

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсу

«Механика грунтов, основания и фундаменты»

для студентов дневной и заочной форм обучения

по специальностям 1-70 02 01, 1-70 02 02, 1-70 04 03 и 1-74 05 01

Брест 2007

УДК 624.131.7

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

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии и рекомендованы к изданию (протокол № 9 от 06.02.07 г.).

Составители: П.С. Пойта, профессор, д.т.н.
П.В. Шведовский, профессор, к.т.н.
А.Н. Тарасевич, доцент, к.т.н.
А.М. Климук, доцент
Г.П. Дёмина, ассистент

Ответственный за выпуск: П.С. Пойта, заведующий кафедрой,
д.т.н., профессор

Рецензент: В.Н. Деркач, зам. директора научно-технического

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа № 1. Отбор, упаковка и транспортирование образцов пород для лабораторных исследований (ГОСТ 12071-2000)...	5
Лабораторная работа № 2. Определение гранулометрического состава песчаных грунтов ситовым методом (ГОСТ 12536-79)	8
Лабораторная работа № 3. Определение гранулометрического состава грунта полевым методом (ГОСТ 12536-79)	11
Лабораторная работа № 4. Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы (ГОСТ 5180-84)	13
Лабораторная работа № 5. Определение плотности грунта методом режущего кольца (ГОСТ 5180-84)	14
Лабораторная работа № 6. Определение плотности частиц грунта (ГОСТ 5180-84)	17
Лабораторная работа № 7. Определение плотности сухого грунта, пористости, коэффициента пористости и степени влажности (ГОСТ 5180-84)	19
Лабораторная работа № 8. Определение пластичности пылеватоглинистых грунтов (ГОСТ 5180-84)	20
Лабораторная работа № 9. Определение показателей сжимаемости грунта в компрессионном приборе (одометре) (ГОСТ 12248-96) ..	23
Лабораторная работа № 10. Определение показателей прочности грунта методом прямого среза образца (ГОСТ 12248-96)	27
Лабораторная работа № 11. Определение угла естественного откоса песчаных грунтов	31
Лабораторная работа № 12. Анализ полученных результатов и определение физико-механических характеристик грунтов (ГОСТ 20522-96)	32
ЛИТЕРАТУРА	34
ПРИЛОЖЕНИЯ	35
Приложение А	36
Приложение Б	40
Приложение В	42

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторных занятий по курсу «Механика грунтов, основания и фундаменты» 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.

Лабораторная работа № 1

Отбор, упаковка и транспортирование образцов пород для лабораторных исследований (ГОСТ 12071-2000)

Достоверность результатов лабораторного изучения физико-механических свойств горных пород (грунтов) зависит от правильности отбора образцов, сохранения их природного состояния в процессе отбора, транспортировки и хранения.

Отбор монолитов образцов грунтов из горных выработок

Отбор монолитов (образцов грунта) производят из горных выработок (шурфов, скважин) с помощью ножа, лопаты, грунтоноса. Монолит, сохраняющий форму без жесткой тары, необходимо отбирать в виде куска породы, из которого затем следует вырезать образцы необходимого размера. При отборе монолита не допускается нарушение сложения грунта.

Монолит, не сохраняющий форму без жесткой тары, следует отбирать методом режущего кольца. Для этого, предварительно 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. Затем кольцо как бы насаживают на столбик грунта, срезая лишний грунт с боков. Перекосы кольца при этом не допускаются. Операцию вырезания столбика грунта и погружения кольца в грунт продолжают до полного заполнения кольца. После заполнения кольца грунт, выступающий сверху, срезают ножом вровень с краями кольца, осторожно очищают от грунта наружную поверхность кольца и накрывают крышкой. Затем, поддерживая кольцо с грунтом рукой, подрезают столбик грунта на 8-10 мм ниже низа кольца, отделяют кольцо с грунтом и, перевернув, производят зачистку второй поверхности. После этого закрывают кольцо второй крышкой.

Упаковка образцов

Образцы породы нарушенного сложения, для которых не требуется сохранения природной влажности, следует укладывать в тару (обычно мешочки из плотной материи, плотной водостойкой бумаги или синтетических пленок).

Образцы породы нарушенного сложения, для которых требуется сохранение природной влажности, необходимо укладывать в коррозионно-стойкие металлические или пластмассовые банки с герметически закрывающимися крышками.

Образцы породы нарушенного сложения, предназначенные для определения природной влажности, допускается укладывать в мешочки из синтетической пленки при условии взвешивания образцов немедленно после их отбора.

Вместе с образцом нарушенного сложения внутрь тары, не имеющей выгравированного номера, следует вкладывать этикетку, завернутую в кальку и покрытую слоем парафина; второй экземпляр этикетки необходимо наклеивать на тару. Содержание этикетки допускается надписывать на таре. Если тара имеет выгравированный номер, то все записи следует делать в журнале со ссылкой на номер тары.

Монолиты, отобранные из горных выработок и буровых скважин, необходимо немедленно изолировать от наружного воздуха.

Монолит, не помещаемый в жесткую тару, следует запарафинировать. Для этого его туго обматывают слоем марли, предварительно пропитанной расплавленным парафином, смешанным с гудроном. Затем весь монолит в марле покрывают слоем парафина, обматывают вторым слоем марли (также пропитанной парафином) и еще раз покрывают слоем парафина толщиной не менее 1 мм. До парафинирования на верхнюю поверхность монолита следует положить этикетку, завернутую в кальку и покрытую парафином. Второй экземпляр этикетки, смоченной расплавленным парафином, необходимо прикрепить сверху запарафинированного монолита и также покрыть тонким слоем парафина.

Монолиты, отобранные в жесткую тару, необходимо упаковывать в этой же таре. Открытые торцы тары следует закрывать жесткими крышками с резиновыми прокладками. Если резиновые прокладки отсутствуют, места соединения крышки с тарой надлежит покрыть двойным слоем изоляционной ленты или залить расплавленным парафином. При отсутствии жестких крышек торцы следует парафинировать. В последнем случае перед заливкой парафина на открытые торцы необходимо положить два-четыре слоя марли, пропитанной парафином. Сверху монолита между резиной и крышкой или между слоями парафина следует положить этикетку, вторую этикетку необходимо прикрепить на боковой поверхности жесткой тары.

Парафин, применяемый для изоляции монолитов, должен иметь температуру несколько выше точки его плавления (обычно 57-60 С).

Для увеличения пластичности парафина в него необходимо добавлять 35-50% (по массе) гудрона. Для изоляции монолитов допускается применение, вместо смеси парафина с гудроном, заменителей (например, смесь 60% парафина, 25% воска, 10% канифоли и 5% минерального масла или смесь 37,5% воска, 37,5% канифоли, 25% окиси железа).

На этикетке образца должны быть указаны:

- 1) наименование организации, проводящей изыскания;
- 2) название или номер изыскательской партии (экспедиции) (группа №, бригада №);
- 3) наименование объекта (участка);
- 4) номер образца;
- 5) название выработки и ее номер;
- 6) глубина отбора образца;
- 7) название породы по визуальному определению;
- 8) должность и фамилия лица, производившего отбор образца, и его подпись;
- 9) дата отбора образца.

Этикетки следует заполнять четко, простым графитовым карандашом, чтобы исключить возможность обесцвечивания или расплывания записей. Образцы породы, предназначенные для транспортирования в лаборатории, расположенные на значительном расстоянии от места отбора, необходимо упаковывать в ящики.

Укладка монолитов в ящик должна быть плотной, с заполнением свободного пространства между ними влажными (для монолитов немерзлой породы) древесными опилками, стружкой или аналогичными им по свойствам материалами. При укладке в ящик между монолитами и стенками его следует проложить слои заполнителя толщиной 3-4 см, а между монолитами - слои толщиной 2-3 см.

