

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БРЕСТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра оснований, фундаментов, инженерной геологии
и геодезии

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсам «Механика
грунтов, основания и фундаменты» и «Дорожное
грунтоведение и механика земляного полотна дорог»
для студентов дневной и заочной форм обучения по
специальностям Т 19.01 и Т 19.03

Часть 2

Брест 1998

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

Методические указания одобрены на заседании кафедры и рекомендованы к изданию.

Составители: П. С. Пойта, доцент к. т. н.,
П. В. Шведовский, профессор, к. т. н.,
В. Н. Дедок, доцент,
А. М. Климук, ст. преподаватель,
М. С. Грицук, доцент, к. т. н.

Целью лабораторных занятий по курсам: "Механика грунтов, основания и фундаменты" и "Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог" является определение показателей физического состояния и механических свойств грунтов, которые широко используются при проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений самого различного назначения.

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.

Гранулометрический состав грунта.

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;
- приближенное вычисление водопроницаемости рыхлых несвязных грунтов по эмпирическим формулам;
- оценка пригодности грунтов для использования их в качестве насыпей для дорог, дамб, земляных плотин;
- оценка возможных явлений суффозии в теле фильтрующих плотин и их основаниях, в стенках котлованов, бортах выемок и т.д.;
- 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.

Лабораторная работа № 1

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

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 пшпатель 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 поставить на место и продолжать обработку до тех пор, пока от грунта не перестанут отделяться мелкие частицы.
3. Содержимое каждого сита высыпать в предварительно взвешенные фарфоровые чашечки или листики бумаги, взвесить с точностью до 0,01 г (по ГОСТ 5180-84) 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;
B – масса навески.

Данные анализа заносим в таблицу 1.

Таблица 1.

Масса навески _____ /
 Дата испытаний _____ /

Результаты просеивания 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 №1 приложения 1 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 полуположительном 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:

$$U = d_{95} \cdot \frac{d_{95}}{d_5}$$

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

Чем выше U , тем зерновой состав грунта более неоднороден.

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

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

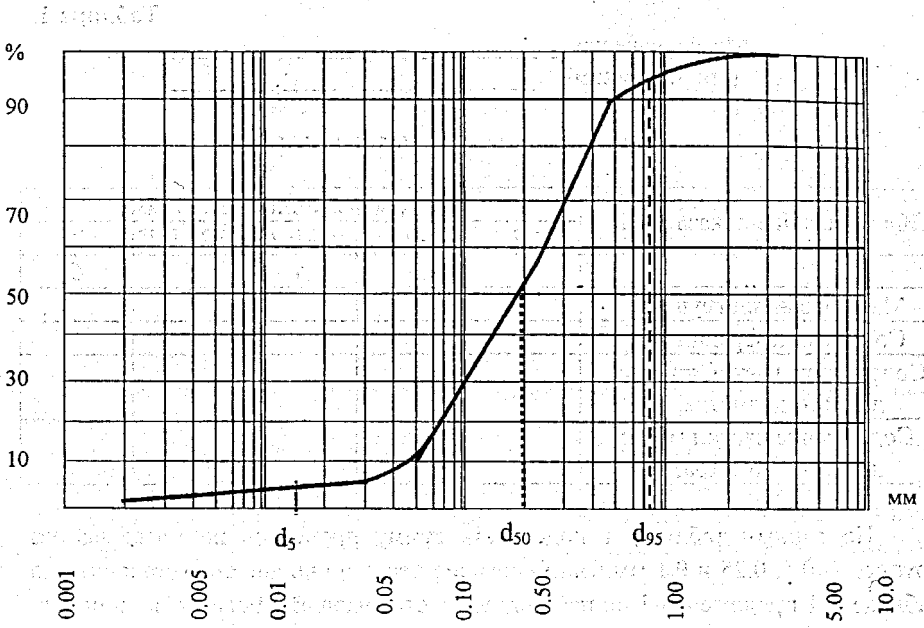


Рис.1. Суммарная кривая гранулометрического состава

Лабораторная работа № 2.

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

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.

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 $50-70 \text{ см}^3$ воды и тщательно размешивают стеклянной палочкой с резиновым наконечником.

3. В полученную суспензию для ускорения коагуляции прибавляют $2-3 \text{ см}^3$ 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:

$$a_{\text{гл}} = 23.7 \cdot K$$

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 $70-75 \text{ см}^3$ сливают в мерный сосуд.

4. Отмучивание в мензурке проводится 5-8 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 см³, 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 см³ и после отстоя определяют объем песчаных частиц (V_n).

7. Вычисляют его процентное содержание (a_n), принимая, что 1 см³ осевших песчаных частиц соответствует 10%.

В. Определение содержания пылевой фракции ($d = (0.05 - 0.005)$ мм).

Процентное содержание пылевой фракции ($a_{пыл}$) вычисляют по разности между 100% и суммой процентного содержания песчаной и глинистой фракции. Данные сводим в таблицу 2.

Таблица 2.

Результаты определения песчаной, пылевой 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 Рудковского.

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.

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			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, %		Содержание пыли в грунте, %	> 2 мм	2-0.5 мм	0.5-0.25 мм			0.25-0.1 мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Плотность грунтов в естественном состоянии.

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/см³ до 2.2 г/см³. 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/см³,

g - ускорение свободного падения, равное 9.81 м/с².

Удельный вес выражают в кН/м³.

