

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра сельского строительства и обустройства территорий

А. В. Дубина, С. М. Курчевский

МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

*Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся по специальностям
1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий,
1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство*

Горки
БГСХА
2022

УДК 631.4(072)
ББК 40.3
Д79

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета.
Протокол № 2 от 25 октября 2021 г.*

Авторы:
старший преподаватель *А. В. Дубина*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *С. М. Курчевский*

Рецензенты:
доктор сельскохозяйственных наук, профессор *В. И. Желязко*;
кандидат технических наук, доцент *В. К. Курсаков*

Дубина, А. В.
Д79 Механика грунтов, основания и фундаменты : методические
указания по выполнению лабораторных работ / А. В. Дубина,
С. М. Курчевский. – Горки : БГСХА, 2022. – 48 с.

Приведены указания по выполнению лабораторных работ, основные определения.

Для студентов, обучающихся по специальностям 1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий, 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство.

УДК 631.4(072)
ББК 40.3

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2022

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемые указания для выполнения лабораторных работ по курсу «Механика грунтов, основания и фундаменты» направлены на закрепление знаний, полученных студентами при изучении теоретического курса. Последовательность работ соответствует изложению важнейших вопросов дисциплины.

В лабораторных работах используются размерности, указанные в действующих нормативных документах.

Надежность оснований и фундаментов, удешевление работ по их устройству в значительной степени зависят от умения грамотно установить инженерно-геологические условия площадок строительства и свойства грунтов в основаниях, от рациональности выбранных типов фундаментов возводимых сооружений.

Основной целью лабораторных работ является ознакомление студентов с методами определения физико-механических характеристик и свойств грунтов, необходимых для проектирования и строительства оснований и фундаментов.

Перед выполнением каждой работы студенты должны ознакомиться с ее основными положениями, подготовкой образцов к испытанию, порядком выполнения работы. В процессе проведения опытов каждый студент заносит в свой журнал полученные опытные данные, которые затем обрабатываются и на основании которых делаются необходимые выводы.

Студент должен знать цель каждой лабораторной работы, нарисовать схему прибора, ознакомиться с последовательностью выполнения работы и методикой обработки опытных данных, построить графики, отображающие полученные зависимости, и объяснить, как определяются соответствующие физические и механические характеристики грунтов, для каких расчетов они используются.

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

КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ

Грунты оснований зданий и сооружений подразделяют в соответствии с действующим СТБ 943-2007 на класс с жесткими структурными связями (класс скальных грунтов) и класс без жестких структурных связей (класс нескальных грунтов).

Классификация грунтов включает следующие таксономические единицы, выделяемые по группам признаков:

- класс – по характеру структурных связей;
- группа – по происхождению (генетическое подразделение первого порядка);
- подгруппа – по условиям образования (генетическое подразделение второго порядка);
- тип – по петрографическому и гранулометрическому составу, числу пластичности;
- вид – по структуре, текстуре, составу цемента и примесей, содержанию заполнителя и включений, гранулометрическому составу и степени его неоднородности, пористости, относительному содержанию органического вещества, зольности торфа, по способу преобразования, степени уплотнения от собственного веса, возрасту намывного грунта;
- разновидность – по физическим, механическим, химическим свойствам и состоянию.

К **скальным** грунтам относятся магматические, метаморфические, осадочные цементированные и искусственные (преобразованные в природном залегании породы), которые подразделяются на типы, виды (по текстуре, структуре, составу цемента, составу примесей), а искусственные – по способу преобразования.

Нескальные грунты подразделяются на группы: осадочные нецементированные и искусственные. В группе осадочных нецементированных выделяют подгруппы: обломочные (крупнообломочные, песчаные, пылеватые и глинистые), биогенные и почвы; в группе искусственных грунтов – подгруппы: преобразованные в природном залегании, насыпные и намывные. Крупнообломочные и песчаные грунты отличаются процентным содержанием фракций размером крупнее 2 мм. Если в грунте доля этих фракций составляет более 50 %, то он относится к крупнообломочному, если менее – к песчаному. Отличительным признаком песчаных и глинистых грунтов является пластичность. Если число пластичности грунта I_p менее 1, то грунт относится

к песчаному, если число пластичности равно или более 1 – к глинистому. К пылеватым глинистым грунтам относятся также лессовые грунты.

Грунт лессовидный – глинистый грунт, в гранулометрическом составе которого более 50 % пылеватых (размером от 0,05 до 0,005 мм) частиц, бескарбонатный или известковый, преимущественно низкопористый (коэффициент пористости – не более 0,8), слоистый, как правило, непросадочный; встречаются прослойки песка, гравия, включения гальки, раковин моллюсков, иногда погребенные почвенные горизонты; относится к структурно-неустойчивым грунтам, характеризующимся изменением структурной прочности под внешним воздействием (замачивание, оттаивание, вибрационные нагрузки).

Лессовые грунты подразделяются на **виды**: низкопористые ($e \leq 0,8$) и высокопористые ($e > 0,8$). По относительной просадочности выделяют разновидности грунтов: непросадочные ($e_{sl} < 0,01$) и просадочные ($e_{sl} \geq 0,01$).

К биогенным грунтам относятся:

1. **Ил** – водонасыщенный современный осадок водоемов, образовавшийся при наличии микробиологических процессов, природная влажность которого, как правило, превышает влажность на границе текучести (показатель текучести – более 1, содержание частиц размером менее 0,01 мм составляет от 30 до 50 % по массе), коэффициент пористости – не менее 0,9, относительное содержание органических веществ составляет менее 10 %, содержание карбонатов (CaCO_3) – менее 10 %.

2. **Сапропель** – пресноводный ил, образовавшийся при саморазложении органических (преимущественно растительных) остатков на дне застойных водоемов (озер) и содержащий более 10 % органического вещества; как правило, коэффициент пористости – более 3, показатель текучести – более 1, содержание частиц размером более 0,25 мм не превышает 5 %.

3. **Торф** – органоминеральный грунт, образовавшийся в результате естественного отмирания и неполного разложения болотных растений в условиях повышенной влажности при недостатке кислорода, содержащий по массе 50 % и более органического вещества.

4. Грунт **заторфованный** – песчаный и глинистый грунт, содержащий по массе от 10 до 50 % органического вещества.

Лабораторная работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Песок (песчаный грунт) – несвязный (сыпучий) минеральный грунт, в котором масса частиц размером крупнее 2 мм составляет менее 50 % и число пластичности меньше единицы.

Структура грунта – пространственная организация твердого, жидкого, газообразного и биотического компонентов грунта, характеризующая совокупностью геометрических, морфометрических и энергетических признаков и определяющаяся составом, количественным соотношением и взаимодействием компонентов грунта.

Текстура грунта – признак структуры, характеризующий пространственную композицию слагающих грунт элементов (слоистость, трещиноватость и др.).

Гранулометрический состав грунта – содержание по массе групп частиц (фракций) грунта различного размера по отношению к общей массе абсолютно сухого грунта. Определяется по ГОСТ 12536-2014. Гранулометрический состав определяет многие свойства грунта, такие как пластичность, пористость, набухание, усадка, сжимаемость и др. По гранулометрическому составу дается наименование крупнообломочным и песчаным грунтам.

Определение гранулометрического состава производится с помощью соответствующих анализов, для чего грунты разделяются на фракции (группы зерен, близкие по крупности).

Методы определения:

- 1) ситовой без промывки водой;
- 2) ситовой с промывкой водой;
- 3) ареометрический;
- 4) пипеточный. Применяется только для специальных целей, предусмотренных заданием.

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

Оборудование: набор сит (с поддоном); сита с диаметром отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм; весы технические; стаканчики стеклянные; ступка фарфоровая; пестик с резиновым наконечником; чашка фарфоровая; груша резиновая; нож; шкаф сушильный.

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

Средняя проба берется следующим образом: на листе бумаги весь образец грунта тщательно перемешивают, разравнивают ножом или линейкой и разделяют на четыре части. Две части, лежащие накрест, отбрасывают, а две другие соединяют, перемешивают, разравнивают, разделяют на четыре части и т. д. Эту операцию продолжают до тех пор, пока объем оставшегося грунта не будет примерно равен величине средней пробы (величина средней пробы в данном случае берется равной 100 г). Объем средней пробы для крупнообломочных грунтов составляет 600–3000 см³, для песчаных – 200–600 см³.

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

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

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

5. Суммарную массу навески в процентном содержании каждой фракции вычисляют по следующей формуле:

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

где X – процентное содержание фракций в грунте, %;

A – масса данной фракции грунта, г;

B – масса средней пробы грунта, взятой для анализа, г.

Полученные данные записывают в табл. 1.

Для большей наглядности и удобства сравнения различных грунтов между собой гранулометрический состав обычно изображают графически, чаще в виде суммарной кривой гранулометрического состава или методом треугольных координат. Кривая гранулометрического состава строится в системе прямоугольных координат в полулогарифмическом масштабе. Для построения графика последовательно суммируют содержание фракций, начиная с наиболее мелкой или крупной. Полученные результаты записывают в табл. 2.

Таблица 1. **Определение наименования песчаного грунта**

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

Таблица 2. **Определение координат кривой гранулометрического состава**

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

После подсчета данных, приведенных в табл. 2, строят кривую гранулометрического состава: на оси ординат откладывают процентное содержание фракций, на оси абсцисс – логарифмы диаметров частиц (рис. 1).