Внутри ящика под верхнюю крышку необходимо положить завернутый в кальку список образцов со сведениями, указанными в этикетке. Ящики следует пронумеровать, сделать надписи: "Верх", "Не бросать" и "Не кантовать", а также написать адрес получателя и отправителя.

Транспортирование и хранение образцов

Транспортирование образцов (без упаковки в ящики) в лаборатории, расположенные в непосредственной близости от пункта отбора, следует производить обязательно в сопровождении лица, ответственного за сохранность доставляемых образцов.

Монолиты (образцы) при транспортировании не должны подвергаться резким динамическим и температурным воздействиям.

Монолиты немерзлой породы, упакованные в ящики, необходимо транспортировать при положительной температуре окружающего воздуха.

Образцы немерзлой породы, для которых требуется сохранение природной влажности, следует хранить в помещениях или камерах (эксикаторах) с относительной влажностью воздуха 50-60% при температуре не ниже +2°C и не выше +20°C.

Срок хранения упакованных образцов нарушенного сложения, для которых требуется сохранение природной влажности, не должен превышать двух суток, считая с момента отбора образцов до их лабораторных исследований.

Образцы породы нарушенного сложения, требующие сохранения природной влажности и взвешенные немедленно после их отбора, допускается хранить более двух суток.

Сроки хранения упакованных монолитов (с момента отбора до начала лабораторных исследований) в помещениях или камерах не должны превышать: для немерзлых скальных, маловлажных песчаных, а также глинистых пород твердой и полутвердой консистенции - трех месяцев; для других видов немерзлых пород - полутора месяца.

Срок хранения упакованных монолитов (с момента отбора до начала лабораторных исследований) при отсутствии помещений или камер не должен превышать 15 суток.

Монолиты, имеющие повреждения гидроизоляционного слоя и дефекты упаковки или хранения, следует принимать к лабораторным испытаниям только как образцы породы нарушенного сложения.

Лабораторная работа № 2

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

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

Наибольшее распространение в строительной практике получили ситовой метод, полевой метод Рутковского, метод Сабанина, пипеточный метод и др.

Гранулометрический анализ на ситах является основным методом определения гранулометрического состава песчаных грунтов. Он заключается в просеивании пробы воздушно-сухого грунта через сита с диаметром отверстий 2,0; 0,5; 0,25 и 0,1 мм.

Порядок выполнения работы

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

2. Осуществляют отбор средней навески, для чего высушенный на воздухе образец тщательно перемешивают, затем шпателем или линейкой распределяют на листе бумаги тонким слоем толщиной в несколько миллиметров 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 производят до тех пор, пока не останется необходимое количество грунта ≈ 100 г.

3. Взвешенную пробу (100 г) помещают на верхнее сито собранной колонки, закрывают крышкой и просеивают до полной сортировки частиц грунта на ситах. Контроль полной сортировки частиц грунта осуществляют просеиванием содержимого каждого сита над листом бумаги. При выпадении частиц содержимое бумаги необходимо высыпать на нижележащее сито, снятое сито поставить на место и продолжить обработку до тех пор, пока процесс деления грунта по крупности не будет завершен.

4. Содержимое каждого сита высыпают на предварительно взвешенные листки бумаги, взвешивают с точностью до 0,01 г и вычисляют массу каждой фракции. Суммарная масса всех фракций не должна отличаться более чем на 0,5% от массы образца, взятой для анализа.

Вычисляют процентное содержание каждой фракции по формуле:

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

где X – процентное содержание фракций в грунте;

A – масса фракции, г;

B – масса навески, г.

Данные анализа заносят в таблицу 1.

Таблица 1. 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 подсчитывают сумму процентов по массе частиц крупнее 2; 0,5; 0,25 и 0,1 мм. Наименование песка по крупности устанавливают по табл. А1 приложения А по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований грунтов (сверху вниз).

Для большей наглядности и удобства сравнения различных грунтов между собой гранулометрический состав обычно изображают графически. Кривая гранулометрического состава строится в системе прямоугольных координат, в полулогарифмическом масштабе (рис. 1).

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 находят показатель максимальной неоднородности - меру неоднородности гранулометрического состава песка, который определяют по формуле:

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

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

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

Рассматриваемые песчаные грунты классифицируются по показателю максимальной неоднородности в соответствии с СТБ 943-93 следующим образом:

однородные	$U_{max} < 4$;
среднеоднородные	$4 \leq U_{max} \leq 20$;
неоднородные	$20 \leq U_{max} \leq 40$;
повышенной неоднородности	$U_{max} > 40$.

По данным определения гранулометрического состава составляют заключение по наименованию песчаного грунта с учетом его показателя максимальной неоднородности.

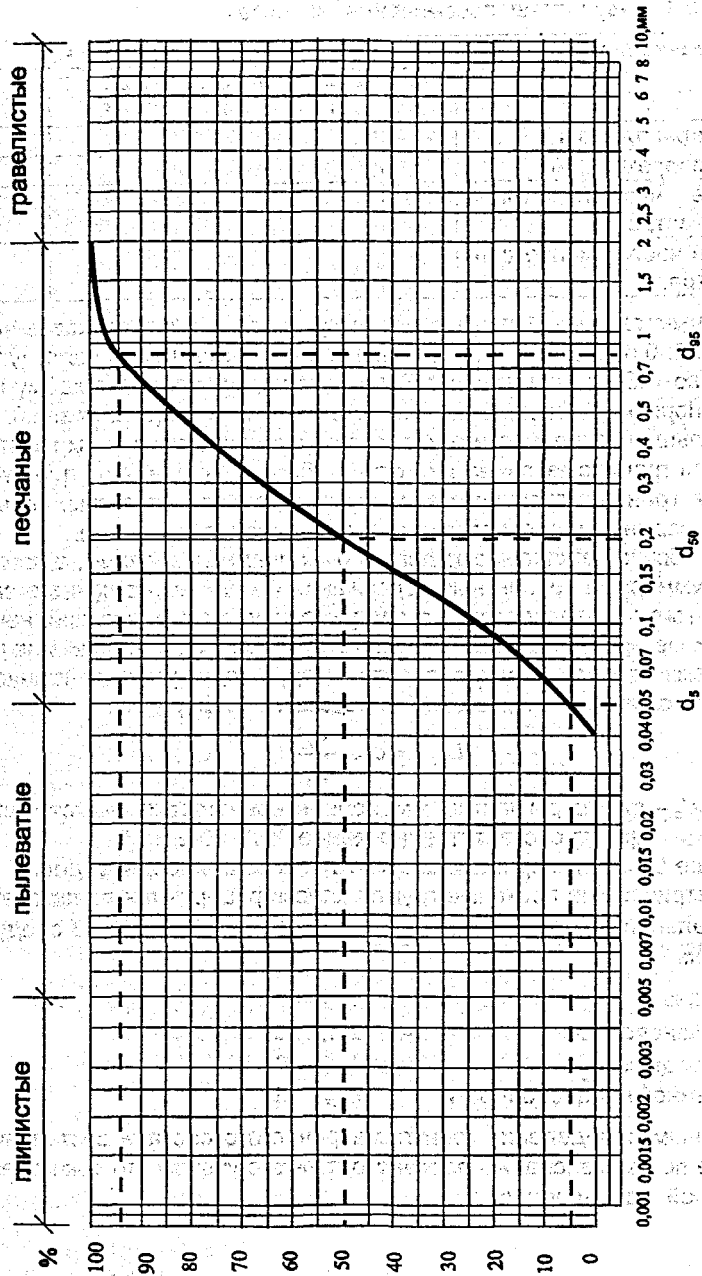


Рисунок 1. Суммарная кривая гранулометрического состава

Лабораторная работа № 3

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

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. В мензурку емкостью 100 см^3 насыпают с уплотнением 10 см^3 воздушно-сухого грунта, прошедшего через сито диаметром $d = 0,5$ мм.