Лабораторная работа № 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 режущего кольца вместе с крышками.
2. Определяют объем кольца V .
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 насаживают 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 4 и определяем нормативное значение плотности грунта по формуле:

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

где $n \geq 2$ – количество опытов.

Б. Определение плотности грунта методом взвешивания в воде.

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

Порядок выполнения работы.

1. Берут кусочек грунта объемом не менее 50 см^3 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 $57-60^\circ$. 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/см^3 ;

ρ_w — плотность воды, принимаемая равной 1 г/см^3 .

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 таблицу 5 и определяем нормативное значение плотности грунта.

Влажность грунта.

Влажностью грунта называют отношение массы воды, удаленной из грунта при его высушивании до постоянной массы, к массе сухого грунта. Влажность

грунта является важнейшей характеристикой физического состояния грунта. Влажность выражается в процентах, либо в долях единицы.

Таблица 4.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

Результаты определения плотности грунта.

№ опыта	№ кольца	Масса кольца, г		Объем кольца V , см^3	Плотность грунта $\rho_{\text{г}}$, $\text{г}/\text{см}^3$
		пустого с крышками, m_1	с крышками и грунтом, m_2		
1	2	3	4	5	6

Таблица 5.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

Плотность парафина $\rho_{\text{п}} = 0.9 \text{ г}/\text{см}^3$.

Результаты определения плотности грунта.

№ опыта	Масса, г				Объем, см^3			Плотность грунта, $\text{г}/\text{см}^3$
	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 оболочечки, $V_{\text{п}}$	образца грунта, V	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

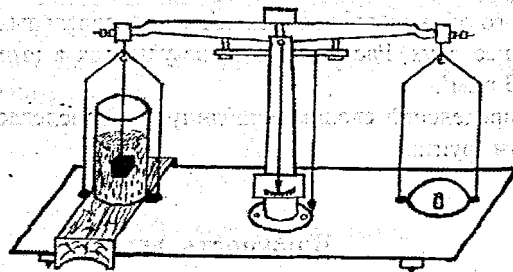


Рис. 2. Взвешивание в воде запарафинированного образца грунта.

Лабораторная работа № 4

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

Порядок выполнения работы.

1. Взвешивают простой пронумерованный стаканчик с крышкой (m_1 , г).
2. В стаканчик помещают пробу грунта массой 15-20 г; закрывают крышкой и взвешивают (m_2 , г).
3. Сняв крышку, стаканчик 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 со стаканчиком 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 6.

Таблица 6.

Дата испытаний _____
Вид грунта _____

Результаты испытания влажности грунта.

№ стакан- чика	Масса пустого стаканчика, г (m_1)	Масса стаканчика с влажным грунтом, г (m_2)	Масса стаканчика с сухим грунтом, г (m_3)	Влажность, %	
				Опытные данные (w)	Средний результат (w_c)
1	2	3	4	5	6

5. Определяем нормативное (среднее) значение влажности (w_c).

Плотность частиц грунта.

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

Плотность частиц грунта обуславливается только минералогическим составом и изменяется в пределах от 2.4 г/см^3 до 2.8 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 . Зная плотность частиц грунта, находят удельный вес частиц грунта (ρ_s):

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

где ρ_s — плотность частиц грунта, г/см^3 ; g — ускорение свободного падения, м/с^2 .

Лабораторная работа № 5.

А. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом.

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) и, после чего, взвешивают (m_3 , г).

7. Выливают содержимое пикнометра, ополаскивают его, 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.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

Гигроскопическая влажность $w_r = 1\%$

Результаты определения плотности частиц грунта

№ опыта	Масса, г					Плотность частиц грунта, г/см^3 (ρ_s)
	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

Б. 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/см^3 ; 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/см^3 ,

ρ_d - плотность сухого грунта, г/см^3 ,

ρ_s - плотность частиц грунта, г/см^3 ,

w - влажность грунта, %.

Коэффициентом пористости называется отношение объема пор к объему 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 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_w - плотность воды, г/см³;

w - весовая влажность, в долях единицы.

В зависимости от степени влажности песчаные грунты разделяются:

- маловлажные $0 < S_r \leq 0.5$;
- влажные $0.5 < S_r \leq 0.8$;
- насыщенные $0.8 < S_r \leq 1$.

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.

Оптимальная влажность и плотность сухого грунта.

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 удельного веса сухого грунта. Пробы грунта различной влажности уплотняются определенным образом в специальном приборе стандартного уплотнения. Определяется удельный вес 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 $W_{\text{опт}}$.

Лабораторная работа № 6

Определение оптимальной влажности и плотности сухого грунта методом стандартного уплотнения.

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.

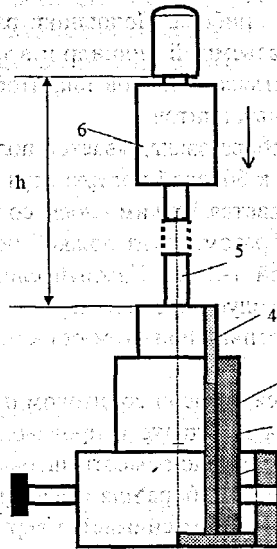


Рис. 3. Прибор стандартного уплотнения грунта

Порядок выполнения работы

1. Берется навеска воздушно-сухого грунта m_2 , гигроскопическая влажность которого w_2 известна ($w_2 = 1.8\%$) с таким расчетом, чтобы масса абсолютно сухого грунта m_d составляла 300 г. Тогда

$$m_2 = m_d \cdot (1 + 0.01 \cdot w_2) = 300 \cdot (1 + 0.018) = 305.4 \text{ г.}$$

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

$$V_w = 300 \cdot (w_i - w_z) \cdot 0.01,$$

где w_i - заданная влажность;

$$m_{w_1} = m_d \cdot (1 + 0.01 \cdot w_1) = 300 \cdot (1 + 0.01 \cdot w_1)$$

$$m_z = m_d \cdot (1 + 0.01 \cdot w_z) = 300 \cdot (1 + 0.01 \cdot w_z)$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 8.