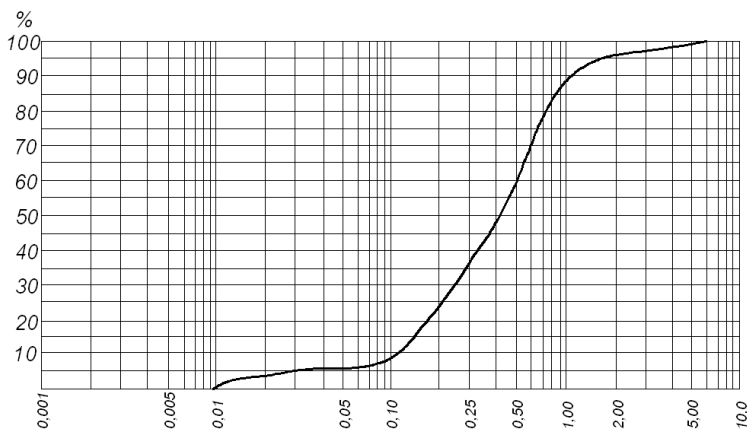


Рис. 1. Кривая гранулометрического состава песчаного грунта в полулогарифмическом масштабе

По кривой гранулометрического состава находят степень неоднородности грунта C_u .

Степень неоднородности гранулометрического состава (грунта) – показатель неоднородности гранулометрического состава песчаных грунтов, определяемый по формуле

$$C_u = d_{60} / d_{10},$$

где d_{60} и d_{10} – диаметры частиц, меньше которых в данном грунте содержится (по массе) соответственно 60 и 10 % частиц.

По степени неоднородности гранулометрического состава C_u выделяют однородный ($C_u < 3$) и неоднородный ($C_u > 3$) грунт.

Показатель максимальной неоднородности – мера неоднородности гранулометрического состава песка, определяемая по формуле

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

где d_{50} , d_{95} , d_5 – диаметры частиц, меньше которых в данном грунте содержится (по массе) соответственно 50, 95 и 5 % частиц, мм.

Определяют наименование грунта согласно классификации СТБ 943-2007 (табл. 3 и 4). Все подсчеты производятся в тетради.

Таблица 3. Классификация грунтов по содержанию пылевато-глинистых частиц

Грунты	Содержание глинистых частиц диаметром меньше 0,005 мм в % по массе
Глина	Более 30
Суглинок	30–10
Супесь	10–3
Песок	Менее 3

Таблица 4. Классификация грунтов по гранулометрическому составу

Виды грунтов	Распределение частиц по крупности в % от массы сухого грунта	
	Размеры частиц более, мм	Количество частиц более, %
Крупнообломочные		
Валунный грунт	200	50
Галечниковый грунт	10	50
Гравийный грунт	2	50
Песчаные		
Песок гравелистый	2	25
Песок крупный	0,5	50
Песок средней крупности	0,25	50
Песок мелкий	0,1	75 и более
Песок пылеватый	0,1	Менее 75

Лабораторная работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

Грунт естественного залегания всегда содержит то или иное количество воды. Величина естественной влажности является важнейшей характеристикой физического состояния грунта.

Влажность грунта – отношение массы воды в объеме грунта к массе этого грунта, высушенного до постоянной массы. Определяется по ГОСТ 5180-2015. Влажность может быть выражена в процентах или в долях единицы.

Влажность грунта, в том числе гигроскопическая, определяется методом высушивания до постоянной массы.

Оборудование: шкаф сушильный или вакуумный сушильный; термометр со шкалой от 0 до 200 °С с ценой деления 2 °С; бюксы алюминиевые ВС-1 с крышками; шпатели металлические; щипцы тигельные; весы лабораторные с гирями; ступка фарфоровая и пестик.

Ход работы. 1. Пробу грунта для определения влажности отбирают массой 15–50 г, помещают в заранее высушенный, взвешенный и пронумерованный стаканчик и плотно закрывают крышкой.

2. Пробу грунта в закрытом бюксе взвешивают.

3. Бюкс открывают и вместе с крышкой помещают в нагретый сушильный шкаф. Грунт высушивают до постоянной массы при температуре (105 ± 2) °С. Песчаные грунты высушивают в течение 3 ч, а глинистые – в течение 5 ч. 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. Бюкс с высушенным грунтом охлаждают и взвешивают. За результат взвешивания принимают наименьшую массу бюкса с грунтом.

Влажность грунта W , %, вычисляют по формуле

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

где m_1 – масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой, г;

m_0 – масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г;

m – масса пустого стаканчика с крышкой, г.

Допускается выражать влажность грунта в долях единицы.

5. Данные определения заносят в табл. 5

Таблица 5. **Определение влажности грунта**

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

Лабораторная работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА

Плотность грунта зависит от влажности, пористости, минералогического состава и может меняться в значительных пределах. Максимального значения плотности грунт при данной пористости достигает при полном заполнении пор водой. Плотность грунта используется в инженерно-технических расчетах оснований, земляных сооружений и среды для подземных конструкций, а также при установлении объема земляных работ.

Удельный вес грунта применяют для характеристики отношения массы грунта к занимаемому им объему в расчетах при определении природного давления, давления на подпорные стены. Зная плотность грунта, удельный вес находят по формуле

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

где γ – удельный вес, кН/м³;

ρ – плотность грунта, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

Плотность сухого грунта – отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к первоначальному объему. Определяется расчетным методом по ГОСТ 5180-2015.

Для определения плотности используют метод режущего кольца и мерного цилиндра или метод парафинирования. Метод режущего кольца и мерного цилиндра применяют для связных грунтов, легко поддающихся вырезке, а также для сыпучих тел – в тех случаях, когда объем и форма отбираемого образца могут быть сохранены только с помощью жесткой тары. Метод парафинирования применяют для связных грунтов, трудно поддающихся вырезке или склонных к крошению.

Оборудование: кольцо-пробоотборник; цилиндр-пробоотборник; нож; два плоских стекла или пластмассовые пластинки; технические весы; бюксы; штангенциркуль; тонкая нить; игла; парафин; стеклянный сосуд для воды; фильтровальная бумага; фарфоровая чаша.

Метод режущего кольца

Ход работы. 1. Кольцо-пробоотборник смазывают с внутренней стороны тонким слоем вазелина или консистентной смазки.

2. Верхнюю зачищенную плоскость образца грунта выравнивают, срезая излишки грунта ножом, устанавливают на ней режущий край кольца и винтовым прессом или вручную через насадку слегка вдавливают кольцо в грунт, фиксируя границу образца для испытаний. Затем грунт снаружи кольца обрезают на глубину 5–10 мм ниже режущего края кольца, формируя столбик диаметром на 1–2 мм больше наружного диаметра кольца. Периодически, по мере срезания грунта, легким нажимом прессы или насадки насаживают кольцо на столбик грунта, не допуская перекосов. После заполнения кольца грунт подрезают на 8–10 мм ниже режущего края кольца и отделяют его.

3. Грунт, выступающий за края кольца, срезают ножом, зачищают поверхность грунта вровень с краями кольца и закрывают торцы пластинками.

При пластичном или сыпучем грунте кольцо плавно, без перекосов вдавливают в него и удаляют грунт вокруг кольца. Затем зачищают поверхность грунта, накрывают кольцо пластинкой и подхватывают его снизу плоской лопаткой.

4. Кольцо с грунтом и пластинками взвешивают.

Плотность грунта ρ , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m_1 - m_0 - m_2}{V},$$

где m_1 – масса грунта с кольцом и пластинками, г;

m_0 – масса кольца, г;

m_2 – масса пластинок, г;

V – внутренний объем кольца, см³.

5. Данные определений заносят в табл. 6

Таблица 6. Определение плотности грунта методом режущего кольца

Номер опыта	Номер кольца	Объем кольца, см ³	Масса кольца, г		Масса грунта, г	Плотность грунта, г/см ³	Среднее значение, г/см ³
			со стеклом	с грунтом и стеклом			

Метод мерного цилиндра

Ход работы (в плотном сложении). 1. Взвесив металлический цилиндр, насыпают в него небольшую порцию песка в воздушно-сухом состоянии и производят уплотнение с помощью деревянной трамбовки.

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

3. Удалив избыток песка линейкой, взвешивают цилиндр с песком (m_1 , г).

4. Плотность грунта ρ , г/см³, вычисляют по следующему выражению:

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V},$$

где m_1 – масса цилиндра с песком, г;

m_0 – масса цилиндра, г;

V – объем цилиндра, см³.

Ход работы (в рыхлом сложении). 1. Песок высыпают на лист бумаги, а затем небольшой струей ссыпают в тот же металлический цилиндр, предварительно опустив туда разрыхлитель. После этого разрыхлитель, медленно вращая, вынимают из цилиндра. Избыток песка удаляют линейкой, чтобы поверхность его была на одном уровне с краями сосуда.

2. Цилиндр с грунтом взвешивают (m_1 , г). Определяют плотность песка по формуле, приведенной выше.

3. Данные определений заносят в табл. 7.

Таблица 7. Определение плотности грунта методом мерного цилиндра

Номер опыта	Номер цилиндра	Объем цилиндра, см ³	Масса цилиндра, г		Масса грунта, г	Плотность грунта, г/см ³	Среднее значение, г/см ³
			пустого	с грунтом			
Грунт рыхлого сложения							
Грунт плотного сложения							

Метод парафинирования

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

Ход работы. 1. Берут пробу грунта объемом не менее 30 см^3 , удалив по возможности с помощью ножа выступающие острые части, взвешивают его на технических весах (m , г).

2. Погружают образец на 1–2 с в нагретый до $57\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C}$ парафин, предварительно обвязав его ниткой.

3. Когда парафиновая оболочка остынет, образец взвешивают и определяют массу запарафинированного образца m_1 , г.

4. Определяют массу парафина:

$$m_n = m_1 - m.$$

5. Рассчитывают объем парафиновой оболочки:

$$V_n = \frac{m_n}{0,9},$$

где $0,9 \text{ г/см}^3$ – плотность парафина.

6. Подвесив запарафинированный образец грунта на крюк коромысла, погружают его в стакан с чистой водой и взвешивают (m_2 , г). Взвешивание в воде производят на обычных технических весах, используя для этой цели специальную подставку.