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 воду до 100 см^3 и оставляют суспензию отстаиваться на 1 ч.

5. После этого измеряют объем осадка V в мензурке и определяют приращение объема грунта K в результате его набухания:

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

Определяют процентное содержание глинистой фракции (меньше $0,005$ мм) по эмпирической формуле:

$$a_{гн} = 22,67 \cdot K$$

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, содержащее размешивают стеклянной палочкой и затем отстаивают 90 с.

3. Через 90 с суспензию в объеме $70-75 \text{ см}^3$ сливают в мерный сосуд.

4. Отмучивание в мензурке проводят 5-8 раз, пока вода на сливаемую высоту, по истечении 90 с, не станет прозрачной.

5. Для контроля отмучивания в мензурку наливают воду до уровня 30 см^3 , взмучивают и через 30 с сливают весь слой жидкости, находящейся над осадком. Взмучивание со сливом проводят до тех пор, пока осадок не будет содержать взвешенные частицы.

6. Доливают в мензурку воды до 100 см^3 и после отстоя определяют объем песчаных частиц ($V_{п}$).

7. Вычисляют его процентное содержание, принимая, что 1 см^3 осевших песчаных частиц соответствует 10%.

В. Определение содержания пылеватой фракции $d=(0,05 - 0,005)$ мм

Процентное содержание пылеватой фракции вычисляют по разности между 100% и суммой процентного содержания песчаной и глинистой фракций. Данные заносят в таблицу 2.

Таблица 2: Результаты определения гранулометрического состава грунтов

Результаты ситового анализа (содержание фракции, %)					Результаты анализа по методу Рутковского						Гранулометрический состав грунта, %							
					Песок		Глина											
					Объем осадка после отмучивания, см ³	Содержание в грунте, %	Объем набухшего грунта, см ³ V	Прирост объема на 1 см ³ K	Содержание в грунте, %	Содержание пыли в грунте, %	Гравий		Песок			Пыль		Глина
1	2	3	4	5							6	7	8	9	10	11	12	13
	>2 мм	2-0,5 мм	0,5-0,25 мм	0,25-0,1 мм	<0,1 мм							> 2 мм	2-0,5 мм	0,5-0,25 мм	0,25-0,1 мм	0,1-0,05 мм	0,05-0,005 мм	<0,005 мм

Г. Оформление журнала полевого гранулометрического анализа

Журнал оформляют в виде таблицы 2 с использованием данных ситового анализа и данных, полученных по методу Рутковского.

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

Лабораторная работа № 4

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

Влажностью грунта называют отношение массы воды к массе сухого грунта, высушенного при температуре 105°C до постоянной массы. Влажность грунта является важнейшей характеристикой физического состояния грунта. Влажность выражается в процентах либо в долях единицы.

Порядок выполнения работы

1. Взвешивают пронумерованный бюкс с крышкой (m_1 , г).
2. В бюкс помещают пробу грунта массой 15-20 г, закрывают крышкой и взвешивают (m_2 , г).
3. Сняв крышку, бюкс помещают в нагретый сушильный шкаф, где грунт высушивают до постоянной массы при температуре $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Песчаные грунты высушивают в течение 3 ч, а остальные - в течение 5 ч, после чего производят взвешивание (m_3 , г). Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1 ч, остальных - в течение 2 ч, затем снова взвешивают. Высушивание производят до получения разности масс грунта со стаканчиком при двух последующих взвешиваниях не более 0,02 г.

Вычисляют влажность грунта по формуле:

$$W_i = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100, \%$$

Для каждой пробы грунта делают 2 параллельных определения. Все взвешивания производят на технических весах с точностью до 0,01 г. Результаты вычислений выражают с точностью до 0,1%. Расхождение между определениями более 2% не допускается.

Полученные данные записывают в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты определения влажности грунта

№ бюкса	Масса пустого бюкса, m_1 , г	Масса бюкса с влажным грунтом, m_2 , г	Масса бюкса с сухим грунтом, m_3 , г	Влажность, %	
				опытные данные w_i	средний результат w_c
1	2	3	4	5	6

Среднее значение влажности определяют по формуле:

$$W_n = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{n}, \%$$

где n – число определений влажности.

По результатам определения влажности грунта составляют заключение о нормативном значении влажности исследуемого грунта.

Лабораторная работа № 5

Определение плотности грунта методом режущего кольца (ГОСТ 5180-84)

Плотностью грунта называют отношение массы образца 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 $1,4 \text{ г/см}^3$ до $2,2 \text{ г/см}^3$.

Используют плотность грунта в расчетах оснований, земляных сооружений, подземных конструкций, а также при установлении объема земляных работ.

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

$$\gamma = \rho \cdot g, \text{ кН/м}^3,$$

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

g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$.

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

Порядок выполнения работы

1. Определяют массу (m_1 , г) режущего кольца вместе с крышками.
2. Определяют внутренний объем кольца (V , см^3).
3. Зачистив поверхность грунта, устанавливают на ней кольцо режущим краем вниз. Придерживая кольцо рукой, острым ножом вырезают столбик грунта высотой 5-10 мм и диаметром на 1-2 мм больше наружного диаметра кольца. По мере срезания грунта, легким нажимом на верхний край 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, зачищая поверхность вровень с краями кольца, и накрывают крышкой. Поддерживая кольцо рукой, подрезают грунт на 8-10 мм ниже режущего кольца и отделяют его. Затем производят зачистку нижней поверхности и закрывают кольцо второй крышкой.
5. Кольцо с грунтом и крышками взвешивают (m_2 , г).
Определяют плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}, \text{ г/см}^3.$$

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Расхождение в результатах параллельных определений более $0,03 \text{ г/см}^3$ не допускается.

Полученные данные записывают в таблицу 4 и определяют среднее значение плотности по формуле:

$$\rho_n = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n}, \text{ г/см}^3,$$

где n – количество опытов.

Таблица 4. Результаты определения плотности грунта

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

Определение плотности грунта методом взвешивания в воде

Метод парафинирования применяют для связных грунтов, трудно поддающихся вырезке.

Порядок выполнения работы

1. Берут образец 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 ($m, \text{ г}$).

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 ($m_1, \text{ г}$).

4. Подвесив запарафинированный образец грунта на крючок коромысла весов, погружают его в сосуд с чистой водой, установленный на подставке (рис. 2), и взвешивают ($m_2, \text{ г}$). 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 $0,02 \text{ г}$ по сравнению с первоначальной, образец бракуется, и испытание повторяется с другим образцом.

Плотность грунта вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_n \cdot \rho_w}{\rho_n \cdot (m_1 - m_2) - \rho_w \cdot (m_1 - m)}, \text{ г/см}^3,$$

где ρ_n – плотность парафина, принимаемая равной $0,90 \text{ г/см}^3$;

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 $0,03 \text{ г/см}^3$.

Данные определений сводим в таблицу 5 и определяем нормативное значение плотности грунта.

Таблица 5. Результаты определения плотности грунта

Масса, г				Объем, см^3			плотность грунта, $\rho_1, \text{г/см}^3$	среднее значение плотности грунта, $\rho_{\text{ср}}, \text{г/см}^3$
образца грунта, m	образца грунта с парафином, m_1	парафина, $m_1 - m$	запарафинированного образца в воде, m_2	образца грунта с парафином, V_1	парафиновой обложки, V_2	образца грунта, V		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

По результатам определения плотности исследуемых образцов составляют заключение о нормативном значении плотности и удельного веса грунтов.