3. Грунт высыпается на противень, мензуркой отмеряется количество воды, необходимое для получения первого из заданных значений влажности (4 %), соответствующее $\Delta V_1 = 6.6 \text{ см}^3$. Грунт ложкой тщательно перемешивается с водой и перетирается. Полученная масса должна иметь однородную окраску и не содержать комков грунта крупнее 1-2 мм.

4. Производится сборка прибора. Половинки рабочего цилиндра соединяются, на них надевается неразъемный цилиндр и в таком виде цилиндр закрепляется в поддоне прибора затяжкой винтов так, чтобы плоскость разреза была перпендикулярна оси зажимных винтов.

5. В рабочий объем прибора закладывается полоска восковой бумаги так, чтобы она плотно прилегла к боковой поверхности цилиндра. Поверхность неразъемного цилиндра смазывается тонким слоем солидола. Цилиндры заполняются грунтом следующим образом: грунт ложкой переносится в цилиндр и укладывается слоями толщиной 1-2 см. Каждый слой уплотняется деревянным пестиком. Укладку грунта следует прекратить, когда до кромки верхнего прибора остается 4-5 мм. На противне при этом остается некоторый избыток грунта.

6. В цилиндр вставляется пуансон со штоком и трамбовкой. Прибор в собранном виде размещается на подставке и производится стандартное уплотнение: трамбовка сбрасывается с полной высоты штока 30 раз.

7. Производится разборка прибора для извлечения образца грунта. Снимается шток с трамбовкой. Поворотом снимается верхний цилиндр прибора, при этом грунт следует придавить пуансоном. Разъемный цилиндр с грунтом вынимается из поддона, устанавливается на противень. Верхний торец образца тщательно выравнивается правилом. Цилиндр снаружи очищается от частиц грунта.

8. Над чашкой, снятой с технических весов, образец грунта осторожно извлекается из разъемного цилиндра, при этом грунт должен целиком попасть на чашку весов. Образец взвешивается, результаты заносятся в табл. 8. Вычисляются плотность (ρ) и плотность сухого грунта (ρ_d) после уплотнения.

Дата испытаний _____
 Вид грунта _____

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_c ($г$)	Объем цилиндра, v ($см^3$)	Плотность грунта после уплотнения, ρ ($г/см^3$)	Плотность сухого грунта, ρ_d ($г/см^3$)
1	2	3	4	5	6	7

9. По полученным данным строится график зависимости $\rho_d = f(w)$ при уплотнении для следующих влажностей - 6, 8, 10, 12 и 14 % (рис. 4)

10. По графику определяется оптимальная влажность w_{opt} грунта, как ордината точки, соответствующая перегибу кривой.

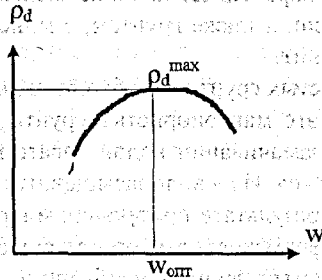


Рис. 4. График зависимости плотности сухого грунта от влажности при стандартном уплотнении.

Пластичность пылевато-глинистых грунтов

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 влажность на границе текучести w_l и раскатывания w_p , а также число пластичности J_p и показатель текучести J_c .

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 текуче-го состояний, называют границей текучести - w_l .

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

$$J_p = W_l - W_p.$$

Пылевато-глинистые грунты подразделяются по числу пластичности на су-песи, 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 пока-зателя текучести - J_l :

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

По консистенции пылевато-глинистые грунты подразделяются на группы от твердых до текучих.

Характеристики W_p , W_l и J_p являются косвенными показателями состава (гранулометрического и минералогического) пылевато-глинистых грунтов. Бо-лее высокие значения этих характеристик свойственны грунтам с большим со-держанием глинистых частиц, а также грунтам, в минералогический состав ко-торых входит монтмориллонит.

Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо выделять лессовые грунты и илы. Лессовые грунты - это макропористые грунты, содержащие карбонаты кальция и способные при замачивании водой давать под нагрузкой просадку, легко размокать и размываться. Ил - водонасыщенный современный осадок во-досмов, образовавшийся в результате протекания микробиологических процес-сов, имеющих большую деформативность, просадочность и размокаемость.

Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо также выделять грунты, проявляющие специфические неблагоприятные свойства при замачивании: про-садочные и набухающие. К просадочным грунтам относятся грунты, которые при замачивании водой дают просадку (осадку), и при этом относительная про-садочность $\epsilon_{sl} \geq 0.01$. К набухающим относятся грунты, которые при замачива-нии водой или химическими растворами увеличиваются в объеме, и при этом относительное набухание без нагрузки $\epsilon_{sw} = 0.04$.

Лабораторная работа № 7

а) Определение границы текучести (ГОСТ 5180-84)

Граница текучести характеризуется как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой балансирный конус погружается под действием собственного веса за 5 с. на глубину 10 мм (рис. 5).

Порядок выполнения работы

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

2. 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.

3. 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.

4. 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.

