

2199

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ

Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

Ю.Г.Бабаскин

**ДОРОЖНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИКА
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРОГ**

Учебное пособие

Минск 2001

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ

Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

Ю.Г.Бабаскин

ДОРОЖНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИКА
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРОГ

Учебное пособие

Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов специальности
«Строительство дорог и транспортных объектов»
высших учебных заведений

Минск 2001

УДК 625.731+625.731.2:624.131.4](075.8)

ББК 39.311

Б 12

Рецензенты:

кафедра транспорта леса Белорусского государственного
технологического университета;
д.т.н., проф. В.Н.Яромко

Бабаскин Ю.Г.

Б 12 Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог: Учеб. пособие / Ю.Г.Бабаскин. - Мн.: БГПА, 2001. - 223 с.

JSBN 985-6529-34-4

Цель данного издания – оказание помощи студентам специальности Т.19.03 – «Строительство дорог и транспортных объектов» при изучении дисциплины «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог». Учебное пособие дает теоретический материал к выполнению лабораторных работ по трем разделам курса – «Общая геология» (1-я – 8-я лабораторные работы), «Физические свойства горных пород» (9-я – 26-я лабораторные работы) и «Механические свойства горных пород» (27-я – 30-я лабораторные работы); включает вопросы инженерной геологии, дорожного грунтоведения и механики земляного полотна дорог; содержит описание основных свойств горных пород, методики их определения, особенностей приборов и оборудования по испытанию грунтов, обработке и анализу экспериментальных результатов. Приводятся примеры использования физико-механических свойств грунтов при решении инженерных задач.

УДК 625.731+625.731.2:624.131.4](075.8)

ББК 39.311

JSBN 985-6529-34-4

© Бабаскин Ю.Г., 2001

Введение

При решении вопросов, связанных со строительством, мало знать особенности горных пород, - необходим широкий круг сведений о геологическом строении территории, процессах, которые уже протекают или могут начаться в результате строительства, изменения гидрогеологических условий и т.д. Все эти вопросы изучает инженерная геология.

Инженерная геология – это наука о геологической среде, ее рациональном использовании и охране в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека. Под геологической средой следует понимать любые горные породы и почвы, которые слагают верхнюю часть литосферы, рассматриваемые как многокомпонентные системы.

Одним из разделов инженерной геологии является «Грунтоведение», задача которого - изучение свойств различных грунтов, разработка методов их улучшения, повышения их прочности в связи с использованием в различных видах строительства.

Работа грунта в дорожных сооружениях протекает в сложной природной обстановке. Земляное полотно автомобильных дорог находится в пределах зоны сезонных колебаний температуры и влажности, в результате чего прочность грунтов земляного полотна не постоянна. В то же время следует иметь в виду, что стоимость земляного полотна автомобильной дороги достигает 20...30% ее общей стоимости, а на подземную часть конструкции автодорожного моста приходится до 30% его стоимости и до 40% общего времени строительства. Поэтому весьма важно иметь сведения о генезисе, возрасте, петрографическом составе горных пород, их физических, водных и механических свойствах.

Земляное полотно является важнейшим конструктивным элементом дороги, от которого во многом зависят ее прочность, устойчивость и долговечность. Оно воспринимает временные динамические нагрузки от проходящих транспортных средств, постоянные нагрузки от веса дорожной одежды или верхнего строения пути, а также собственного веса.

Определение характеристик и свойств горных пород должно проводиться с соблюдением требований норм, правил и стандартов. В связи

с этим особое внимание должно быть уделено классификации горных пород с учетом новых документов: СТБ 943-93; ГОСТ 5180-84; ГОСТ 12248-96; ГОСТ 22733-77; ГОСТ 24143-80; ГОСТ 25584-90; ГОСТ 30416-96 и др.

Лабораторные работы сгруппированы в соответствии с тремя крупными разделами программы по инженерному грунтоведению:

1. Общая геология.
2. Физические свойства горных пород.
3. Механические свойства горных пород.

В лабораторных работах, относящихся к первому разделу, рассматриваются темы, связанные с изучением физических свойств минералов, их классов, классификацией силикатов, основных видов магматических, метаморфических и осадочных горных пород. Дается понятие о важнейшем инженерном термине горных пород – грунте; представлена его классификация согласно стандарту Республики Беларусь.

В лабораторных работах по второму разделу раскрываются темы, связанные с определением вида грунта (косвенными и прямыми методами); влажности грунта; плотности дисперсного, сухого грунта и его частиц; максимальной плотности и оптимальной влажности; коэффициентов внутреннего трения и фильтрации; пластичности; размокания и набухания глинистых пород; содержания органических материалов в грунтах.

Работы по заключительному разделу составлены на основе изучения таких тем, как определение модулей деформации и упругости, компрессионных характеристик, сдвиговых показателей глинистых и песчаных грунтов.

В зависимости от объема курса в план проведения лабораторных занятий могут быть включены все описанные работы либо часть их.

Знания, полученные при изучении дисциплины «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог», необходимы для последующего освоения курсов «Проектирование дорог», «Технология строительства дорог», «Эксплуатация дорог».

Учебное пособие ориентировано на программу курса по специальности Т.19.03–«Строительство дорог и транспортных объектов». Структура пособия соответствует требованиям изучения дисциплин

«Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог» и «Инженерная геология».

В списке литературы приводятся многочисленные литературные источники: учебники, учебные пособия, нормативные документы.

Автор выражает благодарность заведующему кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» И.И.Леоновичу за методическую помощь в подготовке издания и критические замечания, а также рецензентам – проф., д.т.н. Н.П.Вырко и проф., д.т.н. В.Н.Яромко за советы по улучшению содержания рукописи.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ

Цель работы:

1. Изучение основных физических свойств минералов.
2. Определение физических свойств выданного минерала.

Аппаратура:

Коллекция минералов, увеличительное стекло, фарфоровая плитка, шкала твердости Мооса, стеклянный стакан, лабораторные весы, разновесы, компас.

1.1. Общая геология

Земля имеет сложную форму геоида, центрально-симметричное строение, состоит из нескольких геосфер. Тепловой режим Земли обуславливается солнечной радиацией (95%) и энергией распада радиоактивных веществ в недрах Земли.

Земная кора состоит из различных горных пород и минералов.

Минералы – это природные химические соединения или самородные элементы, возникшие в результате разнообразных физико-химических процессов, происходящих в земной коре и на ее поверхности.

Большинство минералов являются твердыми веществами, часть из них находится в жидком состоянии (ртуть). Твердые минералы чаще всего имеют кристаллическое строение: составляющие их частицы располагаются в строго определенном порядке, образуя кристаллическую решетку. Встречаются и аморфные минералы (опал, лимонит), частицы которых располагаются в беспорядке.

Совокупность минералов одинаковой кристаллической структуры и одинакового (в пределах допускаемых отклонений) химического состава образует *минеральный вид*. Современная минералогическая систематика насчитывает свыше 2800 минеральных видов. Основную массу горных пород составляют около 100 минералов, - их называют породообразующими, в то время как общее число минералов и их разновидностей, известных науке, приближается к 3500.

Горные породы - это естественные агрегаты различных минералов, возникшие в земной коре в результате затвердения природных силикатных расплавов, накопления осадков и преобразования ранее существовавших горных пород в процессе метаморфизма.

По условиям и способу образования все горные породы делятся на магматические, метаморфические и осадочные.

Магматические породы имеют с точки зрения использования их в строительстве много общего между собой. Общность их физико-механических свойств обусловлена наличием кристаллизационных связей между минеральными зернами, возникших в процессе формирования породы. Все магматические породы в ненарушенном состоянии имеют высокую прочность, водонепроницаемость и нерастворимость в воде, благодаря чему широко используются в качестве оснований сооружений.

Физико-механические свойства *метаморфических горных пород* во многом близки к магматическим, что обусловлено наличием у них жестких, преимущественно кристаллизационных связей. Метаморфические породы практически водонепроницаемы (за исключением карбонатных разновидностей), не растворимы в воде. Деформируемость и фильтрация этих пород возможны только по трещинам. Однако метаморфические породы обладают отличительными особенностями, заключающимися в анизотропности пород, обусловленной сланцеватостью.

Осадочные породы, входящие в состав четвертичных отложений, располагаются в верхних слоях земной коры и служат основанием для инженерных сооружений и источником получения дорожно-строительных материалов (щебня, гравия, песка). Для инженеров строительных специальностей этот вид горных пород является весьма важным и требует кропотливого и всестороннего изучения. Верхние слои осадочных пород можно рассматривать как грунты, которые представляют собой многокомпонентные системы, изменяющиеся во времени и используемые как основания, среда или материал при строительстве. Классификацию грунтов следует рассматривать в соответствии со стандартом Республики Беларусь (СТБ 943-93), распространяющимся на все грунты, применяемые при инженерно-геологических изысканиях, проектировании и строительстве.

Геологическое строение земной коры можно изучать по геологическим картам, которые позволяют понять геологическое устройство поверхности Земли и составить представление о строении земной коры на той или иной глубине.

1.2. Основные свойства минералов

Главными физическими свойствами минералов являются: 1) цвет; 2) цвет черты (цвет минерала в порошке); 3) прозрачность; 4) блеск; 5) излом; 6) спайность; 7) твердость; 8) плотность и др.

Цвет. Минералы могут иметь самую разнообразную окраску, оттенки, быть бесцветными. Окраска зависит, главным образом, от химического состава самого минерала и от примесей (железо, никель, кобальт, титан, уран, медь, хром и др). Некоторые минералы меняют окраску в зависимости от освещенности. Например, минерал лабрадор при некоторых углах поворота приобретает синюю, серую или зеленую окраску, вызванную присутствием тончайших пленочек минерала ильменита (FeTiO_3). Иногда кроме основной окраски минерала тонкая поверхностная пленка имеет дополнительную. Это явление называется *побежалостью* и объясняется интерференцией света в тонких слоях.