7. Определяют объем запарафинированного образца по формуле

$$V_1 = \frac{m_1 - m_2}{\rho_w},$$

где m_1 – масса запарафинированного образца, г;

m_2 – масса запарафинированного образца в воде, г;

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

8. Вычисляют плотность грунта по формуле

$$\rho = \frac{m}{V_1 - V_n},$$

где m – масса образца, г;

V_1 – объем запарафинированного образца, см^3 ;

V_n – объем парафина, см^3 .

9. Данные определений заносят в табл. 8.

Таблица 8. **Определение плотности грунта методом парафинирования**

Номер опыта	Масса, г		Плотность грунта, г/см ³	Среднее значение, г/см ³	Плотность скелета грунта, г/см ³
	грунта	грунта с парафиновой оболочкой			

Лабораторная работа 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА

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

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

где m_s – масса частиц грунта, г;

V_s – объем частиц грунта, см³.

Плотность частиц грунта обуславливается только минералогическим составом. Для ориентировочных расчетов плотность песков принимают равной 2,66 г/см³; супесей и суглинков – 2,7 г/см³; глин – 2,75 г/см³.

Определение плотности частиц грунта проводится пикнометрическим способом по ГОСТ 5180-2015. Пикнометр – мерная колба вместимостью не менее 100 см³, позволяющая учитывать объем жидкости с большой точностью. Уровень, соответствующий определенному объему, отмечен на горле колбы кольцевой риской.

Для незасоленных грунтов используют дистиллированную воду, а для засоленных грунтов – керосин, толуол, ксилол. Зная плотность частиц грунта, находят удельный вес частиц грунта:

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

где γ_s – удельный вес частиц, кН/м³;

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Оборудование: пикнометр; сито с отверстиями диаметром 2 мм; фарфоровая ступка с пестиком; бюкс; баня песчаная или электроплитка; сушильный шкаф; весы; воронка; пипетка или капельница; дистиллированная вода; ареометр; эксикатор; фильтровальная бумага.

Ход работы. 1. Из воздушно-сухого грунта методом «квадратов»

отбирают среднюю пробу массой 100–200 г, которую просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Остаток на сите дробят и затем просеивают через то же сито.

2. Из средней пробы берут навеску из расчета 15 г на каждые 100 см³ емкости мерной колбы (пикнометра).

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

4. Пикнометр охлаждают и доливают дистиллированную воду до мерной черты на горлышке.

5. После охлаждения пикнометра следует поправить положение мениска воды в нем, добавляя из капельницы дистиллированную воду. В пикнометре с мерной риской низ мениска должен совпадать с ней. Возможные капли воды выше риски удаляют фильтровальной бумагой. Пикнометр вытирают снаружи и взвешивают (m_1 , г).

6. Освободив пикнометр от содержимого, тщательно ополаскивают его, наполняют дистиллированной водой, имеющей температуру суспензии, и взвешивают (m_2 , г).

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

$$\rho_s = \frac{m_c \cdot \rho_w}{m_c + m_2 - m_1},$$

где m_c – масса абсолютно сухого грунта, г;

$\rho_w = 1$ г/см³ – плотность воды;

m_2 – масса пикнометра с водой, г;

m_1 – масса пикнометра с водой и грунтом, г.

Для каждого образца грунта производят два параллельных определения плотности частиц грунта, которые не должны отличаться более чем на 0,02 г/см³. За плотность частиц грунта принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений, выраженное с точностью до 0,01.

8. Данные записывают в табл. 9.

Таблица 9. Определение плотности частиц грунта

Номер опыта	Номер пикнометра	Масса пикнометра, г			Масса сухого грунта, г	Плотность частиц грунта, г/см ³	Среднее значение, г/см ³
		пустого	с грунтом и водой	с водой			

Лабораторная работа 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

Консистентностью грунтов называют их способность менять свое физическое состояние с изменением влажности. В зависимости от количества содержащейся в них влаги они могут быть в твердом, пластичном и текучем состоянии.

Пластичность – это способность глинистого грунта в определенном интервале влажности изменять свою форму без разрыва сплошности под воздействием внешнего давления и сохранять ее, когда внешнее воздействие прекратится.

Влажность, при которой грунт из одного состояния переходит в другое, называют **границей** (или **характерной**). Граничную влажность, при которой грунт переходит из твердого состояния в пластичное, называют **нижним пределом пластичности**, или влажностью на **границе раскатывания**, а граничную влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее, – **верхним пределом пластичности**, или влажностью на **границе текучести**. Определение границ текучести и раскатывание грунтов (ГОСТ 5180-2015) обычно проводят на образцах естественной влажности, но для грунтов, не содержащих органические вещества, допускается проводить испытания на образцах воздушно-сухого состояния.

Оборудование: балансный конус Васильева; ступка фарфоровая; пестик с резиновым наконечником; шпатель; сито; сосуд стеклянный с крышкой; чаша металлическая цилиндрической формы; бюксы; шкаф сушильный; технические весы; эксикатор; нож; стекло или калька.

Определение границы текучести

Граница текучести W_L характеризуется влажностью (в процентах) пасты, приготовленной из грунта и воды, в которую балансный конус погружается под действием собственной массы (76 г) за 5 с на глубину 10 мм (рис. 2).

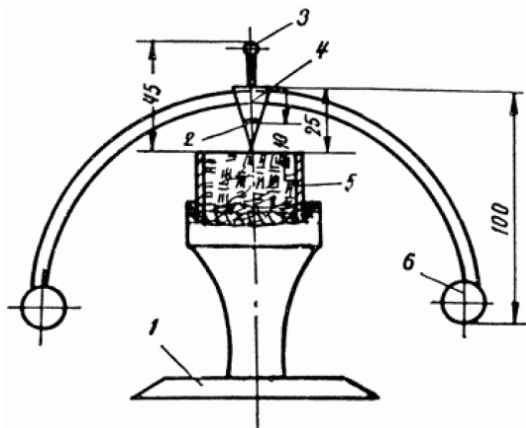


Рис. 2. Схема прибора для определения границы текучести:
 1 – подставка; 2 – круговая метка; 3 – ручка; 4 – конус с углом 30° ;
 5 – стаканчик с грунтом; 6 – балансирный шар

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

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

3. Подносят к поверхности грунтовой пасты, находящейся в стаканчике, конус (рис. 2) и наблюдают за его свободным погружением в течение 5 с.

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

При погружении конуса на глубину более 10 мм грунтовую пасту вынимают из стаканчика, кладут на стекло, перемешивают шпателем, дают ей немного подсохнуть и повторяют операции согласно п. 2 и 3. Погружение конуса в пасту в течение 5 с на глубину 10 мм указывает на достижение искомой границы текучести.

5. Отбирают из испытываемой пасты пробу массой 15 г и произво-

дят определение влажности (см. лабораторную работу 1). Выполняют не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах замеров свыше 2 % не допускается.

6. Результаты заносят в табл. 10.

Определение границы раскатывания

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

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

2. Из подсушенной пасты берут небольшие кусочки и раскатывают их на стекле или кальке до образования жгута диаметром 3 мм. Если при такой толщине грунтовый жгут начинает делиться поперечными трещинами на кусочки 3–10 мм, то считают, что предел раскатывания достигнут.

3. Набрав не менее 10–15 г жгута грунта в предварительно взвешенный бюкс, определяют его влажность (см. лабораторную работу 1). Если жгут начинает крошиться, не достигнув толщины 3 мм, добавляют несколько капель воды, затем вновь перемешивают и раскатывают. Если при толщине 3 мм жгут сохраняет эластичность и не крошится, его переминают руками, а затем снова раскатывают до толщины 3 мм.

4. Для каждого образца грунта производят не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах должно быть не более 2 %, в противном случае испытание повторяют. Данные опыта заносят в табл. 10.

Таблица 10. Определение границ текучести и раскатывания

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

Определение числа пластичности и показателя консистенции грунта

Разность между влажностями при пределе текучести и раскатывания называется **числом пластичности**:

$$I_p = W_L - W_p .$$

Глинистые грунты классифицируют по числу пластичности, руководствуясь данными табл. 11.

Таблица 11. **Виды глинистых грунтов**

Наименование грунта	Число пластичности, %
Супесь	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$

Зная характерные влажности W_L и W_p и естественную влажность W , можно определить **показатель консистенции** глинистого грунта по формуле

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

Глинистые грунты классифицируют по консистенции, руководствуясь данными табл. 12.

Таблица 12. **Наименования глинистых грунтов по консистенции**

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

Лабораторная работа 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБУХАНИЯ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

Набухаемостью грунтов называют их способность увеличиваться в объеме при увлажнении. Набухание определяет водоустойчивость глинистых грунтов и характеризуется приращением объема грунта в процессе насыщения его водой, влажностью набухания, силой набухания. Определяется расчетным методом по ГОСТ 12248-2010.

К набухающим грунтам относятся глинистые отложения, характерной особенностью которых является повышенная плотность и высокое содержание (65–85 %) глинистых частиц размером менее 0,005 мм. Такие грунты встречаются в Поволжье, на Северном Кавказе, в Казахстане, Крыму.

Набухание определяется для оценки устойчивости и деформируемости оснований сооружений, откосов, подземных сооружений, земляного полотна дорог.

Оборудование: прибор для определения набухаемости грунтов (ПНГ); прибор для определения влажности; сита; технические весы; часы или секундомер; нож; фарфоровые ступки с пестиком; фильтровальная бумага; стекла.

Набухание грунта определяется в приборе ПНГ (рис. 3), который состоит из режущего кольца 4, обоймы 2 с винтом 8, в отверстие которого устанавливается индикатор 1, перфорированного поддона 5, поршня 3 и ванночки 6.