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

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

б) Определение границы раскатывания (пластичности) (ГОСТ 5180-84)

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 грунтовый жгут начинает крошиться, то считают, что предел раскатывания достигнут.

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

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

4. Взяв не менее 10 г жгута грунта 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 (ГОСТ 5180-84)

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 9.

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

Таблица 9.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

(по визуальному определению)

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						

Набухание и усадка глинистых грунтов

Под набуханием грунта понимается его способность увеличиваться в объеме при взаимодействии с водой. Набухание определяет водоустойчивость глинистых грунтов и характеризуется приращением объема грунта в процессе насыщения его водой, влажностью и силой набухания.

Набухание определяется для оценки устойчивости и деформируемости оснований зданий и сооружений, откосов и подземных сооружений.

Относительное набухание грунта определяется по зависимости:

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

где Δh - приращение высоты образца, мм;

h - начальная высота образца природной влажности, мм.

По относительному набуханию выделяют следующие разновидности грунтов:

- ненабухающие $\varepsilon_{sw} \leq 0.04$;
- слабонабухающие $0.04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0.08$
- средненабухающие $0.08 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0.12$
- сильнонабухающие $\varepsilon_{sw} > 0.12$

Под усадкой понимается уменьшение объема образца грунта при его высушении. Усадка характеризуется величиной объемной усадки V_y . Усадка является сложным физико-химическим процессом, сопровождающимся уменьшением объема при дегидратации, зависит от их минералогического состава, структуры, текстуры, а также от условий испарения воды.

Некоторое практическое значение при оценке устойчивости стенок котлованов и других земляных сооружений имеет и величина размокания глинистых грунтов. Ее основные показатели: время, в течение которого образец грунта, помещенный в воду, теряет связность и распадается; характер распада.

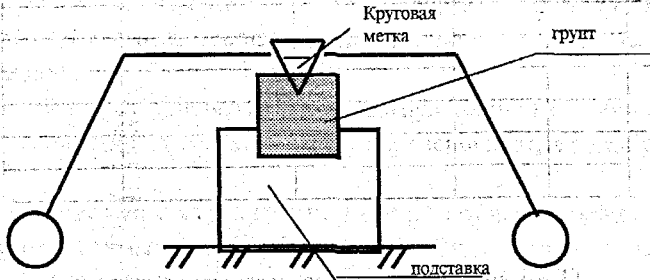


Рис. 5. Балансирный конус

Лабораторная работа № 8

А. Определение набухания глинистого грунта

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

Порядок выполнения работы

1. Разобрав прибор, с помощью кольца производят отбор пробы из монолита. Кольцо вдавливают в монолит до появления над верхним краем слоя грунта высотой 0,5 – 1,5 см, который затем аккуратно срезают вровень с его краями.
2. Собирают прибор в следующем порядке: в углубление диска кладут бумажный фильтр 8, ставят кольцо с грунтом, поверх него кладут второй бумажный фильтр 8 и устанавливают поршень.
3. Собранный прибор устанавливают на дно ванночки и укрепляют в обойме индикатор таким образом, чтобы его ножка касалась головки поршня.
4. Снимают первоначальные показания по индикатору.
5. Ванночку заполняют водой до верхней кромки образца и фиксируют время заливки.
6. Через 10-минутные промежутки времени снимают показания индикатора до тех пор, пока набухание грунта полностью не прекратится. Данные записывают в таблицу 10.

Таблица 10.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

(по визуальному определению)

Результаты определения набухания грунта

№№ пп	Время замера от начала опыта, мин. (t ₁)	Начальная высота образца, мм (h ₁)	Показания индикатора, мм (h ₂)	Приращение высоты образца, мм (Δh ₁)	Масса бюкса с влажным грунтом, г (m ₁)	Масса бюкса, г (m)	Масса бюкса с сухим грунтом, г (m ₂)	Влажность набухания грунта, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9

7. Относительное набухание определяют по формуле:

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

где Δh_i — приращение высоты образца за расчетный период, мм;

h — начальная высота образца в кольце, мм.

8. Строят график скорости набухания грунта, откладывая по горизонтальной оси время, а по вертикальной — величину относительного набухания.

9. После опыта прибор разбирают и отбирают образец грунта для определения весовым способом влажности набухания.

Б. Определение усадки глинистого грунта

Усадка глинистого грунта определяется с помощью устройства (а.с. № 1113469 и а.с. № 1113470), содержащего емкость с проницаемыми стенками, перфорированную крышку с отверстием в центре, стаканообразный штамп и индикатор часового типа, установленного на стойку. Емкость выполнена в виде конуса с углом при вершине в пределах $\alpha = 45^\circ$. Образец, равномерно высыхая, всесторонне уменьшается в объеме, сохраняя при этом точное геометрическое подобие конуса, заданного емкостью устройства. При этом объемное уменьшение образца сводится к направленному перемещению по центральной оси конуса в направлении его вершины за счет силы тяжести (рис. 7).

Порядок выполнения работы

1. Влажную глину с нарушенной структурой помещают в перфорированную коническую емкость 1, изготовленную совмещенно с основанием 2. Глину помещают в емкость малыми порциями для предотвращения попадания в образец испытуемого грунта пузырьков воздуха.

2. Поверхность образца зачищается по верхней кромке конической емкости при помощи ножа.

3. Емкость с образцом закрывается перфорированной крышкой 3, имеющей центрирующей буртик 4.

4. В центральное отверстие крышки опускается стаканообразный штамп 5 так, чтобы его дно находилось на поверхности грунта.