Цвет минерала определяется визуально, путем поворота минерала под различными углами освещения искусственного или естественного источника света.

Цвет черты (цвет в порошке). Многие минералы в растертом виде имеют другой цвет, чем в куске. Порошок можно получить, проводя куском минерала черту на белой шероховатой фарфоровой пластинке при условии, что твердость его меньше твердости фарфора. Под микроскопом в отраженном свете цвет минеральных зерен резко отличается от цвета в куске.

В ряде случаев цвет минерала в порошке является важным диагностическим признаком. Например, красный, бурый и магнитный железняк в кусках часто имеют одинаковый цвет, а цвет черты у них соответственно красный, желтый и черный.

Блеск минералов зависит от показателя их преломления и способности отражать от своей поверхности свет. По блеску все минералы можно разделить на три группы:

- 1) минералы с металлическим блеском;
- 2) минералы с полуметаллическим блеском;
- 3) минералы с неметаллическим блеском.

Металлический блеск – сильный блеск, свойственный металлам. Им обладают непрозрачные минералы, дающие в большинстве случаев черную черту на фарфоровой пластинке. Такой блеск имеют самородные металлы (золото, серебро, платина), многие сульфиды и окислы железа.

Полуметаллическим блеском обладают минералы, поверхность которых имеет блеск потускневшей поверхности металла (графит, гематит).

Неметаллический блеск подразделяется на:

стеклянный – напоминающий блеск поверхности стекла (кварц, кальцит, гипс);

жирный – поверхность минерала кажется как бы смазанной маслом (сера, нефелин, серпентин);

перламутровый – у прозрачных минералов, которые блестят, как поверхность перламутровой раковины (слюда, тальк);

шелковистый – при тонковолокнистом строении минерала; напоминает блеск шелковых нитей (асбест);

алмазный – у минералов с высоким показателем преломления света (алмаз);

матовый – у минералов с пористой, неровной землистой поверхностью (каолинит).

Прозрачность – способность минерала пропускать свет. По степени прозрачности минералы делятся на:

прозрачные – пропускающие свет подобно оконному стеклу (горный хрусталь, каменная соль, топаз);

полупрозрачные – через которые видны лишь очертания предметов (халцедон, опал);

просвечивающие – пропускающие свет только в очень тонких пластинках (полевые шпаты);

непрозрачные – через которые свет совсем не проходит (пирит, магнетит).

Излом – образуется при раскалывании минерала. Поверхность излома может быть:

раковистой – имеет вид вогнутой и концентрически-волнистой поверхности, напоминающей поверхность раковин (горный хрусталь);

занозистой – покрыта ориентированными в одном направлении занозами (гипс, роговая обманка);

неровной – имеет плоскость с неопределенно выраженной поверхностью (нефелин);

землистой – матовая шероховатая поверхность (каолинит, лимонит);

зернистой – встречается у минеральных агрегатов.

Спайность – способность минералов раскалываться или расщепляться по блестящим параллельным плоскостям. Различают пять видов спайности:

весьма совершенная – когда минерал очень легко (например, ногтем) расщепляется на отдельные тончайшие пластинки (слюда, гипс, хлорит);

совершенная – минерал раскалывается при слабом ударе молотком на гладкие параллельные пластинки (каменная соль, кальцит);

средняя – при расколе минерала образуются как плоскости спайности, так и поверхности с неровным изломом (оливин, полевой шпат);

несовершенная – при расколе минерала преобладают поверхности с неправильным изломом (апатит);

весьма несовершенная – минералы дают только незакономерные поверхности излома (золото).

Твердость – степень сопротивления минерала внешним механическим воздействиям (резанию, истиранию). В лабораторных условиях абсолютную величину твердости определяют на специальных приборах – твердомерах. В полевых условиях и на производстве используется шкала твердостей австрийского минеролога Мооса (разработанная в 1820 г.) (табл. 1.1), в которой используются минералы с известной и постоянной твердостью, расположенные в порядке возрастания твердости так, что каждый предыдущий минерал царапается последующим.

Т а б л и ц а 1.1

Шкала твердости Мооса

Твер- дость	Название	Химическая формула	Визуальные признаки
1	Тальк	$Mg_3[OH]_2[Si_4O_{10}]$	чертится ногтем
2	Гипс	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	
3	Кальцит	$CaCO_3$	чертится ножом
4	Флюорит (плавиковый шпат)	CaF_2	
5	Апатит	$Ca_5(F, Cl)(PO_4)_3$	
6	Ортоклаз (полевой шпат)	$K[AlSi_3O_8]$	царапается стеклом
7	Кварц	SiO_2	
8	Топаз	$Al_2(F, OH)_2[SiO_4]$	режет стекло
9	Корунд	Al_2O_3	
10	Алмаз	C	

При определении твердости минерала проводят черту на его свежей поверхности острым углом минерала-эталоны из шкалы твердости.

Магнитность определяется при помощи магнитной стрелки, притягиваемой или отталкиваемой при поднесении к ней магнитных минералов (магнетит, платина).

Плотность – масса вещества в единице объема. Лед с плотностью $0,916 \text{ г/см}^3$ является самым легким кристаллом; невянскит (осмистый иридий) и сыссертскит (иридий осмий) с плотностями соответственно $21,5$ и $22,5 \text{ г/см}^3$ – самыми тяжелыми минералами из известных науке.

По плотности минералы подразделяются на три группы:
легкие с плотностью до $2,5 \text{ г/см}^3$ (гипс, каменная соль);
средние с плотностью до $4,0 \text{ г/см}^3$ (кальцит, кварц, полевые шпаты, слюды);

тяжелые с плотностью больше $4,0$ (рудные минералы).

В табл. 1.2 приведены плотности некоторых минералов.

Т а б л и ц а 1.2

Плотность минералов

Минерал	Плотность, г/см^3	Минерал	Плотность, г/см^3
Опал	2,2	Роговая обманка	3,1...3,5
Сера	2,0	Апатит	3,1...3,2
Графит	2,2	Флюорит	3,0...3,2
Галит	2,1	Оливин	3,3...4,4
Гипс	2,3	Алмаз	3,5
Серпентин	2,5...2,7	Топаз	3,5
Микроклин	2,5...2,6	Малахит	3,6...4,0
Ортоклаз	2,5...2,6	Корунд	3,9...4,0
Бирюза	2,6...2,9	Марказит	4,8
Плагиоклаз	2,6...2,7	Пирит	4,9...5,2
Кварц	2,6	Гематит	4,9...5,3
Берил	2,6...2,9	Серебро	10,0...11,0
Кальцит	2,7	Платина	14,0...19,0
Нефрит	3,0	Золото	15,0...19,0

Плотность минерала определяется следующим образом.

Минерал взвешивается на лабораторных весах с точностью m до $0,01 \text{ г}$, опускается в стеклянный стакан с делениями, заполненный дистиллированной водой, и по разности отметок определяется его объем V с точностью до 1 мл .

Вычисляется плотность минерала по формуле

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

К другим диагностическим свойствам минералов относятся:
реакция со слабой (5%-й) соляной кислотой с выделением углекислого газа в виде пузырьков (кальцит, доломит) или сероводорода (сульфиды);

двойное лучепреломление, присущее минералам прозрачных разновидностей (исландский шпат);

вкус, с помощью которого определяют некоторые растворимые соли (каменная соль).

Задание

1. Провести черту куском минерала по фарфоровой пластинке и определить ее цвет визуально и под микроскопом.
 2. Визуально определить вид блеска минерала с учетом рассмотренной классификации.
 3. Визуально определить степень прозрачности минерала, для чего рассмотреть грани его куска или отколоть от него тонкую пластинку.
 4. Учítывая, что боковые грани минерала имеют естественный излом, визуально определить вид излома, применяя рассмотренную классификацию.
 5. По боковым граням минерала определить вид спайности.
 6. С помощью шкалы Мооса определить твердость минерала.
 7. С помощью магнитной стрелки определить магнитность минерала.
 8. Определить плотность минерала по приведенной методике.
- Характеристики основных физических свойств минерала, определенные по вышеизложенной методике и рассмотренные с учетом классификаций, внести в соответствующие графы табл. 1.3.

Основные физические свойства минерала

№ пп	Наименование характеристики	Описание характеристики
1	Цвет минерала основной побежалость (при наличии)	
2	Цвет черты визуальный под микроскопом	
3	Блеск	
4	Прозрачность	
5	Излом	
6	Спайность	
7	Твердость по шкале Мооса	
8	Магнитность	
9	Плотность, г/см ³ группа	
10	Название минерала	

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличается минерал от горной породы?
2. В чем отличие твердости от плотности минерала?

Лабораторная работа № 2

КЛАССЫ МИНЕРАЛОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ
НАЗВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОПРЕДЕЛИТЕЛЯ

Цель работы:

1. Изучение классов минералов.
2. Изучение методики определения названия класса.
3. Определение названия минерала и класса, к которому он относится.

Аппаратура:

Коллекция минералов, шкала твердости Мооса, фарфоровая плитка.

2.1. Классы минералов

Современная классификация минералов основывается на их химическом составе и кристаллической структуре вещества. В зависимости от этих характеристик минералы классифицируются на следующие группы:

- 1) самородные элементы;
- 2) сульфиды;
- 3) окислы и гидроокислы;
- 4) галонидные соединения;
- 5) кислородные соли (карбонаты, сульфаты, вольфраматы, фосфаты, силикаты).

Из общего числа минералов около 34% падает на силикаты, около 25% - на окислы и гидроокислы, около 20% - на сульфиды и 21% - на все остальные.

Самородные элементы. Минералы состоят из одного химического элемента или смеси двух элементов. Земная кора содержит не более 0,1% (по массе) самородных элементов (83 минерала). Для самородных элементов характерны чрезвычайно высокая пластичность, металлический блеск, ковкость, тепло- и электропроводность, высокая плотность.

