов 1 должны сместиться и при снятии усилия с рычага вновь вернуться в первоначальное положение.
5. Записать начальные отсчеты по индикаторам (по черной шкале) в журнал испытаний (таблица 16).
6. Загрузить подвеску рычага гирями массой 1.27 кг и 1.5 кг (2.3 кг – масса рамы нагрузочного устройства), после чего сразу же пустить в ход секундомер.
7. Записать в журнал испытаний отсчеты по индикаторам (по черной шкале) через 1, 2, 5 и 10 мин, считая от момента приложения нагрузки. Десять минут условно принимаются за время стабилизации деформаций образца. В действительности (ГОСТ 12248-96) за критерий условной стабилизации деформаций грунта при данной ступени давления следует принимать деформацию не более 0.01 мм: для пылеватых и мелких песков – 4 ч; для пылевато-глинистых грунтов – за 16 ч.
8. Догрузить подвеску еще одной гирей массой 3 кг, сразу же включить секундомер и записать в журнал испытаний нарастающим итогом величины отсчетов по индикаторам через те же промежутки времени, что и ранее, считая время с момента увеличения нагрузки.
9. Повторить все операции при суммарной массе на подвеске 12, 18 и 24 кг
10. Вычислить по величинам конечных (условно стабилизированных) осадок образца соответствующие значения коэффициента пористости и за-

писать в журнал испытаний. Значение коэффициента пористости e_i находится по формуле:

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

где e_i – коэффициент пористости при нагрузке P_i ;
 e_0 – начальный коэффициент пористости грунта.

Результаты измерений и вычислений сводим в таблицу 16.

11. Построить компрессионную кривую $e = f(P)$.
12. Вычислить коэффициент сжимаемости m_0 и коэффициент относительной сжимаемости m_v по формулам и для заданного интервала давлений P_2 и P_1 .
13. Для линейного участка вычислить модуль общей деформации:

$$E_0 = \frac{\beta_0}{m_v}, \text{ кПа,}$$

где β_0 – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе и принимаемый для: песков – 0.8; супесей – 0.7; суглинков – 0.5; глин – 0.4.

Таблица 16 – Результаты компрессионных испытаний и вычислений

Масса гирь на подвеске, кг	Главное вертикальное напряжение, кПа	Время от начала приложения нагрузки, мин.	Показания индикаторов, мм			Условно стабилизированная вертикальная деформация		Коэффициент пористости	
			первого	второго	среднее показание	абсолютная, мм	относительная	Приращение по сравнению с начальным	Значение
№	$P = \frac{0,01 \cdot m \cdot g}{A}$	t	r_1	r_2	$r = \frac{r_1 + r_2}{2}$	$S_i = r$	$\varepsilon_i = \frac{S_i}{h_0}$	$\Delta e_i = \varepsilon_i \cdot (1 + e_0)$	$e_i = e_0 - \Delta e_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0							
2.77 и т.д.	50	1							
		2							
		5							
		10							

Лабораторная работа № 14

Определение показателей прочности грунта методом прямого среза образца (ГОСТ 12248-96)

Прочностью грунтов называется их такое состояние, при котором они могут сопротивляться воздействию нагрузок без разрушения. Предел прочности характеризуется такой нагрузкой, незначительное превышение которой вызовет разрушение грунта.

В связи с тем, что прочность связей между частицами в грунтах намного меньше, чем прочность самих частиц, прочность грунтов в целом определяется прочностью и состоянием связей между частицами. Разрушение грунта происходит вследствие возрастания сдвигающих усилий, возникающих между частицами при приложении к грунту нагрузки и разрушающих связи между частицами. Для небольших давлений (до 0.5 МПа) можно считать, что сопротивление грунта сдвигу состоит из двух частей – одной, не зависящей от величины нормального давления, действующего по площадке сдвига, и именуемой удельным сцеплением, и второй, являющейся функцией нормального давления и именуемой трением.

Зависимость между сопротивлением сдвигу и нормальным давлением устанавливается экспериментально.