5. С помощью стойки 6, держателя 7 и крепежных винтов 8 устанавливают индикатор часового типа 9.

6. Устройство с образцом помещают в сушильный шкаф для высыхания при постоянной температуре.

7. Данные опытов и результаты определения заносят в таблицу 11.

8. Усадку образца вычисляют по формуле:

где ϵ_{wh} — относительная объемная усадка образца глинистого грунта; $R^2 \cdot H - r^2 \cdot h$ — разность квадратов радиусов основания конического образца до и после усадки, мм²; R и r — радиусы основания конического образца до и после усадки, мм;

H и h — высота конического образца до и после усадки, мм. Радиус конического образца после усадки рекомендуется определять по таблице 12 через величину высоты конического образца после усадки.

Дата испытаний Вид грунта

Результаты определения усадки пылеватого-глинистого грунта

№ опыта	Время замера деформаций образца грунта от начала опыта, мин (t)	Высота конического образца, мм		Радиус основания конического образца, мм		Показания индикатора, мм		Усадка образца грунта, % (ϵ_{wh})
		До усадки (H)	После усадки (h)	До усадки (R)	После усадки (r)	До усадки (h_0)	После усадки (h_t)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0	32		23	23	0	0	

Таблица 12.

Высота конического образца после усадки, мм (h)	31.5	31.0	30.5	30.0	29.5	29.0	28.5	28.0	27.5
Радиус основания конического образца после усадки, мм (r)	22.8	22.6	22.4	22.2	22.0	21.8	21.6	21.4	21.2

Сжимаемость грунтов

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. 8). 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 $P < P_{стр}$ 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).

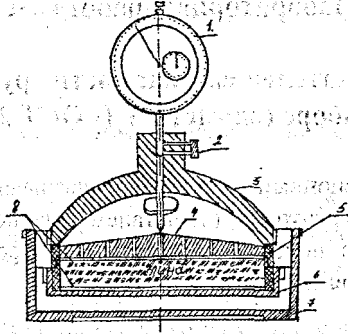


Рис. 6. Прибор ПНЗ для определения величины набухания глинистого грунта

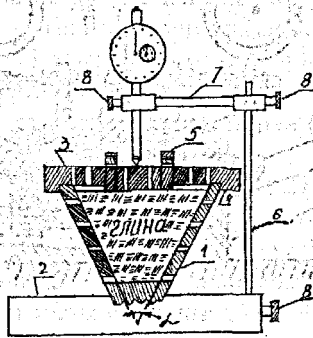


Рис. 7. Общий вид устройства для определения усадки грунтов.

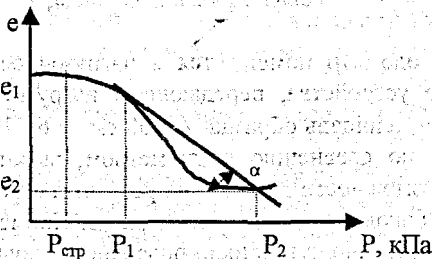


Рис. 8. Компрессионная кривая.

$P_{\text{стр}}$ — структурная прочность грунта.

Лабораторная работа № 9

Определение показателей сжимаемости грунта в компрессионном приборе (одометре) (ГОСТ 23908-79)

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 9.

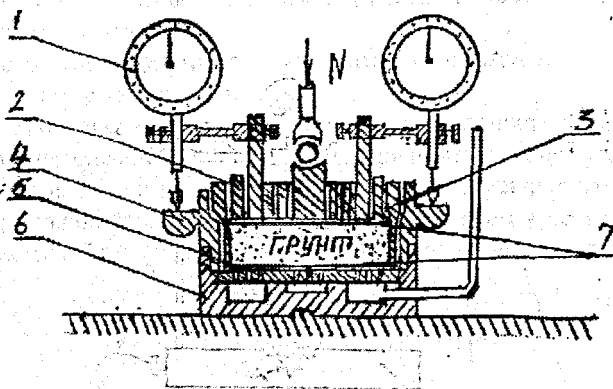


Рис. 9. Схема компрессионного прибора (одометра):

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

Собранный одометр помещается в нагрузочное устройство. Отношение плеч рычажного устройства, передающего нагрузку, 1:10. Высота образца грунта $h = 25$ мм, площадь образца $A = 60 \text{ см}^2 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. 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 одометра иногда смазывают маслом или применяют одометры 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 устанавли-

ливаются 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 13).
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 23908-79) 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 записать 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_1 — коэффициент пористости при нагрузке P_1 ;
 e_0 — начальный коэффициент пористости грунта.

Результаты измерений и вычислений сводим в таблицу 13.

11. Построить компрессионную кривую $e = f(P)$.

12. Вычислить коэффициент сжимаемости m_v 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 13

Дата испытаний

Вид грунта

Результаты компрессионных испытаний и вычислений

№	Масса гирь на полвеске, 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
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0	0								
2.77	50	50	1							
			2							
			5							
и т.д.			10							

Лабораторная работа № 10

Определение компрессионных показателей для глинистого водонасыщенного грунта нарушенной структуры.

Так как в водонасыщенном грунте все поры заполнены водой, то при его уплотнении пористость и влажность уменьшаются по одной закономерности. При этом существует следующая зависимость:

$$e = \gamma_s \cdot W_n,$$

где e – коэффициент пористости грунта; γ_s – удельный вес твердых частиц, $\text{kH}/\text{м}^3$; W_n – влажность грунта (в долях единицы) при полном заполнении его водой.