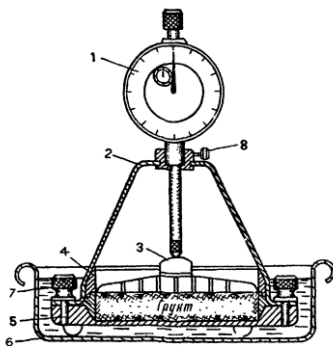


Рис. 3. Прибор ПНГ для определения величины набухания:

1 – индикатор; 2 – обойма; 3 – поршень; 4 – режущее кольцо;
5 – основание с перфорированным дном; 6 – ванночка; 7, 8 – зажимные винты

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

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

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

4. Отмечают первоначальное показание по индикатору.

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

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

6. Относительное набухание определяют по формуле

$$\varepsilon_{\text{отн}} = \frac{\Delta h}{h_0},$$

где Δh – приращение высоты образца по показаниям индикатора, мм;

h_0 – начальная высота грунта в кольце, мм.

Данные записывают в табл. 13.

Таблица 13. **Определение набухания грунта, начальная высота образца h_0 _____ мм**

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

7. Строят график скорости набухания грунта: на горизонтальной оси откладывают время, на вертикальной – величину относительного набухания.

8. После опыта прибор разбирают, извлекают образец и 1/4 часть помещают в бюкс для определения влажности (см. лабораторную работу 3). После высушивания устанавливают влажность набухания.

Лабораторная работа 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМОКАНИЯ ГРУНТА

Размокаемостью называют способность глинистых грунтов при впитывании воды терять связность и превращаться в рыхлую несвязную массу с полной потерей несущей способности. Размокают дисперсные грунты (особенно лессовые, глинистые, супесчаные), а также слабощементированные осадочные грунты с растворимым, неводостойким или глинистым цементом. Размокаемость зависит от химико-минерального состава, структурно-текстурных особенностей, влажности, плотности грунта, состава и концентрации взаимодействующего с грунтом водного раствора и других факторов.

Оборудование: прибор для определения размокаемости грунтов (ПРГ); прибор для определения влажности; сита; технические весы; часы или секундомер; нож; фарфоровые ступки с пестиком; стекла.

Скорость и характер размокания грунта определяют в приборе ПРГ-1 (рис. 4). Корпус изготовлен из прозрачного оргстекла, на которое нанесена шкала 9 с делениями от 0 до 25. На две опоры 5 устанавливается свободно качающаяся ось 8. На оси с помощью гайки укреплены стрелка 3 и рычаг 6. К дуговой части рычага подвешена с помощью гибкой связи 4 сетка 2, на которую устанавливается образец грунта.

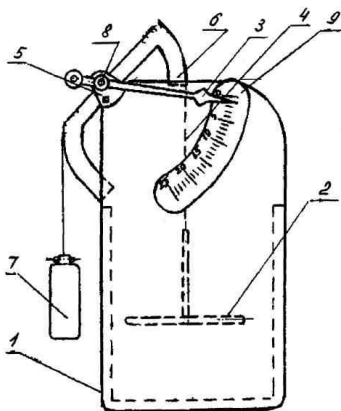


Рис. 4. Прибор ПРГ-1 для определения размокания грунтов:

- 1 – корпус; 2 – сетка с квадратными отверстиями; 3 – стрелка; 4 – гибкая связь;
5 – опора; 6 – скобообразный рычаг; 7 – противовес; 8 – качающаяся ось; 9 – шкала

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

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

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

4. Числовые отметки фиксируются через определенные промежутки времени (2; 5; 10; 15; 20; 30 мин и т. д.) распада образца. Все данные о количественных и качественных изменениях, происходящих с грунтом, заносят в табл. 14.

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

6. Определяют числовую характеристику скорости распада грунта под водой. Процент распада (размокаемость) вычисляется по следующей формуле:

$$\Pi = \frac{\Gamma - P}{\Gamma} \cdot 100 \%,$$

где Π – распад грунта, %;

Γ – начальная числовая отметка;

P – числовая отметка в процессе размокания.

Результаты определений записывают в табл. 14.

Таблица 14. **Определение размокания грунта**

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

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

Лабораторная работа 8. КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ

Наиболее важным деформационным свойством грунтов является их сжимаемость. **Сжимаемостью грунтов** называется их способность

уменьшаться в объеме (давать осадку) под действием внешней нагрузки. Определяется расчетным методом по ГОСТ 12248-2010.

Испытание на сжатие производят главным образом для изучения сжимаемости глинистых грунтов ненарушенной структуры естественной влажности или предварительно увлажненных до полного насыщения.

Сжимаемость грунтов характеризуется изменением коэффициента пористости при изменении давления без возможности бокового расширения. Изучение сжимаемости (деформируемости) грунтов позволяет установить закономерности и количественные показатели, необходимые для прогноза осадки зданий и сооружений. Подсчитать вероятную осадку основания можно только при наличии таких важнейших характеристик деформационных свойств грунтов, как коэффициент сжимаемости m_0 и модуль общей деформации E , определяемых в лаборатории или в полевых условиях. Испытание грунта завершается построением компрессионной кривой.

Коэффициент сжимаемости (или уплотнения) грунта m_0 выражает способность грунта сжиматься под нагрузкой и определяется как отношение изменения коэффициента пористости к приращению давления.

Модуль общей деформации E – это коэффициент пропорциональности между напряжениями и общими деформациями (упругими и пластичными).

Для испытания грунтов применяют компрессионные приборы различных систем (типа КП, КПр-1М, К-1, МГРМ и др.).

Оборудование: компрессионный прибор; индикаторы; нож; весы; бюксы; сушильный шкаф; эксикатор; фильтры бумажные; часы; штангенциркуль; тарировочный металлический вкладыш.

Прибор КПр-1М (рис. 5) состоит из одометра 1 и рычажно-дискового пресса 2.

Пресс предназначен для передачи на образец вертикальной нагрузки. Он смонтирован на специальном металлическом столе, состоящем из каркаса 3 с четырьмя металлическими ножками и плиты 4, в центре которой запрессован фиксатор для центрирования одометра. Рычажная система расположена под плитой пресса. Система состоит из двух секторов 7, установленных на общей оси, которая закрепляется на подвесках с помощью шарикоподшипников. Подвески крепятся к плите стола.

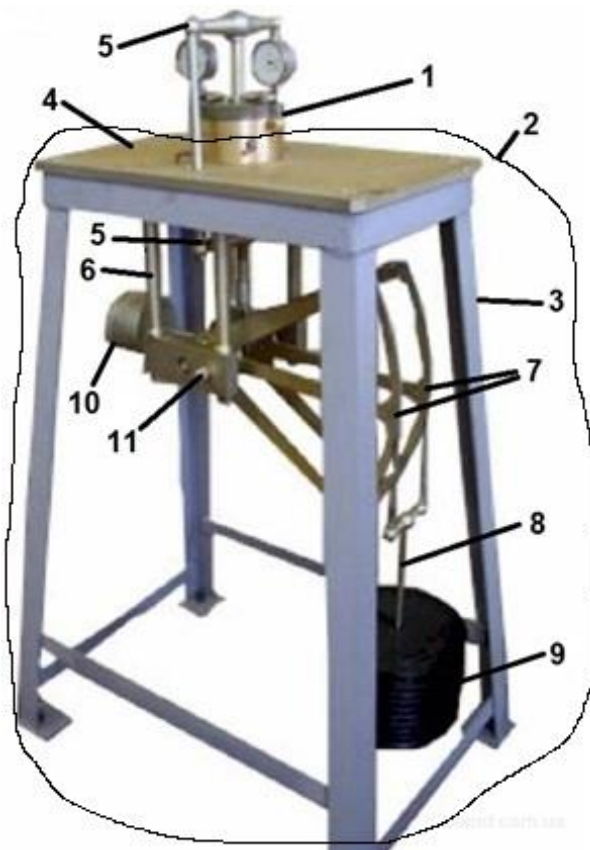


Рис. 5. Прибор КПр-1М для компрессионных испытаний образцов глинистых пород:
 1 – одометр; 2 – рычажно-дисковый пресс; 3 – ножки стола (каркас); 4 – плита пресси;
 5 – подвижная рама; 6 – жесткая подвеска; 7 – два сектора; 8 – подвеска;
 9 – грузы; 10 – противовес; 11 – стопорное устройство

Передача вертикальной нагрузки на образец осуществляется с помощью подвижной рамы 5, состоящей из верхнего и нижнего коромысел и двух тяг. Соединение секторов 7 с подвеской 8 для размещения грузов 9 с нижним коромыслом выполняется стальным канатом.

Общий вид *одометра* и его основные части показаны на рис. 6.

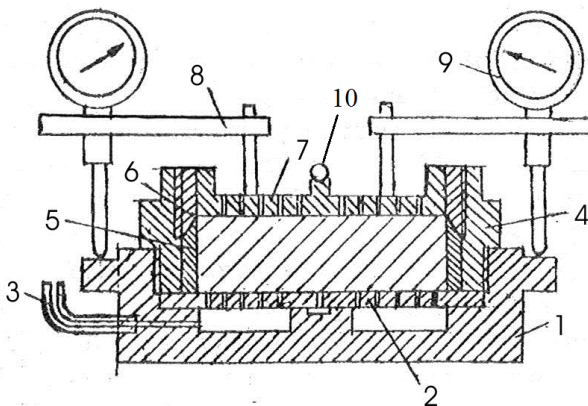


Рис. 6. Компрессионно-фильтрационный прибор (одомер):
 1 – корпус; 2 – перфорированное днище; 3 – водоотводная трубка; 4 – обойма;
 5 – грунтоотборочное кольцо с грунтом; 6 – стяжное кольцо; 7 – перфорированный поршень (штамп); 8 – консольные держатели; 9 – индикатор; 10 – шарик

При компрессионных испытаниях каждое сообщаемое образцу давление выдерживают до условной стабилизации деформации, за которую принимают величину сжатия грунта, не превышающую 0,01 мм, для песчаных грунтов – за 30 мин, супесей – за 3 ч, суглинков и глин – за 12 ч.