Предельное сопротивление сдвигу есть функция первой степени от нормального давления (закон Кулона):

- для сыпучих грунтов $\tau \leq \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$;
- для связных грунтов $\tau \leq \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$,

где τ – сопротивление сдвигу, МПа;

σ – нормальное напряжение по площадкам сдвига, МПа;

φ – угол внутреннего трения, град.;

c – удельное сцепление, МПа.

Параметры прочности φ и c используются в задачах, связанных с определением несущей способности оснований сооружений, устойчивости откосов, выемок и земляных сооружений, давления грунтов на подпорные сооружения, устойчивости сводов обрушения подземных выработок, при проектировании механизмов для разрушения грунтов и в ряде других случаев.

Показатели сопротивления грунтов сдвигу определяются различными способами, среди которых можно выделить три группы:

- 1) способы определения сопротивления сдвигу по одной или двум заранее фиксированным плоскостям в сдвиговых приборах;
- 2) способы определения сопротивления сдвигу путем раздавливания при одноосном и трехосном сжатии;
- 3) способ определения сопротивления сдвигу по углу естественного откоса.

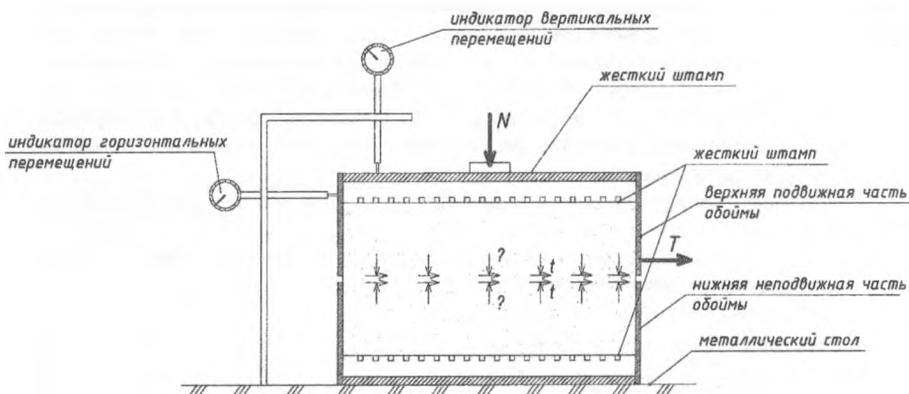
Наибольшее распространение в лабораторной практике получил метод одноплоскостного прямого сдвига.

Различают быстрый сдвиг, когда за время испытания плотность и влажность грунта практически не изменяются (закрытая система), и медленный, когда вода свободно выдавливается из пор грунта (открытая система).

При использовании метода среза образец грунта помещается в обойму, имеющую горизонтальный разрез. По плоскости этого разреза происходит

срез образца, нагруженного заданной вертикальной нагрузкой. При этом считается, что в плоскости разреза при срезе выполняется условие прочности. Таким образом, в этом виде испытания плоскость среза заранее predetermined. Такой вид испытания имеет как свои положительные стороны (простота испытания, простота прибора), так и отрицательные (напряженное состояние образца отличается от того, которое принимается в расчетной схеме; вместо плоскости среза получается некоторая зона, в которой происходит срез, и др.).

Опыт проводится по открытой системе на сдвиговом приборе типа ГПП-30. Схематический разрез прибора представлен на рис. 11.



N – нормальное усилие; T – сдвигающее усилие

Рисунок 11 – Схема срезного прибора

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

Все узлы прибора смонтированы на металлическом столе 1. Срезыватель прибора установлен в средней части плиты стола и состоит из нижней неподвижной 1 и верхней подвижной 2 частей обоймы. Перед загрузкой срезывателя грунтом обоймы скрепляются установочными винтами. На дно нижней обоймы уложен жесткий фильтр, служащий для отвода воды из-под образца грунта при его сжатии. На образец грунта, помещенный в срезыватель, устанавливается жесткий штамп с верхним фильтром, служащий для передачи вертикальной нагрузки непосредственно на образец. Размеры рабочего цилиндра срезывателя следующие: диаметр $d = 71.4$ мм; высота $h = 40$ мм; площадь $A = 40 \text{ см}^2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Соотношение плеч рычажных устройств составляет 1:10.