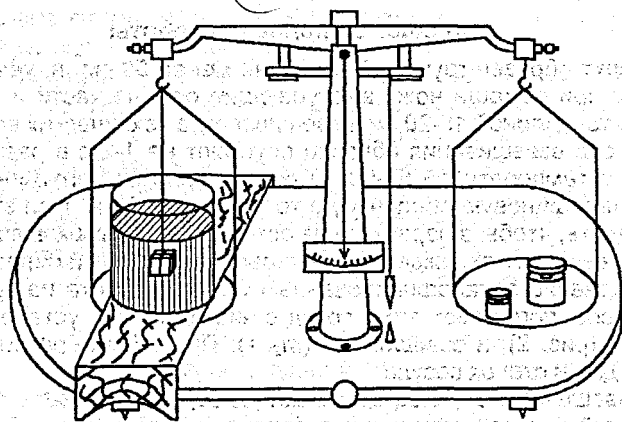


Рисунок 2. Взвешивание в воде запарафинированного образца грунта

Лабораторная работа № 6

Определение плотности частиц грунта (ГОСТ 5180-84)

Плотностью частиц грунта называют отношение массы частиц грунта к их объему.

Плотность частиц грунта обуславливается только минералогическим составом и изменяется в пределах от $2,4 \text{ г/см}^3$ до $2,8 \text{ г/см}^3$. Для ориентировочных расчетов можно принимать плотность частиц грунта равной: для песков - $2,66 \text{ г/см}^3$, супесей - $2,68 \text{ г/см}^3$, суглинков - $2,71 \text{ г/см}^3$, глин - $2,74 \text{ г/см}^3$.

Определяется плотность частиц грунта с помощью мерных сосудов (пикнометров), емкостью не менее 100 см^3 .

Зная плотность частиц грунта, можно найти удельный вес частиц грунта

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

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

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

Порядок выполнения работы

1. Из приготовленного воздушно-сухого грунта берут навеску грунта 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. Обтирают тщательно пикнометр снаружи и шейку внутри фильтровальной бумагой и взвешивают (m_3 , г).

7. Содержимое пикнометра выливают, его ополаскивают и наливают в него до того же уровня дистиллированную воду, имеющую температуру суспензии, и взвешивают (m_4 , г).

8. Вычисляют массу сухого грунта по формуле:

$$m_0 = \frac{m_2 - m_1}{1 + 0,01w_s},$$

где w_s - гигроскопическая влажность, принимаемая равной $1...2\%$.

9. Плотность частиц грунта вычисляют по формуле:

$$\rho_s = \frac{m_0 \cdot \rho_w}{m_0 + m_4 - m_3} \text{ г/см}^3,$$

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

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 6.

Таблица 6. Результаты определения плотности частиц грунта

Масса, г					Плотность частиц грунта, г/см ³	
пикнометра с водой, m_1	пикнометра с водой и грунтом, m_2	пикнометра с водой и грунтом до черты m_3	пикнометра с водой до черты m_4	сухого грунта m_0	частные значения ρ_{si}	среднее значение ρ_{sn}
1	2	3	4	5	6	7

Лабораторная работа № 7

Определение плотности сухого грунта, пористости, коэффициента пористости и степени влажности (ГОСТ 5180-84)

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:

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

где ρ - плотность грунта, г/см³;

w - влажность грунта, %.

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

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

или

$$n = 1 - \frac{\rho}{(1 + 0,01 \cdot w) \cdot \rho_s}$$

где ρ - плотность грунта, г/см³;

ρ_d - плотность сухого грунта, г/см³;

ρ_s - плотность частиц грунта, г/см³;

w - влажность грунта, %.

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

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$$

или

$$e_0 = \frac{n}{1 - n}$$

Песчаные грунты по плотности их сложения разделяют, в зависимости от коэффициента пористости, на: прочные (плотные), средней прочности (средней плотности) и малопрочные (рыхлые) (приложение А, табл. А2).

Степень влажности грунта характеризует долю заполнения пор водой.

Степень влажности вычисляется по формуле:

$$S_r = \frac{0,01w \cdot \rho_s}{e_0 \cdot \rho_w}$$

где ρ_w - плотность воды, г/см³;

w - весовая влажность, %.

В зависимости от степени влажности песчаные грунты разделяют на маловлажные, влажные, насыщенные водой (приложение А, табл. А3).

Полученные показатели песчаных грунтов применяют для классификации грунтов.

По полученным результатам определяют полное наименование грунта.

Лабораторная работа № 8

Определение пластичности пылевато-глинистых грунтов (ГОСТ 5180-84)

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

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

Влажность, при которой грунт находится на границе твердого и пластичного состояний, называется границей раскатывания - w_p .

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

Разность между влажностями на пределе текучести и раскатывания, выраженная в процентах, называется числом пластичности.

$$J_p = w_L - w_p, \%$$

Пылевато-глинистые грунты подразделяют по числу пластичности на супеси, суглинки и глины (приложение А, табл. А4).

По величинам характерных влажностей w_p и w_L и естественной влажности w , можно определить показатель текучести, т.е. степень подвижности слагающих грунт частиц при механическом воздействии

$$J_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}$$

По показателю текучести пылевато-глинистые грунты подразделяют на группы от твердых до текучих (приложение А, табл. А5).

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

Определение границы текучести

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

Порядок выполнения работы

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

2. Грунтовую пасту тщательно перемешивают в фарфоровых чашках и укладывают небольшими порциями с помощью шпателя в стаканчик прибора, заполняя его без оставления пустот. Поверхность пасты заглаживают вровень с краями стаканчика.

3. Подносят к поверхности грунтовой пасты, находящейся в стаканчике, смазанный тонким слоем вазелина конус (рис. 3) и, плавно опустив его, дают в течение 5 с свободно погружаться в пасту под давлением от собственной массы.

4. Если конус за 5 с погрузится 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 пасту из стаканчика, добавляют в него немного воды (дистиллированной), тщательно перемешивают и операции повторяют.

При погружении конуса на глубину более 10 мм грунтовую пасту вынимают из стаканчика, кладут на стекло, перемешивают шпателем, давая ей немного подсохнуть, и операции повторяют.

5. Отбирают из испытываемой пасты пробу не менее 15 г и производят определение влажности w_L методом высушивания.

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

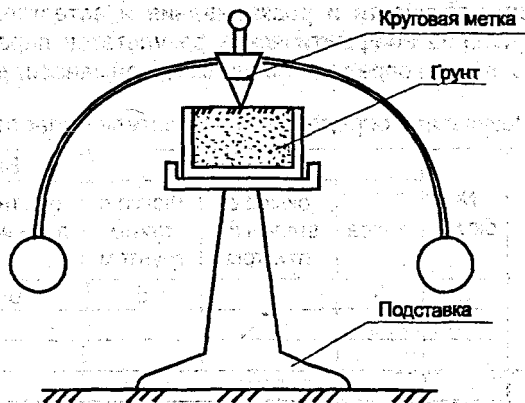


Рисунок 3. Балансирный конус

Определение границы раскатывания

Границу раскатывания (пластичности) следует определять как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой паста, раскатываемая в жгут толщиной 3 мм, начинает распадаться на отдельные кусочки длиной 3-10 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 начнет крошиться, то считают, что предел раскатывания достигнут. Если при толщине около 3 мм жгут сохраняет связность и эластичность и не крошится, то его переминают руками, а затем вновь раскатывают до указанной толщины.