Регистрация деформаций образца в приборе производится непосредственным измерением осадки штампа прибора с помощью индикатора с ценой деления 0,01 мм.

Подготовка к испытанию. Работа проводится с заранее подготовленным глинистым грунтом пластичной консистенции нарушенной структуры.

1. Кольцо 5 (см. рис. 6) ставится острым краем на образец грунта и легким нажимом постепенно врезается в грунт. Лишний грунт вокруг кольца 5 удаляется ножом. Верхний и нижний торцы образца очень тщательно выравниваются ножом вровень с краями кольца. После этого кольцо 5 с внешней стороны тщательно очищается, протирается ветошью и смазывается. На торцы образца укладываются кружки фильтрованной бумаги, смоченные водой.

2. Кольцо 5 с образцом устанавливается острым краем вверх на днище 2 одометра.

3. На кольцо 5 одевают кольцо-обойму 4, строго соблюдая соосность и исключая перекосы. Силу не применять! Кольцо-обойма 4 ввинчивается в корпус 1 до упора.

4. В верхнюю часть кольца-обоймы 4 ввинчивается стяжное кольцо 6, обращенное острым краем вниз. Оно должно прижать кольцо 5 с грунтом к днищу 2.

5. Сверху на образец устанавливается штамп 7.

6. На штамп 7 устанавливаются консольные держатели 8 с индикаторами 9.

7. Смонтированный одометр ставится на панель стола прессы так, чтобы углубление в дне одометра попало на штифт, выступающий из панели стола.

8. В гнездо штампа 7 укладывается шарик 10.

9. Упор загрузочной рамки 5 (см. рис. 5), передающий вертикальное усилие, опускается так, чтобы верхняя половина шарика заняла место в углублении упора рамки.

10. Вращением гайки выпрямляется тяговый трос. При этом сектор 7 (см. рис. 5) должен занять горизонтальное положение.

11. Поворотом шкалы индикаторов устанавливаются начальный нулевой отсчет стрелок приборов.

Ход работы. 1. После установки нулевого отсчета стрелок приборов индикаторов дается первая ступень нагрузки на образец. Груз g , МН, для каждой ступени давления определяется из выражения

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

где P – ступень давления, МПа;

F – площадь образца, м²;

N – передаточное число системы рычагов.

2. Ожидается условная стабилизация деформации.

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

4. Аналогичным способом производятся наблюдения для следующих ступеней нагрузки.

5. По данным наблюдений вычисляются коэффициенты пористости, коэффициент сжимаемости и модуль общей деформации при соответствующих нагрузках. Данные заносятся в табл. 15.

Таблица 15. Результаты компрессионных испытаний

Общая нагрузка на образец, Н	Давление на образец, МПа	Показание индикатора			Деформация, мм			Коэффициент пористости	Коэффициент уплотнения, МПа ⁻¹	Модуль деформации, МПа
		n_1	n_2	среднее	образца и прибора	прибора	образца относительная			

Коэффициент пористости для каждой ступени давления вычисляется по следующей зависимости:

$$e = e_0 - \frac{\Delta h}{h_n} (1 + e_0),$$

где e_0 – начальный коэффициент пористости;

Δh – деформация образца грунта для каждой ступени давления;

h_n – начальная высота образца грунта, мм.

Коэффициент уплотнения (сжимаемости) подсчитывается по выражению

$$m_0 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{e_n - e_{n+1}}{P_{n+1} - P_n},$$

где e_n и e_{n+1} – коэффициенты пористости при заданных нагрузках;

m_0 – коэффициент сжимаемости (компрессии), МПа⁻¹;

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

Модуль общей деформации в определенных интервалах нагрузки вычисляется по формуле

$$E = \beta \frac{1 + e_0}{m_0},$$

где β – коэффициент стеснения поперечной деформации (для песчаных грунтов – 0,8, для супесей – 0,74, для суглинков – 0,62, для глин – 0,4);

e_0 – начальный коэффициент пористости.

6. По произведенным подсчетам строят компрессионные кривые, откладывают на оси абсцисс в принятом масштабе давление P , а на оси ординат – соответствующие им коэффициенты пористости e (рис. 7).

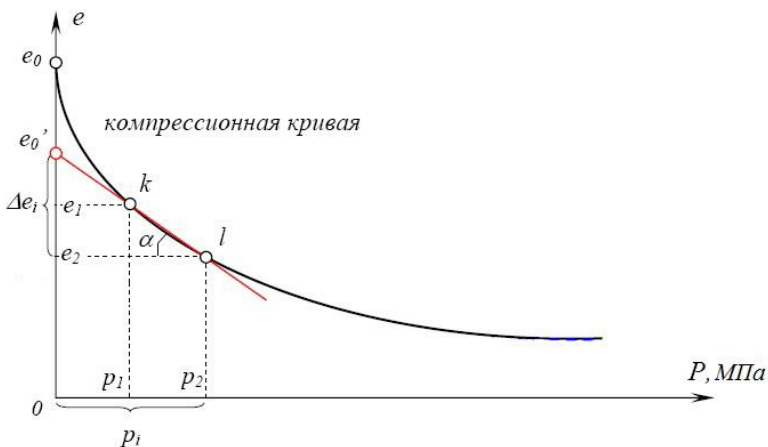


Рис. 7. График компрессионной кривой

Лабораторная работа 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ГРУНТА СДВИГУ (СРЕЗУ)

Изучение сопротивления грунтов сдвигающим усилиям имеет важное значение для правильной оценки устойчивости оснований различных сооружений, давления грунтов на подпорные стенки, устойчивости откосов и др.

Показатели сопротивления грунту сдвигу определяются различными способами: путем среза по одной или двум заданным плоскостям в сдвиговых приборах; путем раздавливания образцов в условиях одноосного или трехосного сжатия. Сопротивление определяется расчетным методом по ГОСТ 12248-2010.

Сопротивление грунтов сдвигу может быть охарактеризовано углом сдвига φ или тангенсом этого угла, который называют коэффициентом сдвига $\operatorname{tg} \varphi$.

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

где τ – сдвигающее усилие, МПа;

P – нормальное давление к плоскости сдвига, МПа.

Условно сопротивление сдвигу делят на внутреннее трение и сцепление, которые характеризуются соответственно коэффициентами внутреннего трения или углом внутреннего трения φ и сцепления C .

Сдвигающее напряжение (сопротивляемость грунта сдвигу), выраженное законом Кулона, равно:

$$\tau = P \cdot \operatorname{tg} \varphi + C,$$

где τ – суммарное сопротивление сдвигу, МПа;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения;

C – сцепление, МПа.

Сопротивление сдвигу одного и того же грунта различно и зависит от плотности, влажности, условий производства испытаний и др.

Лабораторную работу можно выполнять на приборах ГПП-30, Гидропроекта, ПСГ-2М, приборе Маслова и др. Для построения зависимости необходимо иметь несколько точек (по ГОСТ 12248-2010 не менее 9), поэтому испытания проводят на нескольких образцах, взятых из одного монолита.

Оборудование: сдвиговой прибор; прибор для предварительного уплотнения; индикаторы; нож; технические весы; сушильный шкаф; бюксы; эксикатор; фильтры бумажные; часы (секундомер).

Прибор ГПП-30 (рис. 8) состоит из следующих основных узлов: рабочего столика; срезывателя; загрузочного устройства, обеспечивающего передачу вертикального давления на образец грунта; подъемного устройства подвижной панели и механизма для передачи на образец горизонтального сдвигающего усилия. Весь прибор монтируется на металлическом столе, основными частями которого являются сварная станина 1 и металлическая панель 2. Правильная установка прибора, обеспечивающая горизонтальное положение панели, достигается с помощью установочных винтов 3, расположенных в металлических стойках стола. Центральная часть панели может перемещаться около горизонтальной оси. Эта часть называется подвижной панелью 4. Подвижная панель приводится в движение и удерживается в любом положении наклона с помощью подъемного механизма, состоящего из маховика с винтом 5, трубчатой тяги 6 и кронштейна 7. Кронштейн соединен с подвижной панелью.

На подвижной панели смонтированы срезыватель 8 и кронштейны 9, на которых укреплены индикаторы для измерения вертикальных деформаций 10 и горизонтальных деформаций 11.

Вертикальное давление на грунт передается механизмом, состоящим из ползуна 12, скользящего секторного рычага 13 и рамы 14. Рама имеет два коромысла (верхнее и нижнее), соединяющиеся между собой тягами. Верхнее коромысло соединяется с тягами шарнирно, нижнее – жестко.