К самородным металлам относятся самые тяжелые минералы – *невьянскит* и *сыссертскит*. Кроме самородных металлов (Fe, Cu, Ni, Ag, Au и др.) встречаются также самородные металлоиды (мышьяк As, сурьма Sb, висмут Bi) и неметаллы (сера S, селен Se, теллур Te, углерод C). Физические свойства некоторых самородных элементов приведены в табл. 2.1.

Сульфиды являются солями сероводородной кислоты. Большинство из них – тяжелые, мягкие, блестящие, обладают высокой электропроводностью. Земная кора содержит не более 0,15% (по массе) минералов этой группы (230). Физические свойства некоторых сульфидов приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.1

Физические свойства самородных элементов

Название	Химическая формула	Блеск	Цвет	Плотность, г/см ³	Твердость по Моосу
Золото	Au	мет.	золотисто-желтый	до 19,3	2,5
Платина	Pt	мет.	серо-стальной	до 19,0	4...4,5
Сера	S	жирн.	желтый	2,07	1,5
Железо	Fe	мет.	серо-стальной	7,3...7,9	4...5
Графит	C	жирн.	черный	2,09...2,23	1,0
Алмаз	C	алм.	бесцветный	3,47...3,56	10

Таблица 2.2

Физические свойства сульфидов

Название	Химич. формула	Блеск	Цвет	Плотность, г/см ³	Твердость по Моосу
Пирит (серый и железный колчедан)	FeS ₂	мет.	соломенно-желтый	4,9...5,2	6,0...6,5
Халькопирит (медный колчедан)	CuFeS ₂	мет.	зеленовато-желтый	4,1...4,3	3,0...4,0
Пирит (магнитный колчедан)	FeS	мет.	бронзово-желтый	4,6...4,7	4,0
Галенит (свинцовый блеск)	PbS	мет.	свинцово-серый	7,4...7,6	2,0...3,0

Оксиды и гидроксиды представляют собой соединения элементов с кислородом и гидроксильной группой OH. Земная кора содержит до 17% (по массе) оксидов. Наиболее распространены кварц (12,6%), окислы и гидроксиды железа (3,9%), окислы и гидроксиды Al, Mn, Ti, Cr. Физические свойства основных представителей этой группы минералов приведены в табл. 2.3.

Физические свойства оксидов

Название	Химич. формула	Блеск	Цвет	Плотность, г/см ³	Твердость по Моосу
Магнетит (магнитный железняк)	Fe ₃ O ₄	мет.	черный	4,9...5,2	5,5...6,0
Гематит (красный железняк)	Fe ₂ O ₃	мет.	черный, стальной, красный	4,9...5,3	5,5
Лимонит (бурый железняк)	Fe ₂ O ₃ x xH ₂ O	матовый	темно-бурый	3,6...4,0	4,5...5,0
Корунд	Al ₂ O ₃	стекл.	синеватый, серый	3,9...4,0	9,0
Кварц	SiO ₂	стекл.	бесцветный, дымчатый	2,65	7,0

Галоидные соединения представляют собой соли галоидно-водородных кислот. Земная кора содержит около 0,5% (по массе) галоидных соединений (около 100). Для них характерны стеклянный блеск, малые плотности, растворимость в воде. Физические свойства наиболее распространенных галоидных соединений приведены в табл. 2.4.

Кислородные соли. В этот класс входят соли угольной (карбонаты), серной (сульфаты), фосфорной (фосфаты), вольфрамовой (вольфраматы) и кремниевых (силикаты) кислот.

Карбонаты – соли угольной кислоты H₂CO₃, имеют малую плотность, стеклянный блеск, твердость 3...5, реакцию с разбавленной HCl. Земная кора содержит 1,7% (по массе) карбонатов. К ним относятся: кальцит CaCO₃, доломит CaMg(CO₃)₂, магнезит MgCO₃, сидерит FeCO₃ и др.

Физические свойства галоидных соединений

Название	Химич. формула	Блеск	Цвет	Плотность, г/см ³	Твердость по Моосу
Флюорит (плавиковый шпат)	CaF ₂	стекл.	зеленый, фиолетовый, желтый	3,0...3,2	4,0
Галит (каменная соль)	NaCl	стекл.	бесцв., синеватый, розовый, серый	2,1	2,5
Сильвин	KCl	стекл.	бесцв., белый, розовый	1,97...2,0	1,5...2,0

Сульфаты – соли серной кислоты H₂SO₄, обычно мягкие, легкие, светлые минералы, внешне похожие на карбонаты, но не реагирующие с HCl. Земная кора содержит 0,1% (по массе) сульфатов. Наиболее широкое распространение имеют: гипс CaSO₄ · 2H₂O, ангидрит CaSO₄.

Фосфаты – соли фосфорной кислоты P₂O₅; имеют большое промышленное значение как сырье для производства удобрений. Количество фосфатов в земной коре составляет 0,7...1% (по массе); они представлены более чем 200 минералами. Пороодообразующими являются апатиты Ca₅(F,Cl)(PO₄)₃ и фосфориты.

Вольфраматы. К ним относится более десятка минеральных видов. Цвет вольфрамата (Fe,Mn)WO₄ – буро-черный, блеск – от стеклянного до алмазного, прозрачность – от непрозрачных до полупрозрачных, излом – неровный. Наиболее широко известный – шеелит Ca[WO₄].

Силикаты с химической точки зрения являются солями кремниевых кислот. Различные сочетания кремния и кислорода дают начало многочисленным соединениям, образовавшим класс силикатов (включающий до 500 минералов), которые составляют около 75% от общей массы земной коры.

Для большинства силикатов характерны: стеклянный блеск, небольшая плотность, высокая твердость. Наиболее известные силикаты – оливин (Fe,Mg)[SiO₄], топаз Al₂[SiO₄](F,OH)₂, гранат

$\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$, тальк $\text{Mg}_3(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$, серпентин $\text{Mg}_6(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$, каолинит $\text{Al}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$, монтмориллонит $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, мусковит $\text{KAl}_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ и др.

2.2. Диагностика минералов

Диагностика минералов представляет собой трудоемкий и длительный процесс. Вначале определяются физические свойства, рассмотренные в предыдущей теме; затем проводится химический анализ минерала; подсчитываются количественные соотношения входящих в него элементов или соединений. Выводится предварительная формула. Следующим этапом является проведение рентгеноструктурного анализа, на основании которого устанавливаются сингонии, классы и группы минералов. При этом свойства изучаемого минерала сравнивают с данными диагностических справочников, в которых приведены сведения о свойствах всех известных науке минералов.

В связи с ограниченностью времени на изучение данного раздела в лабораторных условиях диагностика минерала проводится с использованием определителя, включающего в себя главнейшие порообразующие минералы.

Чтобы определить класс минерала, сначала необходимо установить название неизвестного образования.

Методика сокращенной диагностики включает следующие этапы:

1. Определение физических свойств и описание их в рабочей таблице 2.5.

Т а б л и ц а 2.5

Диагностика минерала

Физические свойства					Группа твердости (табл. 2.6)	Номер минерала в опреде- лителе	На- звание минерала
Твер- дость по Моосу	Блеск	Цвет	Цвет черты	Спай- ность			
1	2	3	4	5	6	7	8

2. Определение группы, в которую входит искомый минерал (табл. 2.6), по его твердости.

Таблица 2.6

Диагностические признаки минералов

№ группы	Твердость по Моосу	Блеск	Показатели дополнительных физических свойств	Порядковый номер в определителе
1	2	3	4	5
1	до 2	металлический	пачкает руки	1
		стеклянный или шелковистый	спайность весьма совершенная, бесцветный, листочки по спайности гибкие	19
			зеленый слюдоподобный, листочки по спайности гибкие	33
		жирный	мыльный на ощупь	28
		матовый	белый, землистый, при намочении в воде пластичен	30
2	от 2 до 3	жирный	желтый с раковистым изломом	2
		стеклянный или перламутровый	зеленый, мелкозернистый, черта зеленая	34
			черный, расщепляется на тонкие листочки	32
			светлый, расщепляется на тонкие листочки	31
			соленый на вкус	13
			вскипает под действием соляной кислоты	15
3	от 3 до 4	металлический	золотистый, черта зеленовато-черная	5
		стеклянный, шелковистый, перламутровый	зеленый, пятнистый, волокнистый	29
			белый, вскипает в подогретой соляной кислоте	16
			фиолетовый, зеленый, голубой, прозрачный, кубики-кристаллы	14
			белый, голубой, совершенная спайность, зернистый	20

1	2	3	4	5
			вскипает в порошке под действием соляной кислоты	17
			желтовато-бурый, вскипает в подогретой соляной кислоте	18
4	от 4 до 5	жирный или стеклянный	желтый и зеленоватый, прозрачный	21
		матовый, жирный	бурый, непрозрачный, зернистый	22
5	от 5 до 6	металлический, матовый	черта черная	9
			черта желто-бурая	12
			черта вишнево-бурая	8
		жирный, шелковистый	просвечивающий	11
			черта зеленая или бурая, спайность совершенная	27
		стеклянный	темно-зеленый, черный, черта серо-зеленая	26
			серый, отсвечивает в синеголубых и зеленых тонах	39
			зеленовато-серый, желтовато-зеленый, черта светлая	36
			желтоватый, розовый, красный, прямоугольные обломки по спайности	35
			белый, косоугольные обломки по спайности	37
	серый, темно-серый, желтоватый, косые углы по спайности	38		
6	от 6 до 7	металлический	кубические золотистые кристаллы, черта темно-серо-зеленоватая, почти черная	3
			лучистые сростки тускло-золотистого цвета	4
		жирный, стеклянный	скрытокристаллический, в виде натечных форм, слабо просвечивающий	7

1	2	3	4	5
			спайность отсутствует, излом раковистый	6
			бутылочно-зеленый, мелкие зерна в породе	23
7	свыше 7	стеклянный, жирный	цвет красный, многогранник	24
			зеленый, розовый, черный, призматические кристаллы	25
			голубоватый, синий, серый, спайность несовершенная, излом неровный	10

3. Определение порядкового номера, под которым искомый минерал находится в определителе (табл. 2.7), по остальным физическим свойствам.