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

4. Собрав не менее 10 г распадающегося жгута грунта в предварительно взвешенный бюкс, определяют его влажность w_p методом высушивания. Для каждого образца грунта производят не менее двух параллельных определений w_p . Расхождение в результатах более 2% не допускается.

Определение естественной влажности

Естественную влажность определяют методом высушивания.

За границы текучести и раскатывания и естественную влажность принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений. Результаты определений влажностей заносят в таблицу 7.

Таблица 7. Результаты определения показателей пластичности грунта

Показатели пластичности, %	№ бюкса	Масса, г			Влажность, %	
		бюкса	бюкса с влажным грунтом	бюкса с сухим грунтом	опытные данные, w_i	средний результат, w_{cp}
	2	3	4	5	6	7
w_L						
w_p						
w						

По нормативным значениям влажностей на границе текучести, раскатывания и естественной влажности определяют наименование и состояние пылевато-глинистого грунта (приложение А табл. А4, А5) и дают заключение по выполненной работе.

Лабораторная работа № 9

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

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

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

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

В связи с тем, что сжимаемость грунтов связана с уменьшением их пористости, в механике грунтов принято характеризовать сжимаемость грунта зависимостью коэффициента пористости e от уплотняющего давления P (рис. 4). 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).

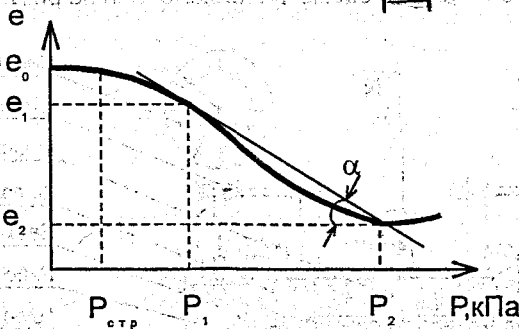


Рисунок 4. Компрессионная кривая

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 используются и показатели: E (МПа) – модуль общей деформации и ν – коэффициент относительной поперечной деформации. Однако E и ν используются как для расчета деформаций 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 имеется возможность непосредственно определить уже два показателя (m_v и ν или E и ν).

Одометр (компрессионный прибор) предназначен для определения сжимаемости (уплотнения) грунтов под действием заданного вертикального давления при невозможности поперечных (боковых) деформаций. Схематический разрез одометра представлен на рисунке 5.

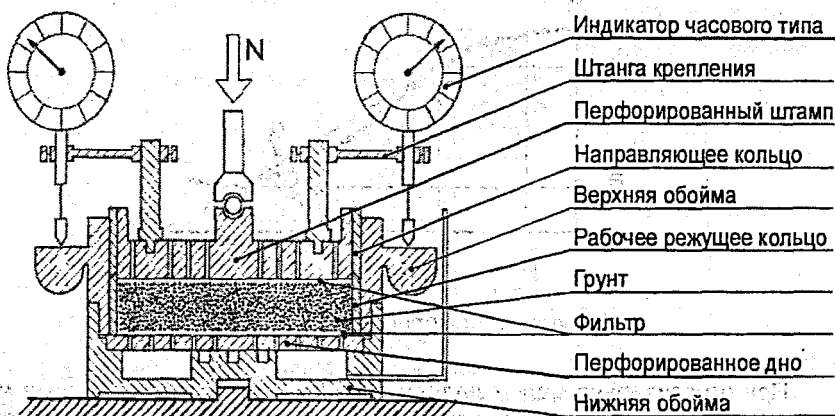


Рисунок 5. Схема компрессионного прибора (одометра)

Собранный одометр помещается в нагрузочное устройство. Отношение плеч рычажного устройства, передающего нагрузку, 1:10. Высота образца грунта $h_0=25$ 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 и перфорированный штамп. Величина и количество ступеней давления, прикладываемых к грунту в процессе опыта, а также условное время стабилизации деформаций устанавливаются в соответствии с ожидаемыми нагрузками на грунт от проектируемого фундамента.

Порядок выполнения работы

1. Снять одометр со станины нагрузочного устройства и разобрать его.
2. Вырезать режущим кольцом одометра образец из монолита грунта, зачистив торцы образца в уровень с краями кольца, и положить на торцы бумажные фильтры.
3. Собрать одометр и установить его на станину нагрузочного устройства, положить шариковый шарнир между штампом и нагрузочной рамой.
4. Закрепить на штампе 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 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 8).
6. Загрузить подвеску рычага гирями массой 1,27 кг и 1,5 кг (2,3 кг — масса рамы нагрузочного устройства), после чего сразу же включить секундомер.
7. Записать в журнал испытаний отсчеты по индикаторам (по черной шкале) через 1, 2, 3, 4, 5 и 10 мин, считая от момента приложения нагрузки. Десять минут условно принимаются за время стабилизации деформаций образца. В действительности (ГОСТ 12248-96) за критерий условной стабилизации деформаций грунта при данной ступени давления следует принимать деформацию не более 0,01 мм: для пылеватых и мелких песков — 4 ч; для пылевато-глинистых грунтов — за 16 ч.
8. Догрузить подвеску еще одной гирей массой 3 кг, сразу же включить секундомер и записать в журнал испытаний нарастающим итогом величины отсчетов по индикаторам через те же промежутки времени, что и ранее, считая время с момента увеличения нагрузки.

9. Повторить все операции при суммарной массе на подвеске 12, 18 и 24 кг.

10. Вычислить по величинам конечных (условно стабилизированных) осадок образца соответствующие значения коэффициента пористости и 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_i – коэффициент пористости при нагрузке P_i ;

e_0 – начальный коэффициент пористости грунта.

Результаты измерений и вычислений сводим в таблицу 8.

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

12. Вычислить коэффициент сжимаемости m_0 и коэффициент относительной сжимаемости m_v по формулам и для заданного интервала давлений P_2 и P_1 .

13. Для линейного участка вычислить модуль общей деформации:

$$E = \frac{\beta}{m_v}, \text{ кПа,}$$

где β – 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 8. Результаты компрессионных испытаний и вычислений

Масса гирь на подвеске, кг	Давление на образец грунта, кПа	Время от начала положения нагрузки, мин.	Показания индикаторов, мм			Условно стабилизированная вертикальная деформация		Коэффициент пористости	
			первого	второго	среднее показание	абсолютная, мм	относительная	приращение по сравнению с начальным	значение
m	$P = \frac{0,01 \cdot m \cdot g}{A}$	t	r_1	r_2	$r = \frac{r_1 + r_2}{2}$	$S_i = r$	$\varepsilon_i = \frac{S_i}{h_0}$	$\Delta e_i = \varepsilon_i (1 + e_0)$	$e_i = e_0 - \Delta e_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0							
2,77 и т.д.	50	1							
		2							
		3							
		4							
		5							
		10							

По результатам компрессионных испытаний составляют заключение о нормативных значениях характеристик сжимаемости исследуемого грунта.

Лабораторная работа № 10

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

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

В связи с тем, что прочность связей между частицами в грунтах намного меньше, чем прочность самих частиц, прочность грунтов в целом определяется прочностью и состоянием связей между частицами. Разрушение грунта происходит вследствие возрастания сдвигающих усилий, возникающих между частицами при приложении к грунту нагрузки и разрушающих связи между частицами. Для небольших давлений (до 500 кПа) можно считать, что сопротивление грунта сдвигу состоит из двух частей – одной, не зависящей от величины нормального давления, действующего по площадке сдвига, и именуемой удельным сцеплением; и второй, являющейся функцией нормального давления и именуемой трением.