Компрессионная кривая используется для определения коэффициента сжимаемости грунта m_0 , который на небольшом участке изменения давления определяется по формуле:

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

где e_1 и e_2 – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям P_1 и P_2

Коэффициент сжимаемости используется при расчете осадок насыпей, оснований, опор мостов и др.

Материалы и оборудование:

- 1) грунт водонасыщенной структуры;
- 2) одометры – 7 шт.;
- 3) бюксы – 7 шт.;
- 4) фильтрованная бумага;
- 5) весы с разновесками.

Подготовительные работы.

Работа проводится с водонасыщенным грунтом на одометре.

Компрессионный прибор (одометр) состоит из цилиндра 1, поршня с отверстиями 2, фильтрующего днища 3 и загрузочного столика 4 (рис. 10).

Работа выполняется на протяжении трех занятий.

Порядок выполнения работы.

Зарядка одометров (занятие первое)

1. В операциях, указанных в пунктах 1, 2, 3 одометр держится в положении «вверх дном». Перед зарядкой одометра фильтрующее днище отвинчивается и поршень отводится от края цилиндра примерно на 1,5 см. В этом положении поршень и цилиндр зажимаются в руке таким образом, чтобы исключить их взаимное смещение.

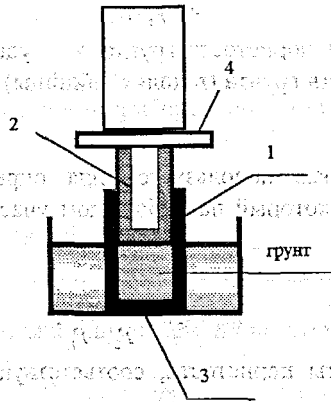


Рис. 10. Одометр с грунтом

2. На дырчатую поверхность поршня кладется кружок из фильтрованной бумаги. Второй кружок помещается в днище.

3. Грунт с помощью шпателя «вмазывается» в одометр (со стороны резьбы на цилиндре), поверхность грунта выравнивается с краем цилиндра, резьба вытирается и навинчивается днище.

4. Одометры устанавливаются в ванночки с водой, на столики помещаются гири, вес которых указывается в таблице 14. Грунт уплотняется до следующего занятия.

Разгрузка одометров (занятие второе)

5. Нагрузка со столика снимается, днище отвинчивается, и грунт поршнем выдавливается из цилиндра.

6. Оба бумажных фильтра удаляются, и капельная влага с поверхности образцов снимается сухой фильтрованной бумагой.

7. Грунт помещается в сухой бюкс, взвешивается и идет в термостат для сушки (определение влажности дано в лабораторной работе № 4).

Определение влажности и построение компрессионной кривой (занятие третье)

8. Бюксы с высушенным грунтом взвешиваются. Вычисляются влажности и коэффициенты пористости грунта.

9. Строится компрессионная зависимость $e = f(P)$.

При построении графика рекомендуется принять масштабы: для уплотняющего давления 0.1 МПа = 1 см, для коэффициента пористости 0.1 = 1 см.

Поскольку нас интересует не абсолютное положение кривой, а только ее кривизна, то для удобства построения за начало координат следует принять коэффициент пористости несколько меньше наименьшего из полученных значений (рис. 11).

10. По компрессионной кривой требуется определить коэффициент сжимаемости грунта в интервале давления от $P_1 = 0.05$ МПа до $P_2 = 0.15$ МПа или при других значениях P , указанных преподавателем.

Таблица 14.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

Результаты компрессионных испытаний водонасыщенного грунта.

Нагрузка, кг (N)	Площадь прибора, см ² (A)	Уплотняющее давление, МПа (P)	Определение влажности					Коэффициент пористости $e = \rho_s \cdot W_{sat}$
			№ бюкса	Масса бюкса с влажным грунтом, г (m ₂)	Масса бюкса с сухим грунтом, г (m ₁)	Масса бюкса, г (m)	Влажность, $\frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \cdot 100\%$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	0						
1	5	0.02						
2	5	0.04						
3	5	0.06						
5	5	0.1						
10	5	0.2						
15	5	0.3						