Таблица 2.7

Характеристика породообразующих минералов

№ пп	Класс	Название минерала	Твердость	Блеск	Цвет в куске	Цвет черты	Излом и спайность
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Самородные элементы	графит	1,0	полуметаллический, жирный	серо-стальной до черного	серовато-черная, блестящая	зернистый; весьма совершенная в одном направлении
2	—	сера	1,5	жирный, просвечивающий	желтый	слабая, светло-желтая	раковистый; несовершенная
3	Сульфиды	пирит (серный колчедан, железный колчедан)	6,0...6,5	сильный металлический	соломенно-желтый, золотистый	зеленовато-черная	неровный, раковистый; несовершенная

1	2	3	4	5	6	7	8
4	—	марказит	6,0...6,5	металлический, тусклый	бледно-зелено-ватожелтый	зелено-ватосерая	неровный
5	—	халькопирит (медный колчедан)	3,5...4,0	сильный металлический, иногда с радужной побежалостью	латунно-желтый, зелено-ватозолотистый	зелено-ваточерная	неровный; весьма несовершенная
6	Окислы и гидрокислы	кварц (прозрачный – горный хрусталь, фиолетовый – аметист, дымчатый – кварц, черный кварц – морион)	7,0	стеклянный на гранях кристалла, жирный на изломе	белый (молочный), дымчатый, розовый, бесцветный, черный	не дает черты	раковистый; спайности нет
7	—	халцедон	6,5	мутно-жирный, матовый	светлосерый, голубоватый	не дает черты	раковистый; спайности нет
8	—	гематит (бурый железняк)	5,5	металлический, матовый	от красноватобурого до железно-черного	вишнево-бурая	раковистый или землистый; спайности нет

1	2	3	4	5	6	7	8
9	—	магнетит (магнитный железняк)	5,5...6,5	металлический	железно-черный	черная	в кристаллах, в сплошных массах, зернистый; несовершенная
10	—	корунд (красная разновидность — рубин, темная разновидность — наждак)	9,0	стеклянный	голубоватый, синий, серый, бурый	черты не дает	неровный; несовершенная
11	—	опал	5,5...6,5	жирный, тусклый, иногда слабо стеклянный	белый, желтый, серый, синий, бурый	черты не дает	раковистый
12	—	лимонит (бурый железняк)	4,0...5,0	матовый, полуметаллический	ржаво-желтый, бурый, темно-бурый	желтовато-бурая, ржаво-желтая	землистый
13	Галоиды	галит (каменная соль, поваренная соль)	2,5	стеклянный, жирный	белый, бесцветный, синеватый, розовый, серый	белая	весьма совершенная в трех направлениях

1	2	3	4	5	6	7	8
14	—"	флюорит (плавиковый шпат)	4,0	стеклянный	фиолетовый, желтый, зеленый	белая	
15	Карбонаты	кальцит (прозрачная разновидность — исландский шпат)	3,0	—"	белый, серый, желтый, голубой, прозрачный или просвечивающий	—"	совершенная в трех направлениях
16	—"	магнетит	3,5...4,5	стеклянный, шелковистый, матовый	белый, серый, желтоватый	—"	раковистый или землистый в скрытокристаллических разновидностях; совершенная в кристаллических разновидностях
17	—"	доломит (горький шпат)	3,5...4,0	стеклянный, иногда перламутровый	белый, желтый, серый	—"	совершенная в трех направлениях по ромбоэдру
18	—"	сидерит (железный шпат)	3,5	стеклянный, часто перламутровый	серый, горохово-желтый, бурый	белая или желтоватая	совершенная в трех направлениях

1	2	3	4	5	6	7	8
19	Сульфаты	гипс (легкий шпат, мелкозернистый белый и розовый — алебастр, волокнистый — селенит)	2,0	стеклянный с перламутровым, шелковистый у волокнистых разновидностей	бесцветный (прозрачный), белый, розовый, желтый, серый	белая	волокнистые разновидности с занозистым изломом; весьма совершенная в одном направлении
20	—	ангидрит (безводный гипс)	3,0...3,5	стеклянный, иногда с перламутровым отливом	белый, сероватый, голубой, розовый	—	зернистый; совершенная в трех направлениях
21	Фосфаты	апатит	5,0	на гранях стеклянный, на изломе жирный	бесцветный, зеленый, белый, желтоватый, синевато-зеленый	—	неровный, раковистый; несовершенная
22	—	фосфорит	5,0	матовый	бледно-желтый, серый, бурый	серая, слабая	спайность отсутствует
23	Силикаты	оливин (перидотит)	6,5...7,0	стеклянный	оливково-зеленый, буроватый, прозрачный или просвечивающий	не дает	неровный; средняя

1	2	3	4	5	6	7	8
24	—"	гранат	7,0...7,5	стеклянный, реже жирный	темно-красный, буроватый	не образуется	неровный, раковистый
25	—"	турмалин	7,0...7,5	стеклянный	зеленый, розовый, бурый, черный, прозрачный	не дает	занолистый; спайность отсутствует
26	—"	авгит	6,5	—"	зеленый, бурый, черный	светлая, зеленая	неровный
27	—"	роговая обманка	5,5...6,0	на плоскостях спайности шелковистый	серо-зеленый, темно-зеленый, черный	зеленоватая или бурая	занолистый; совершенная в двух направлениях
28	—"	талък	1,0	жирный, на плоскостях спайности перламутровый	белый, желтоватый, зеленоватый, голубоватый	белая	расщепляется на толстые неупругие листочки; весьма совершенная в одном направлении
29	—"	серпентин (волокнистая разновидность — горный лен, асбест)	3,0...4,0	жирный, восковой, шелковистый	от светло-зеленого, голубоватого до темно-зеленого с желтыми пятнами	белая, зеленоватая	раковистый или занозистый; совершенная в одном направлении

1	2	3	4	5	6	7	8
30	—	каолинит	1,0...2,0	тусклый, матовый, жирный, в чешуйках, перламутровый	белый, слегка желтоватый или сероватый	белая	землистый; весьма совершенная в одном направлении
31	—	мусковит (белая калиевая слюда)	2,0...3,0	стеклянный, перламутровый	бесцветный, с желтоватым, розоватым, зеленоватым или сероватым оттенком	—	весьма совершенная в одном направлении
32	—	биотит (черная железомagneзиальная слюда)	2,0...3,0	стеклянный, перламутровый	прозрачный, черный или темно-зеленый, бурый	белая или зеленоватая	весьма совершенная в одном направлении
33	—	хлориты	2,0...2,5	стеклянный, перламутровый	зеленый	светлая, зеленоватая	то же
34	—	глаукоцит	2,0...3,0	тусклый, стеклянный, жирный	темно-зеленый	зеленая	неровный
35	—	ортоклаз	6,0	стеклянный	белый, кремовый, голубоватосерый, розовый	белая	совершенная по двум направлениям

1	2	3	4	5	6	7	8
36	—"	микроклин	6,0	стеклянный или слегка перламутровый на гранях спайности	кремовый, зеленовато-серый, розовый, зеленый (амазонит)	светлая	совершенная по двум направлениям
37	—"	альбит (натриевый плагиоклаз)	6,0	стеклянный	белый, голубовато-белый	белая	Неровный; совершенная по двум направлениям
38	—"	анортит (кальциевый плагиоклаз)	6,0...6,5	—"	серый, белый, голубоватый, желтоватый	—"	совершенная в двух направлениях
39	—"	лабрадор (известковый плагиоклаз)	6,0	стеклянный, перламутровый	серый, темно-серый, с голубыми и зеленоватыми переливами (иризирующий)	то же	совершенная в двух направлениях
40	—"	нефелин (элеолит «масляный камень»)	6,0	стеклянный на гранях, жирный на изломе	серый, розовый, желто-бурый, бесцветные кристаллы	не дает	плоскоравный; несовершенная

4. Определение названия минерала и наименования класса, к которому он относится, по порядковому номеру в определителе. Для этого надо сравнить характеристики в определителе с характеристиками, внесенными в рабочий журнал; при их совпадении делается вывод о тождественности искомого и справочного минералов.

Задание

1. Определить название обозначенного минерала.
2. Определить класс минерала.

Вопросы для самопроверки

1. Какой из классов минералов – самый распространенный в земной коре?
2. Какие необходимо провести исследования при открытии нового минерала?

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА СТРУКТУРЫ СИЛИКАТОВ

Цель работы:

1. Изучение кристаллической структуры минералов.
2. Изучение типов соединений кремнийкислородных тетраэдров.
3. Составление кристаллохимической характеристики обозначенного минерала.

Аппаратура:

Коллекция минералов.

3.1. Структура минералов

Твердые минералы в большинстве случаев являются кристаллическими веществами. Геометрически кристаллическая решетка представляет собой плотно пригнанные друг к другу многогранники (кубы, октаэдры, параллелепипеды и др.), в вершинах, центрах или серединах граней которых на строго определенном расстоянии располагаются атомы (или ионы). Каждая такая решетка может характеризоваться шестью параметрами: трансляциями a , b , c (его

ребрами) и углами между ними α , β , γ (рис. 3.1). В зависимости от количества главных осей симметричность кристаллов может быть трех категорий:

- 1) высшая: главных осей несколько, как в кубе (галит, магнетит);
- 2) средняя: главная ось только одна, как у карандаша (кварц, берилл);
- 3) низшая: главных осей нет совсем, как у линейки (гипс, арагонит).