Зависимость между сопротивлением сдвигу и нормальным давлением устанавливается экспериментально.

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

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

где τ – сопротивление сдвигу, кПа;

σ – нормальное напряжение по площадкам сдвига, кПа;

φ – угол внутреннего трения, град.;

C – удельное сцепление, кПа.

Параметры прочности φ и C используются в задачах, связанных с определением несущей способности оснований сооружений, устойчивости откосов, насыпей и выемок 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:

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

Наибольшее распространение в лабораторной практике получил метод одноплоскостного прямого сдвига.

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

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

Опыт проводится по открытой системе на сдвиговом приборе типа ГПП-30. Схематический разрез прибора представлен на рис. 6.

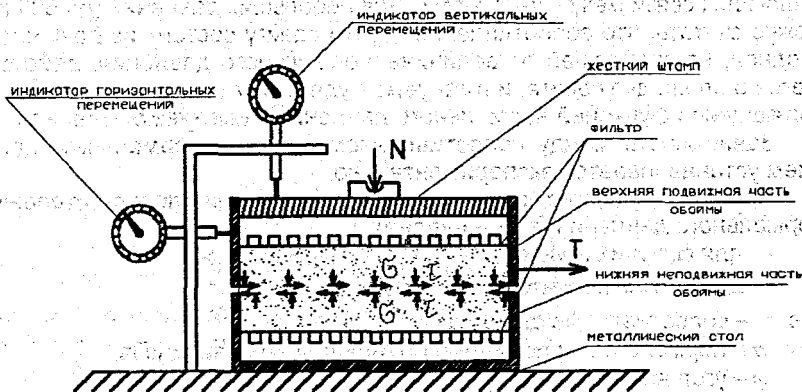


Рисунок 6. Схема срезного прибора
 N — нормальное усилие; T — сдвигающее усилие

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. Срезыватель прибора установлен в средней части плиты стола и состоит из нижней неподвижной и верхней подвижной частей обоймы. Перед загрузкой срезывателя грунтом обоймы скрепляются установочными винтами. На дно нижней обоймы уложен жесткий штамп, служащий для отвода воды из-под образца грунта при его сжатии. На образец грунта, помещенный в срезыватель, устанавливается жесткий штамп с верхним фильтром, служащий для передачи вертикальной нагрузки непосредственно на образец. Размеры рабочего цилиндра-срезывателя следующие: диаметр $d=71,4$ мм; высота $h=40$ мм; площадь $A=40 \text{ см}^2=4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Соотношение плеч рычажных устройств составляет 1:10.

Порядок выполнения работы

1. С помощью специального кольца из монолита грунта вырезается образец и вдавливается в рабочий цилиндр, состоящий из нижней и верхней обоймы. Снизу и сверху образца укладываются фильтровальная 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 M . 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 $\sigma_1 = 100$ кПа, $\sigma_2 = 200$ кПа и $\sigma_3 = 300$ кПа.

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 $0,1\sigma$.

6. После прекращения движения стрелки индикатора, фиксирующего деформации сдвига, записываем отсчет деформации в журнал испытаний.

7. Каждую последующую ступень сдвигающей нагрузки ΔT прикладываем к образцу только после затухания деформаций сдвига от воздействия предыдущей ступени. Испытание следует считать законченным, если при приложении очередной ступени сдвигающей нагрузки происходит мгновенный срез одной части образца по отношению к другой или общая деформация среза превысит 5 мм.

8. После среза образца прибор перезаряжают и производят таким же образом новые опыты, но при давлениях $\sigma_2 = 200$ кПа и $\sigma_3 = 300$ кПа.

9. Результаты измерений и вычислений сводим в таблицу 9.

Таблица 9. Результаты испытаний грунтов на срез и вычислений σ и τ

Масса гирь на подвеске нагрузочных устройств, кг		Напряжение в плоскости среза, кПа		Горизонтальная деформация, мм
вертикальное	горизонтальное	нормальное	сдвигающее	
m_N	m_T	$\sigma = \frac{0,01 \cdot m_N \cdot g}{A}$	$\tau = \frac{0,01 \cdot m_T \cdot g}{A}$	δ
1	2	3	4	5

10. Строим обобщающий график $\tau = f(\sigma)$ (рис. 7). График строится в одинаковом масштабе для τ и σ , который рекомендуется принять: 5 см=100 кПа. По полученным опытным точкам проводится осредненная прямая до пересечения с осью ординат.

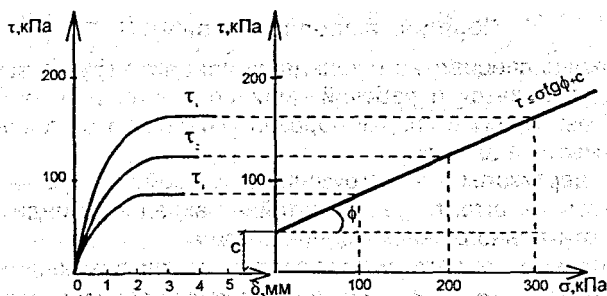


Рисунок 7. График зависимости сопротивления грунтов сдвигу

11. Результаты испытаний сводим в таблицу 10.

Таблица 10. Статистическая обработка результатов испытаний

σ_i , кПа	τ_i , кПа	σ_i^2 , кПа ²	$\sigma_i \tau_i$, кПа ²
100			
200			
300			
Σ			

12. Угол внутреннего трения ϕ и удельное сцепление C вычисляют, используя результаты таблицы 10 по формулам:

$$tg \phi = \frac{n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2};$$

$$C = \frac{\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2};$$

где $n \geq 3$ – число определений величины τ .

Если $C < 0$, то принимают $C = 0$ и вычисляют:

$$tg \phi = \frac{\sum \tau_i \sigma_i}{\sum \sigma_i^2}.$$

По результатам сдвиговых испытаний составляют заключение о нормативных значениях прочностных характеристик исследуемого грунта.

Лабораторная работа № 11

Определение угла естественного откоса песчаных грунтов

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

Значение угла естественного откоса грунта для сухих 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.

Порядок выполнения работы

1. Собирают прибор, устанавливают в стеклянную чашку и постепенно заполняют песком до краев корпуса. Избыток песка удаляют с помощью линейки.

2. Коническую часть прибора плавно, без толчков и сотрясений, приподнимают на 1-2 мм над подставкой так, чтобы песок очень медленно высыпался из прибора в стеклянную чашку. После того, как песок перестанет осыпаться, конус приподнимают вверх и снимают 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 повторяют трижды. Расхождение в определении угла естественного откоса между повторными определениями не должно превышать 1°. Результаты заносят в таблицу 11.

5. Вычисляют среднее значение угла естественного откоса воздушно-сухого песчаного грунта.

Определение угла естественного откоса водонасыщенного песка (под водой)

1. Прибор устанавливают в стеклянную чашку и заполняют воздушно-сухим песком.

2. Осторожно наполняют 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 продолжают.

Результаты определения заносим в таблицу 11.

Таблица 11. Результаты определения угла естественного откоса

Воздушно-сухой песок			Водонасыщенный песок		
№ опыта	Угол в градусах	Среднее значение угла	№ опыта	Угол в градусах	Среднее значение угла
1	2	3	4	5	6

Лабораторная работа № 12

Анализ полученных результатов и определение физико-механических характеристик грунтов (ГОСТ 20522-96)

Анализ физико-механических характеристик грунтов требует четкого понимания взаимосвязей и взаимозависимостей между ними.

Общая система взаимосвязи и взаимозависимости представлена на рис. 8.