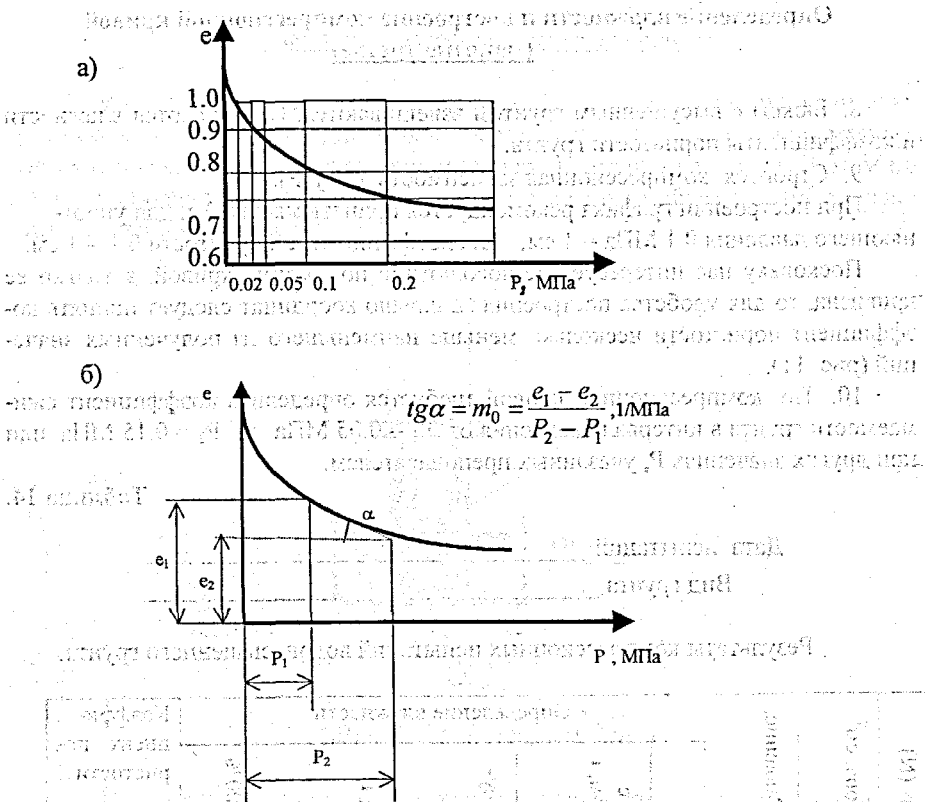


Рис. 11. Компрессионная кривая

- а) построение компрессионной кривой;
 б) определение коэффициента сжимаемости.

Прочность (предельное сопротивление сдвигу) грунтов.

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 части-

цами 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):

$$\left. \begin{array}{l} - \text{ для сыпучих грунтов } \tau \leq \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi; \\ - \text{ для связных грунтов } \tau \leq \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + C, \end{array} \right\}$$

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).

Лабораторная работа № 11

Определение показателей прочности грунта методом прямого среза образца (ГОСТ 12248-78)

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. 12.

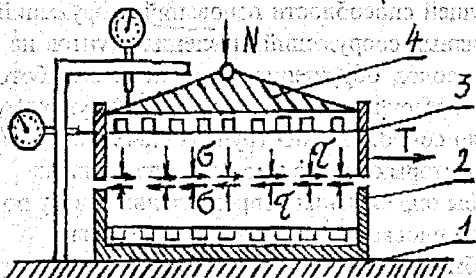


Рис. 12. Схема срезного прибора.

N — нормальное усилие; T — сдвигающее усилие.

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 $A = 40$ см². 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 15.

10. Строим обобщающий график $\tau = f(\sigma)$ (рис.13). График строится в одинаковом масштабе для τ и P , который рекомендуется принять: 5 см =

0,1 МПа. По полученным опытным точкам проводится осредненная прямая до пересечения с осью ординат.

11. Нормативные значения ϕ и C вычисляются по формулам:

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

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

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

где n – число определений величин τ .

Таблица 15.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

Результаты испытаний грунтов на срез и вычисления 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

τ , МПа

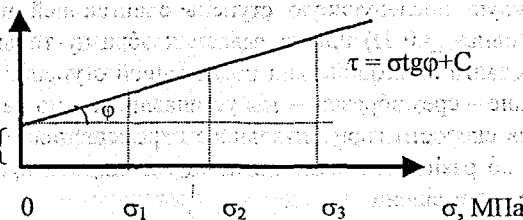


Рис. 13. График зависимости сопротивления грунтов

сдвигу.

Лабораторная работа № 12

Определение сопротивления сдвигу пылевато-глинистых грунтов в условиях завершеного уплотнения.

Сопротивление грунтов сдвигу τ связных грунтов зависит от двух величин: сил внутреннего трения и сцепления и определяется по формуле:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + C.$$

При испытании пылевато-глинистых грунтов на сдвиг их образцы предварительно уплотняются в приборе УГПС (прибор для уплотнения грунтов перед сдвигом) в течение 1 – 2 суток (до полного затухания осадок). При этом первый образец уплотняется при давлении $\sigma_1 = 100$ кПа, второй образец - при $\sigma_2 = 200$ кПа и третий образец - при $\sigma_3 = 300$ кПа.

Методика проведения работы по испытанию пылевато-глинистых грунтов после их предварительного уплотнения (см. лабораторную работу №9).

Порядок выполнения работы.

1. Подготовка образцов из пылевато-глинистого грунта в приборах предварительного сжатия УГПС (2 часа).
 2. Испытание уплотненных образцов на приборе прямого среза (4 часа).
- Порядок проведения работы и выводы (см. лабораторную работу № 9).

Водопроницаемость грунтов.

Водопроницаемостью грунтов называют способность их пропускать сквозь себя воду. Она характеризуется коэффициентом фильтрации K_f , обычно измеряемый в см/с или 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, а также при 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.

Лабораторная работа № 13

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. 14) 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.

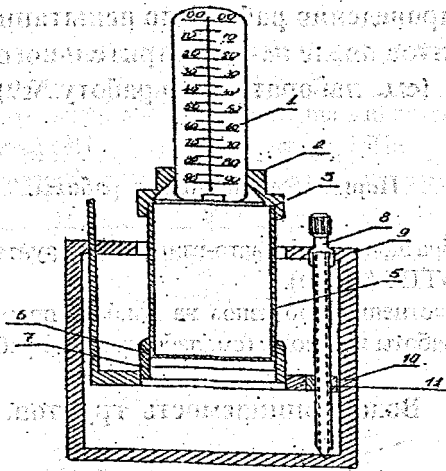


Рис. 14. Конструктивная схема прибора «КФ».

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 их сложении 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 объемного веса 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 задавливается 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 $0.7 \pm 0.03t$; где t – температура фильтрующейся воды; 864 – переводной коэффициент из $\text{см}^3/\text{сут}$.