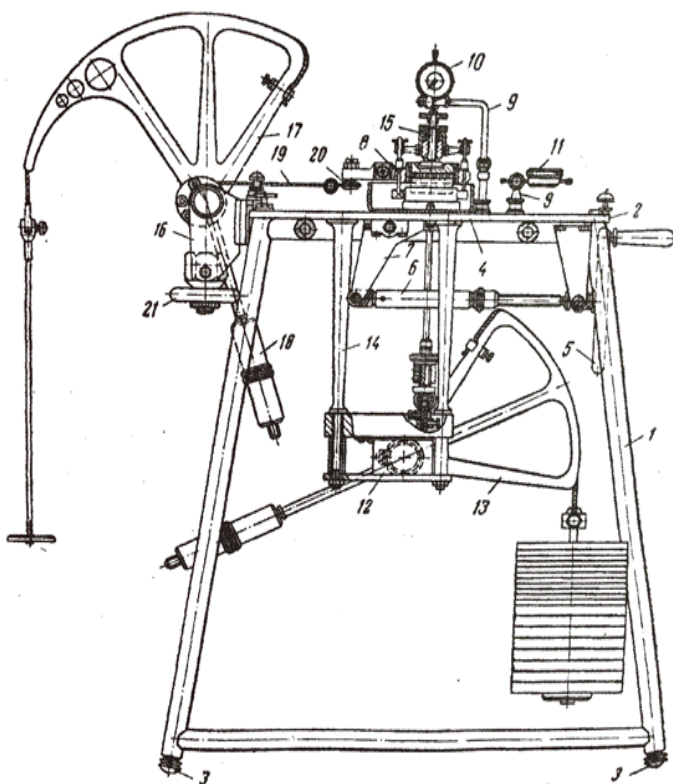


Рис. 8. Прибор для испытания грунтов на сдвиг ГП-30:

- 1 – сварная станина; 2 – металлическая панель; 3 – установочные винты;
 4 – подвижная панель; 5 – маховик с винтом; 6 – трубчатая тяга; 7, 9 – кронштейны;
 8 – срезыватель; 10 – индикатор для измерения вертикальных деформаций;
 11 – индикатор для измерения горизонтальных деформаций; 12 – ползун;
 13 – скользящий секторный рычаг; 14 – рама; 15 – винт; 16 – подвижный кронштейн;
 17 – рычаг горизонтального усилия; 18 – противовес; 19 – трос;
 20 – соединительная скоба срезывателя; 21 – тормоз

В центре верхнего коромысла имеется винт 15, регулирующий положение штампа. Двумя другими винтами на коромысле закрепляются штамп и планка установочных винтов. В центре нижнего коромысла также имеется винт, которым регулируется положение рамы в вертикальной плоскости. Вверху винт заканчивается маховичком, внизу –

соединительной вилкой, последняя соединяется с оголовником троса ползущего рычага. Соединяются они шарнирно, круглой осью.

Механизм горизонтального давления крепится на подвижном кронштейне 16, который может перемещаться по панели в вертикальном и горизонтальном направлениях на 8–10 мм. Рычаг горизонтального усилия 17 имеет форму сектора. Уравновешивается он противовесом 18. Соотношение плеч рычага 1:10. На оси рычага укреплен эксцентричный тормозной диск. На малом плече рычага укреплен трос 19, с помощью которого рычаг соединяется с соединительной скобой 20 срезывателя. На вертикальной панели кронштейна укреплен тормоз 21.

Срезыватель (рис. 9) имеет две загрузочные системы: одну – для создания вертикального давления на грунт, постоянного на все время опыта, и другую – для получения горизонтальной сдвигающей нагрузки, которая возрастает в процессе опыта.

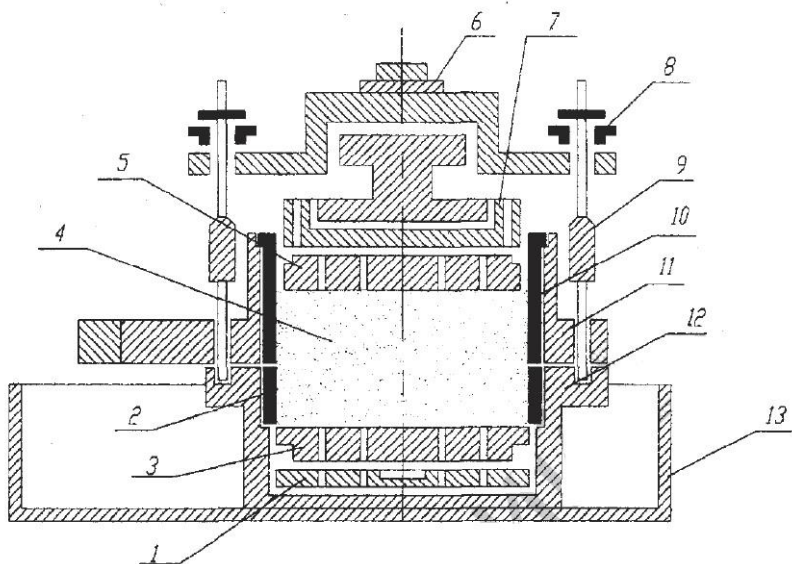


Рис. 9. Схематический разрез сдвигового прибора (срезывателя):

- 1 – дно нижней обоймы; 2 – нижнее кольцо; 3 – нижний перфорированный диск;
- 4 – грунт; 5 – верхний перфорированный диск; 6 – гайка зазора; 7 – штамп; 8 – гайка;
- 9 – установочный винт; 10 – верхнее кольцо; 11 – верхняя обойма; 12 – нижняя обойма;
- 13 – ванна

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

Ход работы. 1. Образец грунта отбирают кольцом.

2. Кольцо с грунтом закладывают в цилиндр.

3. Цилиндр помещают в ванну прибора предварительного уплотнения и устанавливают на перфорированный металлический диск. Сверху и снизу образца грунта укладывается фильтровальная бумага.

4. На образец грунта сверху устанавливают перфорированный поршень.

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

6. После стабилизации осадки образца под заданным давлением рабочий цилиндр с заключенным в нем образцом устанавливают в ванну сдвигового прибора (см. рис. 9).

7. Установочные винты 9 вращением выводят из углубления нижней обоймы 12. Поворотом гайки 6 делают зазор от 0,5 до 1 мм.

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

9. В случае медленного сдвига стабилизация горизонтальной деформации считается достигнутой при ее скорости, не превышающей 0,01 мм/мин. За величину сопротивления грунта сдвигу принимается значение горизонтального усилия, при котором подвижная каретка сдвигового прибора смещается относительно неподвижной на 2–3 мм.

10. Сдвигающее усилие τ , МПа, вычисляют по формуле

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

где g – вес груза на подвеске, Н;

N – передаточное число рычага;

F – площадь образца, м².

11. Повторяют операции п. 1–10 для давлений $P_2 = 0,2$ МПа и $P_3 = 0,3$ МПа. Результаты опытов заносят в табл. 16.

Таблица 16. **Определение сопротивляемости грунта сдвигу при различных нормальных давлениях**

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

12. Строят график зависимости сдвигающего напряжения от вертикального давления (рис. 10).

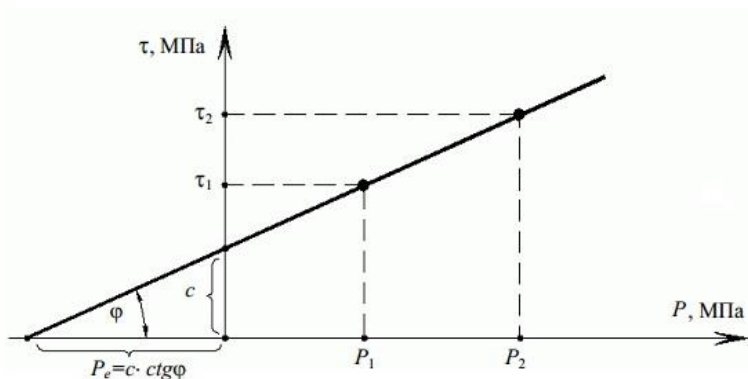


Рис. 10. График зависимости сопротивления сдвигу от нормальных напряжений (консолидированный сдвиг): третья экспериментальная точка на графике условно не показана

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

$$\text{tg } \varphi = \frac{\Delta \tau}{\Delta P} ; C = \tau - P \cdot \text{tg } \varphi,$$

где $\Delta \tau$ и ΔP — разности сопротивления сдвигу и нормального давления.

Лабораторная работа 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Водопроницаемостью грунтов называют их способность пропускать (фильтровать) через свои поры воду.

Показателем водопроницаемости является **коэффициент фильтрации K** , который представляет собой скорость фильтрации при гидравлическом градиенте, равном единице. Определяется расчетным методом по ГОСТ 25584-90.

Для определения коэффициента фильтрации грунтов существует ряд методов, которые могут быть подразделены на три основные группы: 1) полевые определения с помощью опытных откачек, наливов и др.; 2) лабораторное определение в приборах; 3) косвенное определение путем вычисления по данным гранулометрических анализов и пористости грунта.

Коэффициент фильтрации в лабораторных условиях определяется с помощью приборов, которые могут быть разделены на две группы. Первую группу представляют компрессионно-фильтрационные приборы, позволяющие учесть влияние нагрузки при определении коэффициента фильтрации; вторую – приборы, в которых коэффициент фильтрации определяется без учета влияния нагрузки.

Коэффициент фильтрации является основным расчетным показателем для вычисления возможного притока воды в строительные котлованы, проектирования дренажных устройств, определения потерь на фильтрацию в гидротехническом строительстве и т. п. Коэффициент фильтрации K имеет размерность скорости: см/с, м/сут и т. д.

Ориентировочные значения коэффициента фильтрации имеют следующие грунты: песок крупный – 60–30 м/сут; песок средней крупности – 30–10 м/сут; песок мелкий – 10–5 м/сут; песок пылеватый – 5–2 м/сут; супесь – 2–1 м/сут; суглинок – 1–0,1 м/сут; глина – 0,1 м/сут.

Оборудование: прибор для определения коэффициента фильтрации; сита; весы лабораторные; термометр; секундомер; нож; лопатка; стекла.

Прибором КФ-00М (рис. 11) определяется коэффициент фильтрации песчаных грунтов нарушенного и ненарушенного сложения при напорных градиентах от 0 до 1. Прибор состоит из фильтрационной трубки и внешнего стакана, позволяющего насыщать грунт и регулировать напор воды. Фильтрационная трубка состоит из основного ме-

таллического цилиндра *1* с заостренным краем, перфорированного дна *3*, которое надевается на нижнюю часть цилиндра, и сетки *4*, вставляемой в дно. На верхней части цилиндра устанавливается муфта *2* с сеткой *4* и со стеклянным баллоном *9* (мерный сосуд), на одной стороне которого нанесена шкала. Внешний стакан (корпус) *6* состоит из упорного дна, винта *8*, шкалы *10*. На шкале *10* нанесены деления напорного градиента от 0 до 1 с ценой деления 0,02.