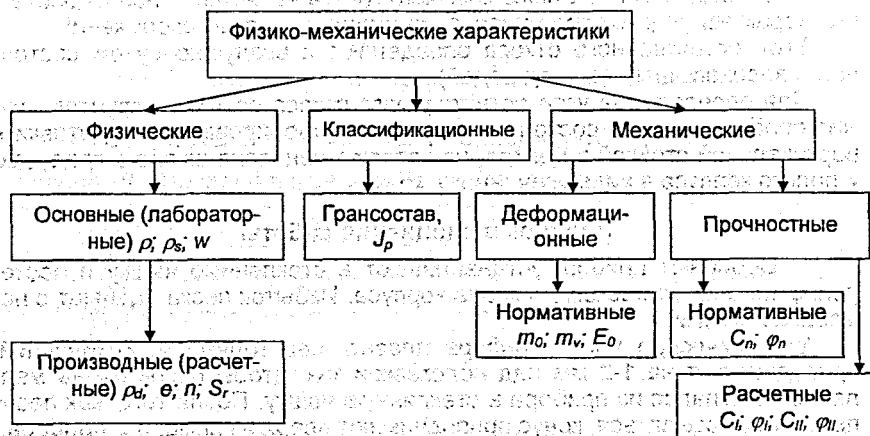


Рисунок 8. Взаимосвязь и взаимозависимость физико-механических характеристик грунтов

По результатам частных определений какой-либо физической или деформационной характеристики устанавливают ее нормативное значение как среднеарифметическую величину:

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

где n – число определений характеристики ($n \geq 6$);

X_i – частное значение искомой характеристики;

X_n – нормативное значение характеристики.

В инженерных расчетах используют расчетные характеристики, которые определяют по формуле:

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

где X – расчетная характеристика;

γ_g – коэффициент надежности по грунту.

Расчетные значения влажности грунта w_0 определяют при $\gamma_s = 1$.

Расчетные значения ρ , ρ_s , C и φ находят с учетом точности оценки их средних значений при

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

где ρ_T – показатель точности оценки среднего значения характеристики грунта, вычисляемый по ГОСТ 20522-96 (на лабораторных занятиях принять $\rho_T = 0,1$).

Все полученные по результатам выполненных лабораторных работ физико-механические характеристики грунтов заносим в таблицу 12.

Таблица 12. Физико-механические характеристики исследованных грунтов

Наименование грунта	Физические										Механические					
	ρ , т/м ³	ρ_s , т/м ³	ρ_d , т/м ³	W , %	W_L , %	W_P , %	J_P , %	J_L	e	S_r	нормативные			табличные		
	γ , кН/м ³	γ_s , кН/м ³	γ_d , кН/м ³								C_n , кПа	φ_n , град	E , Мпа	C_T , кПа	φ_T , град	E_T , Мпа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Значения табличных механических характеристик определяются по табл. А6, А7, А8 и А9 (приложения А).

Анализ инженерно-геологических условий и физико-механических характеристик грунтов позволяет запроектировать рациональные конструкции фундаментов под здания и сооружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 943-93. Грунты. Классификация (взамен ГОСТ 25100-82).
2. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
3. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
4. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
5. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
6. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
7. ГОСТ 30416-96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30
31	32	33	34	35
36	37	38	39	40
41	42	43	44	45
46	47	48	49	50
51	52	53	54	55
56	57	58	59	60
61	62	63	64	65
66	67	68	69	70
71	72	73	74	75
76	77	78	79	80
81	82	83	84	85
86	87	88	89	90
91	92	93	94	95
96	97	98	99	100

Приложение А

Таблица А1. Классификация песчаных грунтов по
гранулометрическому составу

Грунт	Размер частиц, мм	Масса частиц, % от массы воздушно-сухого грунта
Гравелистый	>2	>25
Крупный	>0,5	>50
Средней крупности	>0,25	>50
Мелкий	>0,1	≥75
Пылеватый	>0,1	<75

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

Таблица А2. Подразделение песчаных грунтов по плотности
сложения и прочности

Песок	Значения показателей e и q_c		
	прочные плотные	средней прочности средней плотности	малопрочные рыхлые
Гравелистый, крупный и средней крупности	$q_c > 15,0$ МПа $e < 0,55$	$q_c = 15,0 \pm 2,8$ МПа $0,55 \leq e \leq 0,7$	$q_c < 2,8$ МПа $e > 0,70$
Мелкий	$q_c > 8,3$ МПа $e < 0,6$	$q_c = 8,3 \pm 1,7$ МПа $0,60 \leq e \leq 0,75$	$q_c < 1,7$ МПа $e > 0,75$
Пылеватый	$q_c > 8,3$ МПа $e < 0,6$	$q_c = 8,3 \pm 1,2$ МПа $0,60 \leq e \leq 0,8$	$q_c < 1,2$ МПа $e > 0,8$

Примечание: q_c – значения лобового сопротивления грунта при статическом зондировании, МПа

Таблица А3. Подразделение песчаных грунтов по степени влажности

Грунт	Степень влажности
Маловлажный	$0 < S_r \leq 0,5$
Влажный	$0,5 < S_r \leq 0,8$
Насыщенный водой	$0,8 < S_r \leq 1,0$

Таблица А4. Подразделение пылевато-глинистых грунтов
по числу пластичности

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

Таблица А5. Подразделение пылевато-глинистых грунтов по показателю текучести

Грунт	Показатель текучести
Супесь: твердая пластичная текучая	$I_L < 0$ $0 < I_L < 1,0$ $I_L > 1,0$
Суглинок и глина: твердые полутвердые тугопластичные мягкопластичные текучепластичные текучие	$I_L < 0$ $0 < I_L < 0,25$ $0,25 < I_L < 0,5$ $0,5 < I_L < 0,75$ $0,75 < I_L < 1,0$ $I_L > 1,0$

Таблица А6. Нормативные значения модулей деформации песчаных грунтов

Песок	Значения E , Мпа, при коэффициенте пористости e			
	0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистый, крупный и средней крупности	50	40	30	
Мелкий	48	38	28	18
Пылеватый	39	28	18	11

Таблица А7. Нормативные значения удельных сцеплений C , кПа и углов внутреннего трения φ , град., песчаных грунтов

Песок	Характеристика	Значение C и φ при коэффициенте пористости e			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистый и крупный	C	2	1	0	-
	φ	43	40	38	-
Средней крупности	C	3	2	1	-
	φ	40	38	35	-
Мелкий	C	6	4	2	0
	φ	38	36	32	28
Пылеватый	C	8	6	4	2
	φ	36	34	30	26

Таблица А8. Нормативные значения модулей деформации E пылевато-глинистых грунтов

Возраст и происхождение грунтов.	Грунт	Показатель текучести	Значение E , МПа, при коэффициенте пористости e														
			0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,2	1,4	1,6				
Четвертичные отложения:	Супесь	$0 \leq I_L \leq 0,75$	-	32	24	16	10	7	-	-	-	-	-	-	-	-	
		$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	34	27	22	17	14	11	-	-	-	-	-	-	-	-
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	32	25	19	14	11	8	-	-	-	-	-	-	-	-
аллювиальные, делювиальные, озерно-аллювиальные	Суглинок	$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	17	12	8	6	5	-	-	-	-	-	-	
		$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	-	28	24	21	18	15	12	-	-	-	-	-	-	-
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	-	-	21	18	15	12	9	-	-	-	-	-	-	-
Глина	Суглинок	$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	-	15	12	9	7	-	-	-	-	-	-	
		$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	33	24	17	11	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	40	33	27	21	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
моренные	Супесь и суглинок	$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	17	13	10	7	-	-	-	-	-	-	-	
		$I_L \leq 0,5$	75	55	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		$-0,25 \leq I_L \leq 0$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	25	22	22	15	10
Юрские отложения оксфордского яруса	Глина	$0 < I_L \leq 0,25$	-	-	-	-	-	-	-	-	24	22	19	15	-	-	
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	12	-	-	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: Значение E не распространяется на лессовые грунты