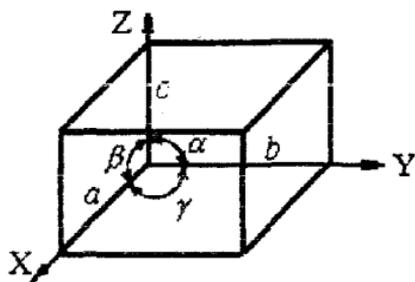


Рис. 3.1. Трансляции и углы, характеризующие параллелепипед

Таким образом, категория симметричности учитывает только соотношение длины, ширины и высоты кристаллов. Изменение углов между трансляциями приведет к перекосу решетки.

Все кристаллические многогранники подразделяются на семь кристаллографических сингоний (от греч. «сходноугольность»). Высшая категория имеет только одну сингонию, называемую *кубической*. Средняя категория включает три сингонии: *гексагональную* (шестиугольную), *тригональную* (треугольную) и *тетрагональную* (квадратичную). Низшая категория включает: *ромбическую* сингонию, в которой кристаллы не имеют перекосов, *моноклинную* – с перекосом только в одной проекции (в профиль) и *триклинную*, где кристаллы перекошены со всех сторон.

В 1848 г. французский кристаллограф Огюст Бравэ математическим путем доказал, что в каждой кристаллической решетке из-за повторяемости бесконечного числа параллелепипедов всегда можно выбрать один такой, с помощью которого можно характеризовать всю решетку в целом. Таким образом, все кристаллические структуры описываются 14-ю трансляционными группами, соответствующими 14-ти решеткам Бравэ, отличающимися по форме элементар-

ных ячеек, симметрии и подразделяющимся на 7 кристаллографических сингоний.

В зависимости от расположения частиц решетки Бравэ могут быть:

1) *примитивными*, где частицы располагаются только в узлах решетки;

2) *базоцентрированными*, где частицы располагаются как в узлах решетки, так и в центре двух противоположных граней;

3) *объемоцентрированными*, где частицы располагаются в узлах и в центре решетки;

4) *гранецентрированными*, где частицы располагаются в узлах решетки и в центре каждой грани.

Распределение решеток Бравэ по сингониям и характеристика их параметров приведены на рис. 3.2.

Категория	Сингонии	Тип решетки			
		примитивная	базоцентрированная	объемоцентрированная	гранецентрированная
Н	триклинная $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90$	1 			
Н	моноклинная $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90$	2 	3 		
Н	ромбическая $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90$	4 	5 	6 	7 
С	тригональная $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90$	8 			
С	тетрагональная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90$	9 		10 	
С	гексагональная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90$	11 			
В	кубическая $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90$	12 		13 	14 

Рис. 3.2. Решетки Бравэ

3.2. Кремнийкислородные тетраэдры

В состав большинства горных пород входят минералы, относящиеся к силикатам. В природе кремний (Si) находится всегда в соединении с кислородом. Четырехвалентный катион Si^{4+} окружен 4-мя анионами кислорода, расположенными по вершинам тетраэдра, что дает группу $[\text{SiO}_4]^{4-}$, соединяющуюся с соседними группами только через вершины тетраэдров. Кремнийкислородные тетраэдры, объединяясь в различные сочетания, образуют следующие типы структур (рис. 3.3):

- 1) островные (оливин, гранаты);
- 2) кольцевые (берил, турмалин);
- 3) цепочечные (авгид, гиперстен);
- 4) ленточные (роговая обманка, амфиболы);
- 5) листовые (талек, серпентин);
- 6) каркасные (ортоклаз, плагиоклаз).

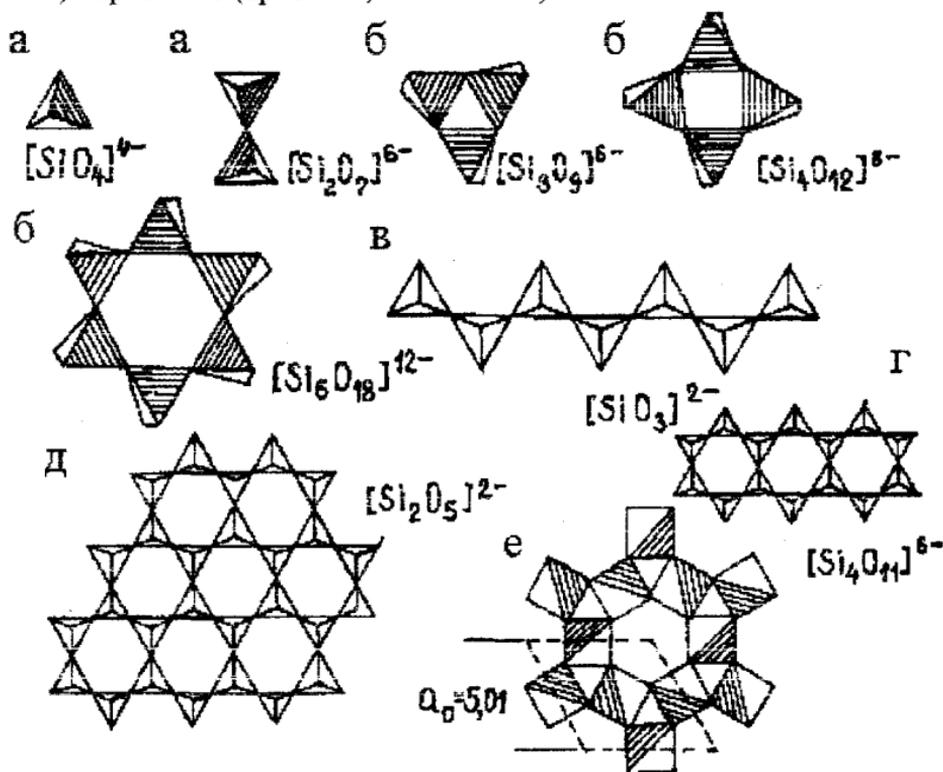


Рис. 3.3. Типы соединений кремнийкислородных тетраэдров

Задание

1. На основании предложенного варианта представить характеристику минерала из класса силикатов (табл. 3.1).

2. Начертить на отдельном листе обозначенный тип сингонии.

3. Начертить тип соединения кремнийкислородных тетраэдров для обозначенного минерала.

Исходные данные представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.1

Характеристика минералов

Название минерала	Химическая формула	Кристаллическая решетка	Параметры сингонии		Категория кристаллов	Название структуры силиката
			трансляции	углы		
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 3.2

Исходные данные

№ пп	Название минерала	Химическая формула	Кристаллическая решетка	Номер решетки Бравэ	Структура силиката	Варианты
1	2	3	4	5	6	7
1	Оливин	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	ромбич.	4	остр.	1,13,6
2	Гранат	$\text{A}_3\text{B}_3[\text{SiO}_4]_3$	кубич.	12	остр.	2,12
3	Берилл	$\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$	гексагон.	11	кольц.	3,11,7
4	Турмалин	$(\text{Na,Ca})(\text{Mg,Al,Li})_3(\text{Mn,Fe,Al,Li})_6(\text{BO}_3)_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{OH})_4$	тригон.	8	кольц.	4,10,8
5	Авгит	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$	монокл.	2	цепоч.	5,1
6	Актинолит	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$	монокл.	3	лент.	6,2
7	Роговая обманка	$\text{NaCa}_2(\text{Mg,Fe,Al})_3[(\text{Si,Al})_4 \times \text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$	монокл.	2	лент.	7,3
8	Мусковит	$\text{KA}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$	монокл.	3	лист.	8,4
9	Биотит	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{F,OH})_2$	монокл.	2	лист.	9,14

1	2	3	4	5	6	7
10	Тальк	$Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	монокл.	3	лист.	10
11	Серпентин	$Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	монокл.	2	лист.	11
12	Каолинит	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$	монокл.	3	лист.	12
13	Ортоклаз	$K[AlSi_3O_8]$	монокл.	2	карк.	13,5
14	Нефелин	$Na[AlSi_3O_4]$	гексагон.	11	карк.	14,9

Вопросы для самопроверки

1. Что такое трансляции и сингонии?
2. Какой тип структуры силикатов имеет наибольшее число свободных связей?

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Цель работы:

1. Изучение классификации магматических пород.
2. Изучение основных видов магматических пород.
3. Описание отличительных признаков образца магматических пород.

Аппаратура:

Коллекция магматических пород, лабораторный микроскоп, увеличительное стекло.

4.1. Классификация магматических пород

Магматические горные породы образовались в результате внедрения и остывания проникших с глубин в земную кору магматических масс (каменных расплавов) или излияния их на поверхность. Магма – огненно-жидкий вязкий расплав сложного химического состава (главным образом, силикатного) с большим содержанием паров воды и различных газов.

По условиям образования и залегания магматические горные породы подразделяются на:

- а) глубинные (интрузивные);
- б) излившиеся (эффузивные);
- в) жильные (гипабиссальные).

Глубинные магматические породы образуются в условиях высокого давления и температуры при медленном и равномерном остывании (кристаллизации) магмы.

Магматические породы, образовавшиеся в условиях поверхности земли или в непосредственной близости от нее, называются *излившимися (эффузивными)*.

Жильные (гипабиссальные) образования – это трещины, заполненные магмой, отходящие от крупных интрузивных тел.

Внутреннее и внешнее строение горной породы характеризуется структурой и текстурой.

Структура – это особенность внутреннего строения, обусловленная размерами, формой или количественным соотношением его составных частей – минералов.

Текстура – это особенность внешнего облика породы, характеризующаяся порядком размещения минеральных зерен, их ориентировкой и окраской.

Структура горной породы может быть:

- 1) интрузивная – полнокристаллическая (зернистая);
- 2) эффузивная – порфировая, скрытно-кристаллическая, стекловатая.

При *полнокристаллической структуре* все вещество раскристаллизовано в агрегатные минералы. Типичный представитель – гранит.

При *порфировой структуре* в основной нераскристаллизованной или слабо раскристаллизованной массе имеются крупные отдельные кристаллы, обычно – полевого шпата. Такая структура характерна для липоритового, андезитового и базальтового порфира.