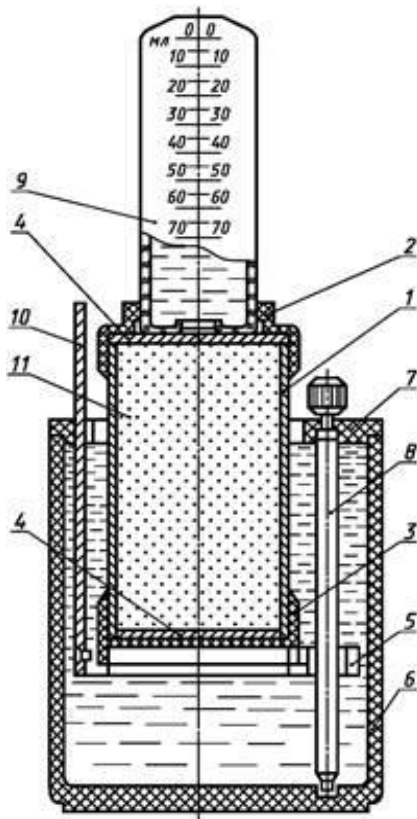


Рис. 11. Прибор КФ-00М: *1* – цилиндр; *2* – муфта; *3* – перфорированное дно; *4* – латунная сетка; *5* – подставка; *6* – корпус; *7* – крышка; *8* – подъемный винт; *9* – стеклянный баллон со шкалой объема фильтрующей жидкости; *10* – планка со шкалой градиентов напора; *11* – испытуемый образец грунта

Ход работы. 1. Из корпуса прибора извлекают фильтрационную трубку 1, снимают муфту 2 с сеткой 4 и мерным баллоном 9.

2. Заполняют трубку испытываемым грунтом.

3. Во внешний стакан 6 наливают воду и вращением винта 8 поднимают упорное дно 5 до совмещения отметки на шкале 10 напорного градиента 1 с верхним краем крышки.

4. На упорное дно 5 устанавливают фильтрационную трубку с грунтом. Вращением винта 8 медленно погружают фильтрационную трубку с грунтом до отметки напорного градиента 0,8. В таком положении оставляют прибор до момента появления влаги на поверхности грунта. Площадь поперечного сечения трубки равна 25 см².

5. На грунт помещают сетку 4, надевают на трубку муфту 2 и вращением винта 8 опускают фильтрационную трубку в крайнее нижнее положение.

6. Заполняют мерный баллон 9 водой, закрывают его отверстие большим пальцем и, быстро опрокинув, вставляют в муфту фильтрационной трубки так, чтобы горлышко баллона соприкасалось с сеткой. В таком виде мерный баллон поддерживает над грунтом постоянный уровень воды в 1–2 мм.

7. Устанавливают шкалу 10 на заданный градиент и доливают воду во внешний стакан 6 до верхнего края.

8. Отмечают по шкале уровень воды в мерном баллоне 9, пускают секундомер и по истечении определенного времени (50–100 с – для среднезернистых грунтов, 250–500 с – для пылеватых песков) замечают второй уровень воды в мерном баллоне 9. Это позволяет определить расход воды, профильтровавшейся через грунт за время t с.

9. По данным опыта производят расчет коэффициента фильтрации по формуле

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

где K_{10} – коэффициент фильтрации при температуре 10 °С, м/сут;

Q – объем профильтровавшейся воды, см³;

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

F – площадь поперечного сечения фильтрационной трубки, см²;

I – напорный градиент;

r – температурная поправка ($0,7 + 0,03t_0$);

t_0 – температура воды при опыте;

864 – переводной коэффициент см/с в м/сут.

10. Повторяют опыт при различных значениях градиента напора.
 11. Все данные наблюдений заносят в табл. 17.

Таблица 17. **Определение коэффициента фильтрации в приборе**

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

Лабораторная работа 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТА

Просадочностью грунтов называют их способность резко уменьшаться в объеме при увлажнении под нагрузкой (собственной массой грунтов и массой сооружений). Определяется расчетным методом по ГОСТ 23161-2012.

Просадочные грунты характеризуются относительной просадочностью ε_{sl} – относительным сжатием грунтов при заданном давлении после их замачивания; начальным просадочным давлением p_{sl} – минимальным давлением, при котором проявляются просадочные свойства грунтов при их полном водонасыщении; начальной просадочной влажностью w_{sl} – минимальной влажностью, при которой проявляются просадочные свойства грунтов.

К просадочным обычно относят лессы и лессовидные суглинки при степени влажности $G < 0,8$ и относительной просадочности $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$.

Испытания по определению просадочности грунта проводятся в компрессионных приборах. Для испытаний применяют компрессионные приборы (одометры) типа КП, К-1 и др., а также прибор системы ПЛЛ И. М. Литвинова. Процесс испытания аналогичен компрессионным испытаниям.

Оборудование: компрессионные приборы, обеспечивающие подачу воды к образцу снизу и измерение вертикальных деформаций образцов грунта.

Компрессионный прибор ПЛЛ-9 (рис. 12), включенный в состав полевой лаборатории И. М. Литвинова, позволяет производить исследования как сжимаемости грунтов под нагрузкой, так и просадочных и фильтрационных свойств грунтов.

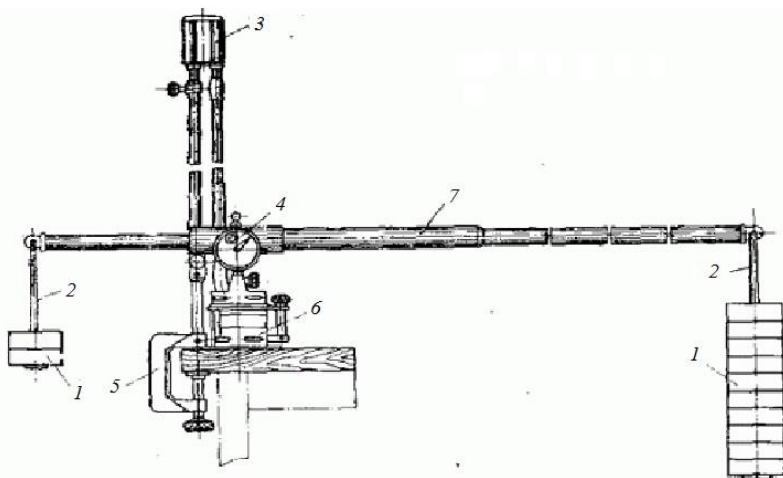


Рис. 12. Компрессионный прибор из полевой лаборатории И. М. Литвинова:
 1 – гири; 2 – подвески к рычагу; 3 – штатив с воронкой; 4 – индикатор; 5 – зажимное устройство (струбцина); 6 – основная часть прибора (одометр); 7 – рычажная система

Следует отметить, что в отличие от других приборов, применяемых в изыскательской практике, одометр 6 приспособлен к работе в полевых условиях. Для достижения этой цели прибор снабжен специальным переносным зажимным устройством 5, с помощью которого он может быть надежно прикреплен к любому предмету: столу, скамье, доске и пр. Приложение внешней нагрузки к испытываемому образцу осуществляется с помощью простого раздвижного рычага 7, который прикрепляется к тому же зажимному устройству 5. Для насыщения образца во время опыта водой, а также для возможности определения фильтрационных свойств грунта имеется специальный резервуар для воды, соединенный резиновой трубкой с основной частью прибора 6.

Основание прибора 2 служит для опирания на него гильзы с образцом грунта 3 (рис. 13). В выемку поверхности основания помещают нижний дренажный диск, снабженный вертикальными отверстиями

для пропуска воды. Под дренажным диском имеется свободное пространство. Две боковые трубки с ниппелями служат: одна – для наполнения нижней части прибора водой, другая – для вытеснения воздуха.

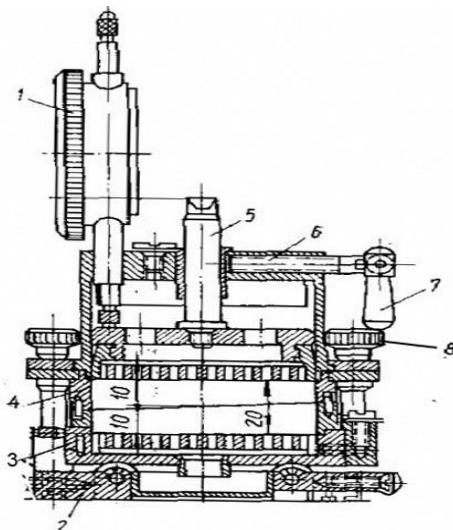


Рис. 13. Схематический разрез прибора ПЛЛ-9 (одеметр):

1 – индикатор; 2 – основание прибора; 3 – нижняя подвижная часть гильзы для грунта (каретка); 4 – верхняя неподвижная часть гильзы; 5 – дренажный поршень со штоком; 6 – направляющий цилиндр; 7 – зажимной винт; 8 – упорные винты

Компрессионная гильза 4 является облоймой для образца грунта при его испытании. Для установки гильзы 3 с образцом в приборе предусмотрена специальная выточка. Верхняя часть прибора служит для установки поршня 5 и обеспечения вертикального перемещения его при испытании грунта. В поршне 5 закрепляют верхний дренажный диск с отверстиями для пропуска воды. Специальный винт 7 позволяет закреплять шток поршня для предотвращения набухания образца грунта при его насыщении водой.

Штатив с воронкой предназначен для подачи к исследуемому образцу грунта воды под разными напорными градиентами при определении коэффициента фильтрации, коэффициента просадочности и при обычных компрессионных испытаниях. Раздвижная трубка штатива обеспечивает установку воронки на нужной высоте.

Раздвижное рычажное приспособление имеет размер, обеспечивающий передачу на шток компрессионного прибора заданной нагрузки.

Образцы грунта цилиндрической формы имеют: высоту – 20 мм, площадь поперечного сечения – 25 см² (диаметр – 56,5 мм) и объем – 50 см³.