Таблица А9. Нормативные значения удельных сцеплений, С, кПа и углов внутреннего трения φ , град., пылеато-глинистых четвертичных отложений

Грунт	Показатель текучести	Характеристика	Значение c и φ при коэффициенте пористости e						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супесь	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	21	17	15	13	-	-	-
		φ	30	29	27	24	-	-	-
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	c	19	15	13	11	9	-	-
		φ	28	26	24	21	18	-	-
Суглинок	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	47	37	31	25	22	19	-
		φ	26	25	24	23	22	20	-
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c	39	34	28	23	18	15	-
		φ	24	23	22	21	19	17	-
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c	-	-	25	20	16	14	12
		φ	-	-	19	18	16	14	12
Глина	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	-	81	68	54	47	41	36
		φ	-	21	20	19	18	16	14
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c	-	-	57	50	43	37	32
		φ	-	-	18	17	16	14	11
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c	-	-	45	41	36	33	29
		φ	-	-	15	14	12	10	7

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что называется гранулометрическим составом?
2. Методы определения гранулометрического состава.
3. Для чего необходимы результаты гранулометрического состава?
4. На какие виды по гранулометрическому составу делятся песчаные грунты?
5. Как определяется показатель максимальной неоднородности?
6. Как влияет U_{max} на однородность грунта?
7. Какое влияние на свойства грунта оказывает содержание глинистых частиц?
8. Что называется плотностью грунта?
9. Методы определения плотности грунта.
10. От чего зависит плотность грунта?
11. Что называется удельным весом грунта?
12. В каких интервалах изменяется плотность песчаных и пылевато-глинистых грунтов?
13. Что называется влажностью грунта?
14. Как определяется влажность грунта?
15. Какое значение влажности воздушно-сухого грунта?
16. Может ли быть влажность грунта больше 100%?
17. Что называется плотностью частиц грунта?
18. Как определяется плотность частиц грунта?
19. От чего зависит плотность частиц грунта?
20. В каких интервалах изменяется плотность частиц различных грунтов?
21. Какие физические характеристики грунта относятся к основным?
22. Что называется плотностью сухого грунта и как она определяется?
23. Что называется пористостью грунта, коэффициентом пористости, степенью влажности?
24. Напишите формулы для определения e , n , S_r .
25. Как делятся песчаные грунты по прочности?
26. В каких пределах могут изменяться коэффициент пористости и степень влажности грунта?
27. Как делятся песчаные грунты в зависимости от коэффициента пористости и степени влажности?
28. Для чего определяют основные и производные характеристики грунта?
29. Что понимают под пластичностью грунта?
30. Как определяются число пластичности и показатель текучести?
31. Дайте классификацию пылевато-глинистых грунтов по числу пластичности и показателю текучести.
32. Дайте определение влажности на границе текучести и влажности на границе раскатывания и расскажите, как эти параметры определяются.

33. От чего зависит показатель текучести пылевато-глинистого грунта?
34. В каких пределах изменяются число пластичности и показатель текучести?
35. Для чего необходим отбор проб грунта и монолитов?
36. Из каких выработок отбираются пробы грунта и монолиты?
37. Как обеспечивается сохранение естественной влажности грунта отобранных монолитов, образцов грунта?
38. Какая информация размещается на этикетке монолита, образца грунта?
39. Какие меры должны быть выполнены при транспортировке монолитов, образцов грунта?
40. Для чего нужны и где используются характеристики сжимаемости грунта?
41. Какие характеристики сжимаемости грунта вы знаете?
42. В каких приборах в лаборатории определяют модуль общей деформации E_0 и коэффициент сжимаемости грунта m_0 ?
43. Как устроен компрессионный прибор (одеметр)?
44. Какова цель компрессионных испытаний в одеметре?
45. Как обрабатываются данные и строится компрессионная кривая по результатам испытаний в одеметре?
46. Чем вызывается необходимость выдержки образца на каждой ступени давления?
47. Чем объясняется возрастание модуля деформации грунта по мере смещения интервала давлений P_2-P_1 от начала координат? Будет ли наблюдаться подобное явление при работе грунта в основаниях сооружений?
48. Какие характеристики прочности грунта Вы знаете?
49. Как записывается условие предельного сопротивления сдвигу глинистого и песчаного грунта по Кулону?
50. Как записывается условие прочности грунта через главные напряжения?
51. Какие способы определения удельного сцепления C и угла внутреннего трения ϕ Вам известны?
52. Расскажите методику определения ϕ и C в приборе прямого среза.
53. В каких расчетах используются характеристики прочности грунтов?

ТЕМАТИКА ДЛЯ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

1. Особенности отбора и подготовки проб грунтов к испытаниям на участках со сложными инженерно-геологическими условиями.
2. Оценка погрешностей экспериментальных (лабораторных и полевых) данных и обоснование их статистической достоверности.
3. Анализ связи влажностных свойств и видов грунтов.
4. Эволюция инструментально-приборных исследований по компрессионным испытаниям грунтов.
5. Эволюция инструментально-приборных исследований по сдвиговым испытаниям грунтов.
6. Исследование связей грансоставов с физико-механическими характеристиками.
7. Исследование связей влажности грунтов с физико-механическими характеристиками.
8. Анализ связей меры однородности грунтов с физико-механическими свойствами.
9. Особенности экстраполяции кривых грансоставов и анализ возможных погрешностей определения содержания пылевато-глинистых фракций в грунтах.
10. Анализ связи физических показателей грунтов с их влажностным состоянием.
11. Особенности методов определения физических показателей грунтов особого состояния (V класс).
12. Особенности оценки рыхлых несвязных грунтов как строительного материала.
13. Особенности оценки свойств грунтов с точки зрения проявления суффозионных, карстовых, пльвинных процессов и других явлений.
14. Особенности оценки пригодности грунтов для использования их в качестве насыпей, засыпок пазух и оснований зданий и сооружений.
15. Анализ связи влажности грунтов с характером и динамикой их уплотнения.
16. Анализ влияния набухания и усадки на устойчивость и деформируемость оснований зданий и сооружений.
17. Оценка степени влияния набухания и усадки на устойчивость откосов и склонов.
18. Оценка степени влияния влажности на процессы набухания и усадки грунтов.
19. Особенности компрессионных и сдвиговых испытаний водонасыщенных грунтов.
20. Анализ особенностей определения прочностных характеристик грунтов и оценка их достоверности.
21. Анализ методов определения водопроницаемости грунтов и их связи с проектно-изыскательскими работами.
22. Анализ связи капиллярных свойств грунтов с их прочностными характеристиками.

Учебное издание

Составители:

Петр Степанович Пойта
Петр Владимирович Шведовский
Алексей Николаевич Тарасевич
Анатолий Михайлович Климук
Галина Петровна Демина

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсу
«Механика грунтов, основания и фундаменты»
для студентов дневной и заочной форм обучения
по специальностям 1-70 02 01, 1-70 02 02, 1-70 04 03 и 1-74 05 01

Ответственный за выпуск *Пойта П.С.*
Редактор *Строкач Т.В.*
Компьютерная верстка *Боровикова Е.А.*
Корректор *Никитчик Е.В.*

Подписано в печать 06.02.2007 г. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Бумага «Снегурочка».
Усл. печ. л: 2,56. Уч.-изд. л. 2,75. Заказ № 142. Тираж 300 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.