Стекловатая структура образуется при быстром охлаждении магмы, когда она до перехода в твердое состояние не успевает полностью раскристаллизоваться. Характерна для диабазы и обсидиана.

Из текстур для глубинных магматических пород наиболее характерны массивная и пятнистая, для излившихся – пузыристая и пористая.

Массивная (плотная) текстура отличается беспорядочным расположением минералов в массе породы. Характерна для гранитов, сиенитов.

Пятнистая возникает при неравномерном распределении темных и светлых минералов в объеме породы. Характерна для пироксинита.

Пористая образуется при бурном выделении газов в процессе остывания излившейся магмы. Характерна для диабаза.

Пузыристая отличается размерами пор.

Магматические породы в зависимости от размеров зерен минералов разделяются на:

- 1) крупнозернистые – от 1,0 до 5,0 мм;
- 2) среднезернистые – от 0,5 до 1,0 мм;
- 3) мелкозернистые – менее 0,5 мм.

Химический состав магматических пород определяется содержанием кремнезема SiO_2 . По этому показателю магматические породы подразделяются на:

- 1) кислые ($\text{SiO}_2 = 65 \dots 75\%$);
- 2) средние ($\text{SiO}_2 = 52 \dots 65\%$);
- 3) основные ($\text{SiO}_2 = 40 \dots 52\%$);
- 4) ультраосновные ($\text{SiO}_2 < 40\%$).

Ультраосновные породы распространены крайне редко, и поэтому в дальнейшем не рассматриваются.

Классификация магматических пород (табл. 4.1) по содержанию SiO_2 имеет практическое значение. С уменьшением его содержания изменяются физические свойства пород:

- 1) возрастает плотность;
- 2) понижается температура плавления;
- 3) породы лучше поддаются полировке;
- 4) окраска изменяется от светлой до темной;
- 5) минеральный состав изменяется в сторону уменьшения количества кварца и увеличения темноцветных минералов.

Магматические породы по инженерно-строительной классификации относятся к скальным и являются хорошим основанием для сооружений. В земной коре различают около 600 разновидностей магматических горных пород.

Классификация магматических пород

Кислотность	Количество SiO ₂ в % по массе	Характеристика пород						Окра-ска	Минералогический состав, %					
		интрузивные		эффузивные		гипабис-сальные	кварц		полевые шпаты	цветные минералы				
		порода	структура	тек-стура	порода						структу-ра	тек-стура		
Кис-лые	65 ... 75	граниты	полнокри-сталличе-ская	мас-сив-ная	мас-сив-ная	кварце-вые порфи-ры, липари-ты, обсиди-ан, пемза	неполно-кристал-лическая стекло-ватая	порфи-ровая	пузы-рис-чатая	мас-сив-ная	15...40	40...60	5...10	серая, розо-вая, крас-новатая
Сред-ние	52...65	диориты	полнокри-сталличе-ская	мас-сив-ная	мас-сив-ная	агдзиде-товые порфи-риты, андеситы	неполно-кристал-лическая	порфи-ровая	пузы-рис-чатая	мас-сив-ная	< 5	70	30	темно-серая, темно-зеленая
Ос-нов-ные	40...52	габбро	полнокри-сталличе-ская	мас-сив-ная	мас-сив-ная	диабазы	стекло-ватая	порис-чатая	порис-чатая	мас-сив-ная	нет	50	50	темно-серая, темно-зеленая
Ульт-раос-нов-ные	< 40	пирок-сениты	порфиро-видная	пяти-ни-стая	мас-сив-ная	пирок-сениты	пяти-ни-стая	пирок-сениты	пяти-ни-стая	пяти-ни-стая	нет	нет	100	темно-зеле-ная, черная

4.2. Краткая характеристика важнейших представителей магматических пород

Гранит – интрузивная полнокристаллическая порода от светло-серой до красной окраски. По содержанию SiO_2 является кислой. Минеральный состав: ортоклаз и плагиоклаз (40...60%), кварц (15...40%), авгит, роговая обманка, биотит (5...10%). Граниты обладают большой прочностью при сжатии (160...250 МПа). Распространены на юге Украины и на Кольском полуострове.

Обсидиан – вулканическое стекло (названо по имени римлянина Обсидиуса, привезшего этот камень из Эфиопии). Кислая, эффузивная порода, имеющая стекловатую структуру серого, бурого цвета (до черного). К этому же классу (кислых, эффузивных) относятся кварцевые порфиры, имеющие плотную массивную текстуру. Окраска – желто-бурая, красноватая и коричневая. Структура – порфировая.

Сиенит – интрузивная, средняя порода с полнокристаллической структурой. По внешнему виду похож на гранит, от которого отличается меньшим содержанием кварца и большим содержанием цветных минералов. Сиениты распространены в области Украинского кристаллического щита и на Урале.

Трахит – эффузивный аналог сиенита, имеет порфировую структуру, состоит почти всецело из полевых шпатов. Цвет обычно – серый с зеленоватым оттенком. Древний аналог трахита – порфир.

Диорит – интрузивная порода с полнокристаллической структурой темно-серого или зеленовато-серого цвета, средняя по кислотному составу. От гранитов отличается отсутствием калиевого полевого шпата. В чистом виде встречаются редко.

Андезит – средняя эффузивная порода с порфировой структурой. Цвет темно-серый с зеленоватым оттенком. Древний аналог андезита – порфириты. Наряду с базальтовыми это – самые распространенные лавы, которые слагают громадные вулканические поля на Кавказе и Камчатке.

Габбро – основная интрузивная порода со средней и крупнозернистой структурой темно-зеленого и черного цвета. Показатели физико-механических свойств изменяются в широких пределах, что объясняется неоднородным минеральным составом. Прочность при

сжатии колеблется от 40 до 300 МПа. Наиболее известны габбро Украины и Урала.

Базальты и их древние аналоги – диабазы являются распространенной эффузивной разновидностью габбровой магмы. По цвету несколько темнее андезита. Порода имеет четко выраженную порфириковую структуру. На черном фоне резко выражены вкрапления плагиоклаза и темноцветных минералов. Порода тяжелая, плотная. Обладает высокой прочностью при сжатии – 350 и даже 500 МПа. Базальты применяются как строительный камень, электроизоляционный и кислотоупорный материал. Широко распространены в Восточной Сибири и на Кавказе.

Задание

Описать предложенный образец магматической породы в следующей последовательности:

1. Визуально определить цвет породы, которая может характеризоваться однородным состоянием или пятнистой, полосчатой окраской. Породы, окрашенные в светлые тона, называются лейкократовыми, в темные – меланократовыми.

2. Визуально определить текстуру горной породы в соответствии с классификацией, предложенной в подразделе 4.1.

3. С помощью лабораторного микроскопа изучить структуру горной породы, т.е. совокупность признаков строения, обусловленных размерами и формой отдельных кристаллов. Измерить размеры отдельных зерен. Установить, относится данная порода к равномернoзернистой или к неравномернoзернистой в случае, когда одни зерна по размерам резко отличаются от других. Определить ориентировочное значение кварца. Следует помнить, что кислые породы – лейкократовые, с большим содержанием кварца; у средних пород преобладает серая окраска (среднее цветное число 20), кварца мало или нет совсем; основные породы не содержат кварца, цветное число достаточно велико, в окраске преобладают темно-серые тона.

4. С помощью лабораторного микроскопа определить цветное число, или цветной индекс, под которым понимают количество

темноцветных минералов в объемных процентах (числовое значение может быть от 0 до 100).

5. На основании проведенных макро- и микроскопических исследований сделать заключение:

- 1) об условиях образования (интрузивные, эффузивные);
- 2) о содержании SiO_2 (кислые, средние, основные);
- 3) о наименовании породы.

Результаты исследований занести в рабочую табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4.2

Отличительные признаки магматической породы

№ пп	Наименование показателей		Признаки породы
1	Цвет	лейкократовые	
		меланократовые	
2	Текстура		
3	Структура	размер отдельных зерен, мм	
		форма зерен	
		равномернозернистость	
		вид	
4	Содержание кварца, % (по светлым кристаллам)		
5	Цветное число		
6	Выводы	принадлежность по условиям образования	
		кислотность породы	
		название породы	

Вопросы для самопроверки

1. Как влияет минералогический состав магматических пород на их цвет и плотность?

2. Как подразделяются магматические породы по условиям образования?

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Цель работы:

1. Изучение классификации метаморфических пород.
2. Изучение основных видов метаморфических пород.
3. Описание отличительных признаков образца метаморфических пород.

Аппаратура:

Коллекция метаморфических пород, лабораторный микроскоп, увеличительное стекло.

5.1. Классификация метаморфических пород

Метаморфические горные породы образуются в результате преобразования ранее существовавших пород, происходящего в земной коре под воздействием большого давления, высокой температуры, минерализованных растворов и газов.

Различают три формы метаморфизма: контактный, динамометаморфизм и региональный.

Контактный метаморфизм проявляется под воздействием на окружающие горные породы высокой температуры (в зоне контакта 700...1200°C), газов и горячих растворов при прорыве магматических масс в толщу ранее отложившихся пород. Он выражается в оплавлении породы, перекристаллизации и цементации.

Наиболее распространенной породой, образующейся при контактном метаморфизме, являются роговики – темные, плотные породы, имеющие однородную текстуру и мелкозернистую структуру. Характерной породой этой группы является также мрамор, физические и механические свойства которого зависят от его структуры и текстуры. Сопротивление сжатию в среднем составляет 100 МПа. В отличие от других метаморфических пород мраморы растворяются в воде, содержащей углекислоту.

Динамометаморфизм проявляется при воздействии на горные породы высокой температуры и огромных давлений, возникающих в процессе горообразования, он всегда связан с проявлением сил сжатия.