Порядок выполнения работы

1. С помощью специального кольца из монолита грунта вырезается образец и вдавливаются в рабочий цилиндр, состоящий из нижней и верхней обоймы. Снизу и сверху образца укладываются фильтрованная бумага и жесткие штампы.
2. Раму вертикального нагрузочного устройства устанавливают упорным винтом на штамп, на кронштейне закрепляют индикатор для измерения вертикального перемещения штампа.
3. На подвеску рычага укладывается соответствующий груз N . Обычно давления σ_1 , σ_2 и σ_3 выбираются таким образом, чтобы охватить весь диапазон действующих в основании давлений в зонах, где возможно нарушение прочности грунта. Испытания грунта на сдвиг производим при давлениях $\sigma_1 = 0.1$ МПа, $\sigma_2 = 0.2$ МПа и $\sigma_3 = 0.3$ МПа.
4. Специальными винтами создаем зазор (0.5 - 1.0 мм) между верхней и нижней обоймами.
5. Устанавливаем нулевой отсчет на индикаторе горизонтального перемещения и прикладываем к подвеске сдвигающей системы первую ступень нагрузки. Срезающую нагрузку в каждом опыте прикладывают так, чтобы приращение касательных напряжений $\Delta\tau$ не превышало по абсолютной величине 0.1σ . Таким образом, в первом опыте ступень срезающей нагрузки на подвеске равна 4 Н.
6. После прекращения движения стрелки индикатора, фиксирующего деформации сдвига, записываем отсчет деформации в журнал испытаний.
7. Каждую последующую ступень сдвигающей нагрузки ΔT (в первом опыте очередные 4.0 Н) прикладываем к образцу только после затухания деформаций сдвига от воздействия предыдущей ступени. Наступило ли предельное состояние – срез образца, мы устанавливаем по незатухающей или увеличивающейся скорости горизонтального перемещения верхней обоймы, что определяется по разности между показаниями индикатора, фиксирующего горизонтальные перемещения.
8. После среза образца прибор перезаряжают и производят таким же образом новые опыты, но при давлениях $\sigma_2 = 0.2$ МПа и $\sigma_3 = 0.3$ МПа.
9. Результаты измерений и вычислений сводим в таблицу 17.

Таблица 17 – Результаты испытаний грунтов на срез и вычислений σ и τ .

Вес гирь на подвеске нагрузочного устройства, МН		Напряжение в плоскости среза, МПа		Горизонтальная деформация, мм
вертикальное	горизонтальное	нормальное	сдвигающее	
N	T	$\sigma = 10N/A$	$\tau = 10T/A$	δ
1	2	3	4	5

10. Строим обобщающий график $\tau = f(\sigma)$ (рис.12). График строится в одинаковом масштабе для τ и P , который рекомендуется принять: 5 см = 0.1МПа. По полученным опытным точкам проводится осредненная прямая до пересечения с осью ординат.

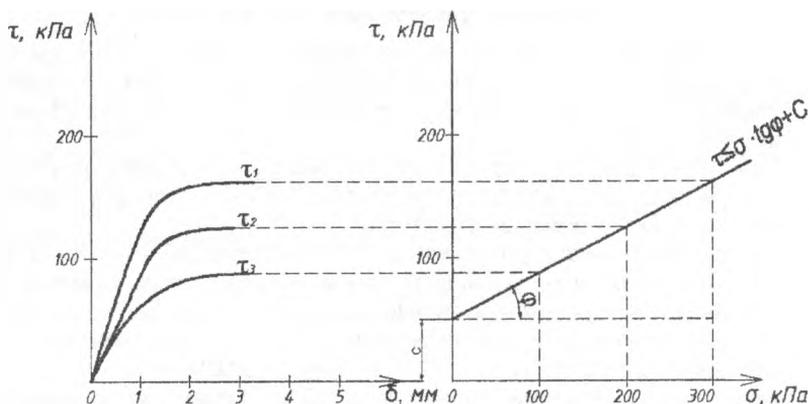


Рисунок 12 – График зависимости сопротивления грунтов сдвигу

11. Определяем нормативные значения φ и C , для чего составляем вспомогательную таблицу 18, а затем производим вычисления по формулам:

Таблица 18 – Таблица для статистической обработки результатов

σ_i , МПа	τ_i , МПа	σ_i^2 , Мпа ²	$\sigma_i \cdot \tau_i$, Мпа ²
0,1			
0,2			
0,3			
Σ			

$$tg\varphi_n = \frac{1}{\Delta} \cdot (n \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_i - \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i);$$

$$C_n = \frac{1}{\Delta} \cdot (\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_i);$$

$$\Delta = n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - (\sum_{i=1}^n \sigma_i)^2;$$

где n – число определений величин τ .

Лабораторная работа № 15

Анализ результатов определения физико-механических характеристик грунтов (ГОСТ 12248-96)

Обобщив результаты, полученные в ходе выполнения лабораторных работ, приступаем к их анализу. Для чего все частные результаты, полученные в ходе проведения опытов, сводим в таблицу 19.

Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов вычисляют для каждого выделенного их вида. За нормативное значение характеристи-

ки принимают среднее арифметическое значение результатов частных определений.

$$X_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

- где n – число определений характеристики ($n \geq 6$);
 X_i – частное значение искомой характеристики;
 X_n – нормативное значение характеристики.

При переходе к расчетному значению учитывается, что среднее значение вследствие неоднородности грунта и ограниченного числа определений (минимальное число определений $n=6$) может содержать ошибку, которая должна быть исключена. Расчетные значения устанавливают для характеристик, используемых в расчетах оснований и фундаментов.

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g},$$

- где X – расчетная характеристика;
 γ_g – коэффициент надёжности по грунту.

$$\gamma_g = \frac{1}{1 \pm \rho_T},$$

где γ_g – коэффициент надёжности по грунту.

ρ_T – показатель точности оценки среднего значения определяемой характеристики (в расчёт принять $\rho_T=0,02$).

В таблице 19 заносим также табличные нормативные значения прочностных и деформативных характеристик грунтов, полученных по табл. А6...А9 Приложения А, на основе величин физических и классификационных показателей.

Анализ заключается в сравнении результатов полученных расчетных характеристик грунтов при выполнении лабораторных опытов, с расчетными характеристиками грунтов, приведенными в технической и нормативной литературе.

Таблица 19 – Физико-механические характеристики исследованных грунтов

Наименование грунта	Физические										Механические					
	ρ_s , т/м ³	ρ_a , т/м ³	ρ_d , т/м ³	W , %	W_L , %	W_P , %	J_{sL} , %	J_L	e	S_r	нормативные			табличные		
	γ_s , кН/м ³	γ_a , кН/м ³	γ_d , кН/м ³								C_m , кПа	ϕ_m , град	E , МПа	C_T , кПа	ϕ_T , град	E_T , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 943-2007. Грунты. Классификация (взамен ГОСТ 25100-82).
2. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
3. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
4. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
5. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
6. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
7. ГОСТ 30416-96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Классификация песчаных грунтов по гранулометрическому составу

Грунт	Размер частиц, мм	Масса частиц, % от массы воздушно-капельного грунта
1	2	3
Гравелистый	>2	>25
Крупный	>0.5	>50
Средней крупности	>0.25	>50
Мелкий	>0.1	≥75
Пылеватый	>0,1	<75

Примечание: Наименование грунта принимается по первому удовлетворяющему показателю в порядке их расположения в таблице.

Таблица А2 – Подразделение песчаных грунтов по плотности сложения

Песок	Значение коэффициента пористости		
	плотные	средней плотности	рыхлые
1	2	3	4
Гравелистый, крупный и средней крупности	$e < 0.55$	$0.55 \leq e \leq 0.7$	$e > 0.7$
Мелкий	$e < 0.6$	$0.6 \leq e \leq 0.75$	$e > 0.75$
Пылеватый	$e < 0.6$	$0.6 \leq e \leq 0.8$	$e > 0.8$

Таблица А3 – Подразделение песчаных грунтов по степени влажности

Грунт	Степень влажности
1	2
Маловлажный	$0 < S_r \leq 0.5$
Влажный	$0.5 < S_r \leq 0.8$
Насыщенный водой	$0.8 < S_r \leq 1.0$