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

2. Кольцо заполняют лессовидным грунтом естественной структуры и влажности.

3. Кольцо с грунтом взвешивают.

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

5. После стабилизации осадки при заданной нагрузке образец замачивают.

6. При достижении стабилизации осадки от замачивания прикладывают следующую ступень нагрузки. Уплотнение ведут до нагрузки 0,3–0,6 МПа.

7. По показаниям индикатора вычисляют абсолютную деформацию грунта, соответствующую каждой нагрузке, и относительное сжатие образца:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h_0},$$

где Δh_i – абсолютная деформация (осадка и просадка) образца грунта, мм;

h_0 – высота образца грунта с природной влажностью при природном давлении (высота рабочего кольца), мм.

Данные записывают в табл. 18.

Таблица 18. **Определение просадочности грунта, начальная высота образца h_0 _____ мм**

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

8. Строят графическую зависимость коэффициента пористости от давления (рис. 14), определяют относительную просадочность грунта:

$$\varepsilon_{sl} = \frac{\Delta h_{sl}}{h_0} = \frac{h' - h_{sat.p}}{h_0},$$

где Δh_{sl} – дополнительная деформация (просадка) грунта в результате замачивания;

h' – высота образца грунта с природной влажностью при заданном давлении;

$h_{sat.p}$ – высота образца грунта после дополнительного сжатия (просадки) в результате замачивания.

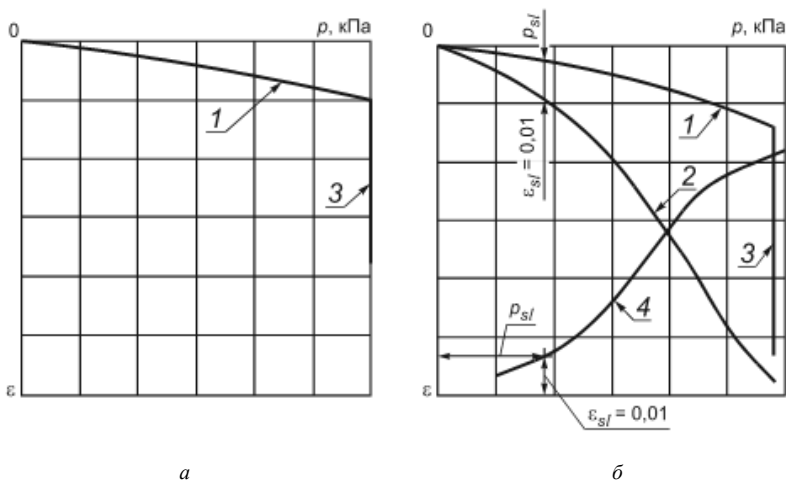


Рис. 14. Графики испытаний просадочного грунта в компрессионном приборе:

а – по схеме «одной кривой»; б – по схеме «двух кривых»

1, 2 – относительное сжатие ε_e грунта с природной влажностью в водонасыщенном состоянии ε_w в зависимости от давления; 3 – дополнительное относительное сжатие грунта в результате замачивания при заданном давлении p_3 ; 4 – зависимость относительной просадочности ε_{sl} от давления; p_{sl} – начальное просадочное давление

Лабораторная работа 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

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

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

Оборудование: приборы для определения угла естественного откоса; совок; сито с отверстиями диаметром 3 мм.

Прибор УВТ-2 (рис. 15) состоит из опорного столика 3 с мелкими сквозными отверстиями, шкалы 1, укрепленной в центре столика, и съемного конуса 4. В комплект прибора входит стеклянный сосуд 2 для выполнения опытов под водой.

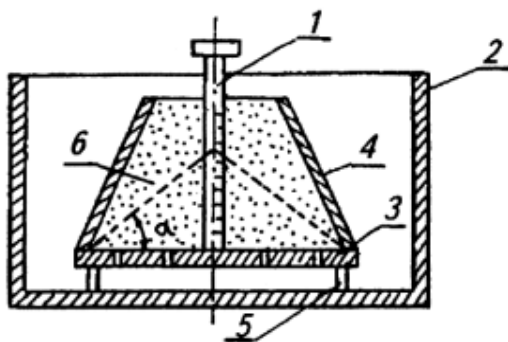


Рис. 15. Схема прибора для определения угла естественного откоса УВТ-2:

1 – шкала; 2 – стеклянный сосуд; 3 – опорный столик;
4 – съемный конус; 5 – опоры; 6 – песчаный грунт

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

2. На опорный столик устанавливают съемный конус.

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

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

5. Для определения угла естественного откоса песка под водой поле заполнения конуса песком стеклянный цилиндр наполняют водой. Как только песок полностью увлажнится, определяют угол естественного откоса описанным выше способом. После 3–4-кратного повторения опыта берут среднее арифметическое значение. Данные опытов заносят в табл. 19.

Таблица 19. Определение угла естественного откоса песчаного грунта

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

Прибор из полевой лаборатории И. М. Литвинова (рис. 16) состоит из прозрачного оргстекла в виде прямоугольного ящика с нанесенными по краям линейными значениями высоты и длины, выдвижной створки l .

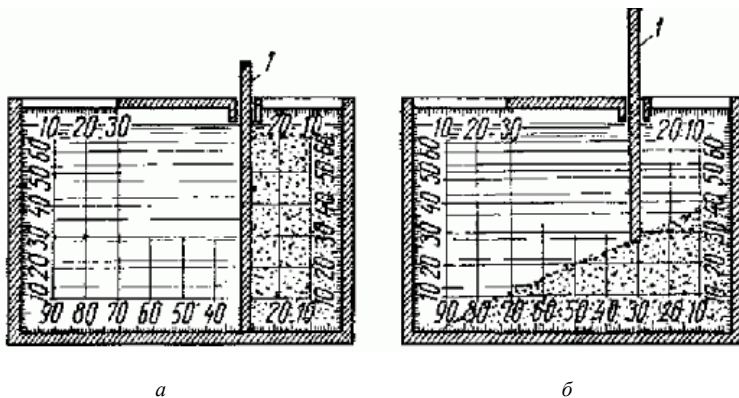


Рис. 16. Общий вид прибора из полевой лаборатории И. М. Литвинова для определения угла естественного откоса песков:
a – при закрытой выдвижной створке; *б* – при выдвинутой створке; *l* – створка

Ход работы. 1. Прибор ставят на стол. Выдвижная створка l при этом опущена до дна.

2. В малое отделение прибора до верха насыпают испытываемый грунт.

3. После этого постепенно поднимают выдвижную створку, следя за тем, чтобы не было толчков; при этом прибор придерживают рукой. Грунт частично пересыпается в другое отделение, пока наступает положение равновесия. Угол между плоскостью свободного откоса и горизонтальной плоскостью и есть угол естественного откоса, который можно определить транспортиром или по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l},$$

где h – высота естественного откоса грунта, см;

l – основание естественного откоса грунта, см.

4. По делениям на днище и боковой стенке отсчитывают высоту и заложение откоса и вычисляют тангенс угла естественного откоса, отсчеты ведут с точностью до 1 мм.

5. Определение угла естественного откоса грунта в подводном состоянии отличается от предыдущего тем, что после того как в малое отделение прибора насыпан испытываемый грунт, в большое отделение до верха наливают воду. Выдвижную створку поднимают на несколько миллиметров, чтобы вода могла проникнуть в малое отделение. Когда весь грунт пропитается водой, поднимают створку выше и испытание продолжают так же, как и при испытании грунта в воздушно-сухом состоянии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грунты. Классификация: СТБ 943-2007. – Введ. 18.07.07. – Минск: Госстандарт, 2007. – 20 с.
2. Грунты. Классификация: ГОСТ 25100-2011. – Введ. 01.01.13. – М.: Стандартиформ, 2013. – 42 с.
3. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536-2014. – Введ. 01.07.15. – М.: Стандартиформ, 2015. – 22 с.
4. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: ГОСТ 5180-2015. – Введ. 01.04.16. – М.: Стандартиформ, 2016. – 23 с.
5. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости: ГОСТ 12248-2010. – Введ. 19.04.11. – М.: Стандартиформ, 2012. – 82 с.
6. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации: ГОСТ 25584-90. – Введ. 01.09.90. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 24 с.
7. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности: ГОСТ 23161-2012. – Введ. 01.07.13. – М.: Стандартиформ, 2013. – 16 с.
8. Основания и фундаменты: справочник / Г. И. Швецов [и др.]. – М.: Высш. шк., 1991. – 383 с.
9. Грунтоведение и строительные материалы: метод. указания к лабораторным работам / Бел. с.-х. акад.; сост. Л. В. Шуляков. – Горки: БСХА, 1993. – 72 с.
10. Основания и фундаменты: метод. указания к лабораторным работам по механике грунтов / Бел. с.-х. акад.; сост.: Л. В. Понасенко, В. И. Кумачев. – Горки: БСХА, 1983. – 32 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Классификация грунтов	4
Лабораторная работа 1. Определение гранулометрического состава песчаного грунта.....	6
Лабораторная работа 2. Определение влажности грунта	10
Лабораторная работа 3. Определение плотности грунта.....	11
Лабораторная работа 4. Определение плотности частиц грунта.....	15
Лабораторная работа 5. Определение пределов пластичности глинистого грунта.....	17
Лабораторная работа 6. Определение набухания глинистого грунта.....	21
Лабораторная работа 7. Определение размокания грунта.....	23
Лабораторная работа 8. Компрессионные испытания грунтов.....	24
Лабораторная работа 9. Определение сопротивляемости грунта сдвигу (срезу).....	30
Лабораторная работа 10. Определение коэффициента фильтрации песчаного грунта.....	36
Лабораторная работа 11. Определение просадочности грунта	39
Лабораторная работа 12. Определение угла естественного откоса песчаного грунта.....	44
Библиографический список	47