Характерными представителями этой группы пород являются тектониты (брекчии трения, катаклазиты, милониты) – раздробленные, иногда перетертые породы, в различной степени сцементированные. Все тектониты имеют достаточно высокую плотность, однако их прочностные и деформационные свойства значительно хуже, чем у первичных пород – гранитов, песчаников, алевролитов. Благодаря сланцеватой структуре сопротивление сдвигу резко снижается.

Региональный метаморфизм связан с погружением целых регионов земной коры на большие глубины, в области очень высоких температур. Среди пород этой группы наиболее распространены кварциты, гнейсы и кристаллические сланцы.

Наиболее прочными и устойчивыми являются кварциты – массивная порода различной зернистости, обладающая высокой механической прочностью (150...200 МПа). Пористость кварцитов ничтожна; величины водопоглощения и водонасыщения составляют десятые доли процента (0,2...0,3%); они морозоустойчивы и слабо выветриваются.

Физико-механические свойства гнейсов в зависимости от их структуры и текстуры меняются в широких пределах. Очковая текстура снижает их прочность.

Кристаллические сланцы характеризуются слоистостью и сланцеватостью, которые определяют анизотропность их свойств, снижающую их морозостойкость и способствующую быстрому выветриванию. Прочностные свойства этих пород изменяются в широких пределах – от нескольких десятков МПа до нескольких МПа.

Метаморфические породы обладают особенностями, отличающими их от магматических и осадочных, – кристаллической структурой и своеобразной текстурой.

Текстура метаморфических пород может быть:

- 1) сланцеватая с параллельным расположением минералов;
- 2) полосчатая с чередованием полос размытого минерального состава и цвета;

3) волокнистая с ориентированным расположением волокнистых или игольчатых минералов.

Минералогический состав метаморфических пород определяется минералогическим составом исходной породы.

Магматические породы в процессе метаморфизма ухудшают свои строительные свойства, – появляется трещиноватость, полосчатость. Осадочные породы, наоборот, улучшают их: уплотняются, обжигаются, перекристаллизовываются и переходят в разряд скальных.

5.2. Краткая характеристика важнейших представителей метаморфических пород

Мрамор (от греч. *marinos* – блестящий камень) залегает в виде пластов. Химический состав CaCO_3 образуется в результате перекристаллизации известняка и реже – доломита. Окраска разнообразная – белая, серая, черная. Структура – кристаллически-зернистая. Твердость – 3...3,5. Хорошо полируется. Прочность при сжатии – 50...250 МПа.

В состав *роговика* входят кварц, темная слюда, гранат, полевые шпаты и др. минералы. В известково-силикатных роговиках присутствуют пироксены, кальций, волластонит и др. Используются как сырье для получения щебня. По характеру новообразованных минералов различают биотитовый, амфибольный, кардиеритовый и т.д. роговики.

Кварцит образовался в результате метаморфизма кварцевых песчаников с кремнистым цементом или кварцевых порфиров. Очень плотная и твердая порода. Окраска – белая, розовая, серая (до черной). Прочность на сжатие – 100...140 МПа. Огнеупорен, температура плавления – 1750...1770°C. В строительстве используется для получения щебня, в химической промышленности – как кислотоупорный материал.

Гнейс (нем. *Gneis*) – порода, подвергшаяся наиболее глубокому метаморфизму. Состоит из кварца, полевых шпатов и темных минералов. Гнейсы образуются как из осадочных (парагнейсы), так и из магматических (ортогнейсы) пород. Структура – кристаллическая, текстура – сланцеватая. По преобладанию темных минералов различают гнейсы биотитовые, роговообманковые и др. Плотность –

2,6...2,9 г/см³, прочность при сжатии – 120...140 МПа. Используются в качестве облицовочного камня.

Сланец – горная порода с ориентированным расположением слагающих минералов и хорошо выраженной сланцеватостью (способностью раскалываться на тонкие пластинки). Различают глинистые, углистые, кремнистые, известковые и др. сланцы. Образованные из осадочных пород сланцы называются парасланцами, из магматических – ортосланцами, битумизованные – горючими (они используются в качестве твердого топлива). Кристаллические сланцы применяются в строительстве.

Амфиболит (от греч. amphibolos – неопределенный) – среднезернистая горная порода, сложенная, в основном, из амфибола (роговая обманка) и плагиоклаза. Плотность – 2,9...3,2 г/см³. Прочность на сжатие – до 260 МПа. Твердость по минералогической шкале – 5...6,5. Амфиболы-асбесты – ценное кислото-, щелоче- и огнеупорное сырье.

Брекчия (нем. brecha – ломка) – горная порода, состоящая из сцементированных крупных (более 10 мм) угловатых обломков различного состава. Цемент может быть представлен минералами, резко отличными от обломков или близкими к ним. По образованию выделяются брекчии осадочные, карстовые, вулканические, тектонические и др. Брекчии тектонические возникают при движении вдоль плоскости разрывного нарушения и при складкообразовании. Они являются продуктом низшей ступени местного дислокационного метаморфизма. Размеры обломков меняются от микроскопических до огромных глыб. Пространство между ними заполнено частицами тех же пород или жильным материалом.

Милонит – тонко перетертая горная порода с отчетливо выраженной сланцеватой текстурой. Развитию милонита способствуют неоднократные и разнонаправленные движения по поверхности нарушения. Разорванные блоки, перемещаясь, дробят, перетирают и сдавливают породу, вследствие чего она становится компактной. Образуются полосчатые текстуры и расслоенность. Милонит – плотная порода, в которой линзы грубо раздробленного материала располагаются в слоистой массе тонко раздробленной породы.

Классификация метаморфических пород представлена в табл. 5.1.

Классификация метаморфических пород

№ пп	Исходная порода	Вид метаморфизма				Строение и внешний вид породы	Текстура	Минеральный состав
		контактный	региональный	динамометаморфизм	6			
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Известняк	мрамор	-	-	зернисто-кристаллическая, белая, светло-серая порода, изредка сланцеватая или неясно-волнисто-полосчатая текстура	массивная	кальцит, реже доломит, иногда примесь графита	
2	Кислые вулканические породы	роговик амфиболовый	-	-	мелкозернистая, очень крепкая порода темно-серого, темно-зеленого или черного цвета	массивная беспорядочная	плаггиоклаз, амфибол, пироксен	
3	Глинистый сланец	роговик биотитовый	-	-	мелкозернистая крепкая порода серого, буровато-серого, иногда розовато-серого цвета	массивная беспорядочная	кварц, биотит, магнетит, иногда полевой шпат, гранат	
4	Песчаник	-	кварцит	-	мелкозернистая порода, иногда сливная (отдельные зерна нельзя различать) белого, желтого, красноватого цвета, блестящая на изломе, иногда сланцеватая, плитчатая	массивная	кварц	

1	2	3	4	5	6	7	8
5	Гранит	—	гнейс	—	зернисто-кристаллическая серая или желтоватая порода, иногда с полусчатой, очковой или сланцевой текстурой	массивная гнейсовая	кварц, микроклин, биотит, могут быть роговая обманка, пироксен, гранат
6	Основные и средние вулканические породы	—	сланец	—	мелкозернистая зеленая массивная порода с шелковистым блеском	сланцеватая	хлорит, актинолит, альбит
7	Габбро, диорит	—	амфиболит	—	зернисто-кристаллическая масса темно-зеленого или черного цвета, нередко заметен белый плагиоклаз	массивная или сланцеватая	роговая обманка зеленого или черного цвета, плагиоклаз
8	Известняк, глинистый сланец, скальная порода	—	—	тектонические брекчи, милониты	угловатые обломки раздробленных первичных пород, сцементированные той же мелкоздробленной породой	сланцеватая, тонкополосчатая, очковая	роговая обманка, микроклин, иногда полевой шпат, каолинит

Задание

При исследовании метаморфических пород необходимо установить: 1) что представляла собой порода до метаморфизма; 2) какие явления обусловили метаморфизм?

Для полного и уверенного ответа на эти вопросы необходимо выяснить условия залегания породы в естественной обстановке и детально исследовать породу под микроскопом.

Описание образца метаморфических пород осуществляется в следующей последовательности:

1. Визуально определить цвет породы.
2. С помощью лабораторного микроскопа изучить и описать текстуру и структуру образца породы с учетом материала, изложенного в подразделе 5.1.
3. С помощью микроскопа изучить жилы, прожилки и вкрапления минералов, а также зафиксировать посторонние включения.
4. Используя табл. 5.1, определить название породы, установить вид метаморфизма и описать минеральный состав.
5. Результаты лабораторных исследований занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Результаты лабораторных исследований

№ пп	Наименование характеристики	Описание
1	Цвет породы	
2	Текстура	
3	Структура	
4	Вкрапление минералов	
5	Наличие посторонних включений	
6	Название породы	
7	Вид метаморфизма	
8	Минералогический состав	

Вопросы для самопроверки

1. В чем отличие метаморфических пород от магматических?
2. Почему анизотропность характерна для регионального метаморфизма?

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы:

1. Изучение классификации осадочных пород.
2. Изучение основных видов осадочных пород.
3. Описание отличительных признаков образца осадочной породы.

Аппаратура:

Коллекция осадочных пород, лабораторный микроскоп, увеличительное стекло.

6.1. Классификация осадочных пород

Осадочные горные породы образуются в результате разрушения (выветривания) различных ранее существовавших горных пород и последующего отложения в водной или воздушной среде продуктов этого разрушения.

В соответствии с условиями образования осадочные породы имеют слоистый или пластовый характер.

При изучении осадочных пород различают их структуру, под которой понимают свойство, обусловленное формой и размером слагающих породу частиц, и текстуру, обусловленную происхождением породы, особенностями расположения частиц и ее внешним (макроскопическим) видом.

По величине обломков осадочные породы подразделяют на следующие основные группы:

- 1) крупнообломочные (псефитовые) с частицами более 2 мм ;
- 2) песчаные (псаммитовые) с частицами от 2 до 0,05 мм;
- 3) пылеватые (алевритовые) с частицами от 0,05 до 0,005 мм;
- 4) глинистые (пелитовые) с частицами менее 0,005 мм.