12. Все данные, полученные в процессе определения коэффициента фильтрации, заносятся в таблицу 16.

Таблица 16.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

Результаты испытания грунтов на водопроницаемость.

Наименование грунта	Напорный гра- диент, J	Время фильтра- ции, t (с)	Объем про- фильтровав- шейся воды, Q (см^3)	Температура воды, t° (град)	Коэффициент фильтрации, K_{10} (м/сут)	Среднее значе- ние, K_{cp} (м/сут)
1	2	3	4	5	6	7

Капиллярные свойства грунтов.

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 - $3.5 \div 12 \text{ см}$;
- В среднезернистых песках - $12 \div 35 \text{ см}$;
- В мелкозернистых песках - $35 \div 120 \text{ см}$;
- В супесях - $120 \div 350 \text{ см}$.

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

Лабораторная работа № 14

Определение высоты капиллярного поднятия воды в трубке.

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 17.
8. По полученным результатам строят график зависимости $h_k = f(t)$ (рис.15).
9. Анализируя график, делаются соответствующие выводы.

Таблица 17.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

Результаты определения капиллярных свойств грунтов.

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

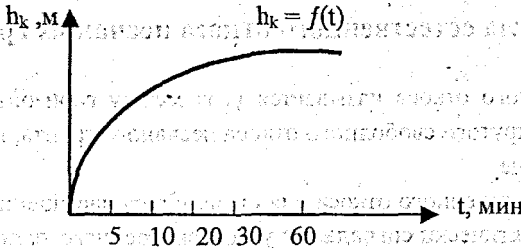


Рис. 15. График зависимости капиллярного поднятия.

Лабораторная работа № 15.

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 утрамбовкой 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°C до постоянной массы m_3 .
4. Результаты исследований записывают в журнал (таблица 18).
5. Вычисляют полную влагоемкость по формуле:

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

Таблица 18.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

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

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 в рыхлом состоянии практически совпадает с углом внутреннего трения, но определяется значительно проще 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.

Лабораторная работа № 16.

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

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

1. Прибор установить в стеклянную чашку и заполнить воздушно-сухим песком.
2. 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.
3. Результаты определения заносим в таблицу 18.
4. Определяется нормативное значение угла естественного откоса по формуле:

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

где $n \geq 2$ – количество опытов.

Таблица 18.

Дата испытаний _____

Вид грунта _____

Результаты определения угла естественного откоса

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

Приложение 1.

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ СИТОВЫМ МЕТОДОМ (ГОСТ 12536-79)	2
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	5
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА ПОЛЕВЫМ МЕТОДОМ (ГОСТ 12536-79)	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	8
А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ РЕЖУЩЕГО КОЛЬЦА	8
Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ВЗВЕШИВАНИЯ В ВОДЕ	9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	11
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ВЫСУШИВАНИЯ ДО ПОСТОЯННОЙ МАССЫ (ГОСТ 5180-84)	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5	13
А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА ПИКНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	13
Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СУХОГО ГРУНТА, ПОРИСТОСТИ, КОЭФФИЦИЕНТА ПОРИСТОСТИ И СТЕПЕНИ ВЛАЖНОСТИ	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6	17
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ И ПЛОТНОСТИ СУХОГО ГРУНТА МЕТОДОМ СТАНДАРТНОГО УПЛОТНЕНИЯ	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7	21
А) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ ТЕКУЧЕСТИ (ГОСТ 5180-84)	21
Б) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ РАСКАТЫВАНИЯ (ПЛАСТИЧНОСТИ) (ГОСТ 5180-84)	21
В) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ (ГОСТ 5180-84)	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8	25
А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБУХАНИЯ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА	25
Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСАДКИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА	25
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9	30
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЖИМАЕМОСТИ ГРУНТА В КОМПРЕССИОННОМ ПРИБОРЕ (ОДОМЕТРЕ) (ГОСТ 23908-79)	30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10	33
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПРЕССИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ГЛИНИСТОГО ВОДОНАСЫЩЕННОГО ГРУНТА НАРУШЕННОЙ СТРУКТУРЫ	33

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11	38
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ПРЯМОГО СРЕЗА ОБРАЗЦА (ГОСТ 12248-78)	38
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12	41
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАВЕРШЕННОГО УПЛОТНЕНИЯ.	41
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13	42
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСКОВ В ПРИБОРЕ «КФ»	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14	45
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ КАПИЛЛЯРНОГО ПОДНЯТИЯ ВОДЫ В ТРУБКЕ.	45
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15	46
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ГРУНТА	46
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16	47
А) ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ПЕСЧАНОГО ГРУНТА В ВОЗДУШНО – СУХОМ СОСТОЯНИИ.	47
Б) ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ВОДОНАСЫЩЕННОГО ПЕСКА (ПОД ВОДОЙ)	47

Учебное издание

Составители: Петр Степанович Пойта
Петр Владимирович Шведовский
Владимир Николаевич Дедок
Анатолий Михайлович Климук
Михаил Степанович Гринчук

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсам «Механика грунтов, основания и фундаменты» и «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог» для студентов дневной и заочной форм обучения по специальностям Т 19.01 и Т 19.03

Часть 2

Ответственный за выпуск Пойта П. С.

Редактор Строкач Т. В.

Подписано в печать 8.07.98 г. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 3,25. Уч. изд. л. 3,5.
Зак. № 639. Тираж 200 экз. Отпечатано на ризографе Брестского политехнического института. 224017, г. Брест, ул. Московская, 267