Таблица А4 – Подразделение глинистых грунтов по числу пластичности

Грунт	Число пластичности, %
1	2
Супесь	$1 \leq J_p \leq 7$
Суглинок	$7 < J_p \leq 17$
Глина	$J_p > 17$

Таблица А5 – Подразделение глинистых грунтов по показателю текучести

Грунт	Показатель текучести
1	2
Супесь:	
твёрдая	$J_L < 0$
пластичная	$0 \leq J_L \leq 1.0$
текучая	$J_L > 1.0$
Суглинок и глина:	
твёрдые	$J_L < 0$
полутвёрдые	$0 \leq J_L \leq 0.25$
тугопластичные	$0.25 < J_L \leq 0.5$
мягкопластичные	$0.5 < J_L \leq 0.75$
текучепластичные	$0.75 < J_L \leq 1.0$
текучие	$J_L > 1.0$

Таблица А6 – Нормативные значения модулей деформации песчаных грунтов

Песок	Значения E_0 , МПа при коэффициенте пористости			
	0.45	0.55	0.65	0.75
1	2	3	4	5
Гравелистый, крупный и средней крупности	50	40	30	-
Мелкий	48	38	28	18
Пылеватый	39	28	18	11

Таблица А7 – Нормативные значения удельных сцеплений C_n , кПа и углов внутреннего трения φ_n , град., песчаных грунтов

Песок	Характеристика	Значения C_n и φ_n при коэффициенте пористости e			
		0.45	0.55	0.65	0.75
1	2	3	4	5	6
Гравелистый, крупный	C_n	2	1	0	-
	φ_n	43	40	38	-
Средней крупности	C_n	3	2	1	-
	φ_n	40	38	35	-
Мелкий	C_n	6	4	2	0
	φ_n	38	36	32	28
Пылеватый	C_n	8	6	4	2
	φ_n	36	34	30	26

Таблица А8 – Нормативные значения удельных сцеплений C_n , кПа и углов внутреннего трения φ_n , град., пылеватоглинистых грунтов четвертичных отложений

Грунт	Показатель текучести	Характеристика	Значения C_n и φ_n при коэффициенте пористости e						
			0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	1.05
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Супесь	$0 < J_L \leq 0.25$	C_n	21	17	15	13	-	-	-
		φ_n	30	29	27	24	-	-	-
	$0.25 < J_L \leq 0.75$	C_n	19	15	13	11	-	-	-
		φ_n	28	26	24	21	-	-	-
Суглинок	$0 \leq J_L < 0.25$	C_n	47	37	31	25	22	19	-
		φ_n	26	25	24	23	22	20	-
	$0.25 < J_L \leq 0.5$	C_n	39	34	28	23	18	15	-
		φ_n	24	23	22	21	19	17	-
	$0.5 < J_L \leq 0.75$	C_n	-	-	25	20	16	14	12
		φ_n	-	-	19	18	16	14	12
Глина	$0 \leq J_L < 0.25$	C_n	-	-	68	54	47	41	36
		φ_n	-	-	20	19	18	16	14
	$0.25 < J_L < 0.5$	C_n	-	-	57	50	43	37	32
		φ_n	-	-	18	17	16	14	11
	$0.25 < J_L \leq 0.5$	C_n	-	-	57	50	43	37	32
		φ_n	-	-	16	14	12	10	7

Учебное издание

Составители:
Дедок Владимир Николаевич
Кобзарь Андрей Александрович

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсу
«Геология, механика грунтов, основания и фундаменты»
для студентов дневной и заочной форм обучения
по специальности 1-70 04 03 ВВиОВР

Ответственный за выпуск: Дедок В. Н.
Редактор: Боровикова Е. А.
Компьютерная верстка: Митлощук М. А.
Корректор: Никитчик Е. В.

Подписано в печать 25.01.2017 г. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Бумага «Performer».
Гарнитура «Arial». Усл. печ. л. 2,79. Уч. изд. л. 3,0. Заказ № 1301. Тираж 35 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.