По форме обломков различают породы, в которых частицы могут быть:

- 1) угловатыми (неокатанными);
- 2) округло-угловатыми (полуокатанными);
- 3) округло-полированными (окатанными).

В зависимости от соотношения зерен по размеру выделяют структуры:

- 1) равнозернистая, где частицы – одного размера;
- 2) разнотернистая, где частицы отличаются по размерам;
- 3) оолитовая, где зерна имеют округлые очертания и величину 1...2 мм;
- 4) листовая, при которой породы имеют листовато-слоистое сложение;
- 5) игольчатая и волокнистая, зависящие от формы и величины слагающих их минералов;
- 6) брекчиевидная, при которой порода состоит из крепко спаянных между собой остроугольных обломков.

По характеру взаимного расположения частиц в осадочных породах выделяются следующие текстуры:

- 1) беспорядочная, при которой слагающий породу минерал расположен хаотично;
- 2) листовая, при которой порода разделяется на тончайшие слои в связи с частой сменой зерен различного размера по слоистости;
- 3) полосчатая, при которой поверхности слоистости почти параллельно или волнообразно изгибаются и выклиниваются;
- 4) слоистая, которая формируется в морских и пресных водоемах. Существуют виды слоистости: параллельная, или горизонтальная; косая, или перекрестная; волнистая; диагональная.

В осадочных породах *цементом* называется масса тонкозернистого или аморфного материала, скрепляющая отдельные более

крупные зерна. Цемент может образоваться одновременно с отложением осадка или после этого в результате осаждения солей из циркулирующих в породе растворов. По составу он бывает: глинистый, алевроитовый, песчаный, известковый, кремнистый и т.д. От характера цемента зависит прочность осадочных пород.

Пористость в осадочных породах является одним из основных внешних признаков. По степени пористости можно выделить следующие породы:

- 1) плотные, в которых пористость не заметна на глаз;
- 2) мелкопористые, в которых можно различить мелкие частые поры;
- 3) крупнопористые, где величина пор колеблется от 0,5 до 2,5 мм;
- 4) кавернозные, где крупные поры представляют собой сложные пустоты – каверны, возникшие на месте выщелоченных раковин.

Пористость глин достигает 40...50%, ила – 70...80%.

Осадочные породы имеют самую разнообразную окраску и оттенки от снежно-белого до черного (табл. 6.1). Окраска является признаком, характерным для определения этих пород, и зависит: 1) от окраски минералов, слагающих породу; 2) от окраски рассеянных в породе примеси и цемента; 3) от цвета тончайшей корочки, часто обволакивающей зерна составляющих породу минералов.

Т а б л и ц а 6.1

Окраска минералов в осадочных породах

№ пп	Цвет	Наличие минералов и соединений
1	Белый и светло-серый (свидетельствует о чистоте породы)	кварц, каолинит, кальцит, доломит
2	Темно-серый и черный	примеси углистого вещества или солей марганца и сернистого железа
3	Красный и розовый	примеси окислов железа
4	Зеленый	примесь закисного железа или присутствие окрашенных минералов: глауконита, хлорита, малахита
5	Желтый и бурый	лимонит

Определять цвет нужно при дневном свете, – искусственный свет так же, как и влажность породы, изменяет оттенки.

По происхождению (генезису) осадочные породы подразделяются на три основные группы (табл. 6.2):

- 1) обломочные;
- 2) органогенные;
- 3) химические.

Т а б л и ц а 6.2

Классификация осадочных пород

Группы	Вид	Сцементированность	Название породы				
			глыба, валун	щебень, галька	дресва, гравий	песок	пылеватые: лесс, лессовидные
Обломочные	собственно обломочные	рыхлые	глыба, валун	щебень, галька	дресва, гравий	песок	пылеватые: лесс, лессовидные
		сцементированные	брекчии – неокатанные обломки, конгломерат – окатанные обломки			песчаник	алевролиты
	глинистые	рыхлые	супеси		суглинки	глины	
		сцементированные	аргиллиты				
Органогенные	карбонатные	известняк	доломит		мел	мергель	
	кремнистые	опока			диатомит		
химические		ангидрит	гипс		каменная соль		

6.2. Основные виды осадочных пород

Классификация гранулометрических элементов по В.В.Охотину представлена в табл. 6.3.

Крупнообломочные породы (глыба, валун, щебень, галька, дресва, гравий) рассматриваются как осадочные несцементированные

залежи обломков при полном отсутствии структурных связей. Их прочность зависит от слагаемых пород и плотности укладки.

Песок – рыхлая несцементированная горная порода, состоящая из обломков различных минералов и пород с различной степенью окатанности, образовавшаяся в результате физического выветривания или размывания.

Пыль – порода переходного характера от песков к глинам. К пылеватым породам относятся лесс, лессовидные суглинки и лессовидные супеси.

Таблица 6.3

Классификация гранулометрических элементов

Структурные элементы	Вид поверхности	Название элемента	Размер, мм
Макроструктурные	неокатанный	глыба	> 200
	окатанный	валун	> 200
	неокатанный	щебень	200... 10
	окатанный	галька	200...10
	неокатанный	дресва	10...2
	окатанный	гравий	10...2
Мезоструктурные	различная степень окатанности	песок	2...0,05
		пыль	0,05... 0,005
Микроструктурные		глина	< 0,005

Глина – это связная осадочная порода, содержащая значительное количество глинистых минералов (каолинит, монтмориллонит, гидрослюды и др.), обладающая рядом таких специфических свойств, как пластичность, набухание, усадка, липкость.

К рыхлым глинистым породам относятся:

1) супеси с содержанием глинистых частиц размером менее 0,005 мм от 3 до 10%;

2) суглинки – то же от 10 до 30%;

3) глины – более 30%.

Известняк – карбонатная порода, состоящая, главным образом, из кальцита с примесями глины и песка. Известняки обладают различной окраской: чистые образцы имеют белый цвет, различные примеси окрашивают их в разные цвета от желтого до черного.

При увеличении количества глинистых примесей известняки переходят в *мергели* – породу полускального типа, иногда с раковистым, но чаще с неровным или землистым изломом. Содержание кальцита – от 25 до 75%. Бурно реагируют с соляной кислотой.

Доломит по химическому составу представляет собой двойную углекислую соль кальция и магния $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Чистый доломит встречается редко, чаще наблюдаются его разновидности. Доломит, растертый в порошок, вскипает от холодной HCl , в куске вскипает от горячей. Цвет – белый, кремовый или серый.

Мел – порода скального типа, образованная из скоплений остатков микроскопических морских организмов (60...70%) и кальцита. По внешнему виду она – белая, землистая, легко растирается в порошок.

Диатомит по внешнему виду – белая или желтоватая, пористая, чрезвычайно легкая, мягкая, рыхлая, слабосцементированная порода. Отличается от мела отсутствием реакции с HCl . Образовался в результате скопления микроскопических скорлупок диатомовых водорослей.

Опока – кремнистая твердая порода, состоящая из опала (90%) с примесью остатков организмов. Имеет сильно выраженную пористость и раковистый излом.

Ангидрит – обычно серая или голубовато-серая плотная порода твердостью 3...3,5. В процессе гидратации ангидрит CaSO_4 присоединяет две молекулы воды и переходит в гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Порода, сильно увеличиваясь в объеме, сминается, приобретая гофрированно-слоистую структуру.

Каменная соль имеет зернисто-кристаллическую структуру. Цвет меняется от белого до черного в зависимости от наличия различных примесей. Соленая на вкус; легко растворима в воде; удельный вес $2,1 \text{ г/см}^3$.

Задание

1. Исследовать петрографический состав осадочной породы визуально или с использованием лабораторного микроскопа.

При определении тех или иных свойств предложенной породы необходимо руководствоваться положениями, изложенными в подразделе 6.1.

2. Когда название породы станет известным, выписать ее краткую характеристику из подраздела 6.2. Последовательность исследования осадочной породы с определением ее свойств см. в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Результаты лабораторных исследований

№ пп	Наименование свойств породы	Описание свойств породы
1	Принадлежность по величине обломков	
2	Форма обломков	
3	Структура	
4	Текстура	
5	Пористость	
6	Окраска	
7	Наличие сцементированных связей	
8	Приобретение пластических свойств при увлажнении	
9	Наименование породы	
10	Характеристика породы	

Вопросы для самопроверки

1. Как образуются осадочные сцементированные породы?
2. Как влияет вид поверхности гранулометрического элемента на состав грунта?

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ СТБ 943-93

Цель работы:

1. Изучение параметров, классифицирующих грунты без жестких структурных связей.
2. Классификация крупнообломочных, песчаных и пылевато-глинистых грунтов.
3. Определение вида грунта по результатам лабораторных испытаний.

Аппаратура:

Коллекция осадочных пород.

7.1. Параметры, классифицирующие грунты без жестких структурных связей

Под термином *грунт* понимается любая горная рыхлая порода или почва, слагающая верхний слой земной коры и изучаемая как многокомпонентная система, изменяющаяся во времени.

Стандарт Республики Беларусь 943-93 «Грунты. Классификация» включает в себя рассмотрение следующих классов грунтов:

- 1) с жесткими структурными связями (класс скальных грунтов);
- 2) без жестких структурных связей (класс нескальных грунтов).

Второй класс включает в себя осадочные несцементированные и искусственные грунты. Рассмотрим группу осадочных несцементированных грунтов, включающих:

- 1) крупнообломочные;
- 2) песчаные;
- 3) пылевато-глинистые;
- 4) обломочные пылевато-глинистые (лессовидные);
- 5) озерные;

6) биогенные (болотные, аллювиально-болотные и др.) грунты;

7) почвы (дерновые, подзолистые и т.д.).

В данной лабораторной работе остановимся на изучении первых трех групп, являющихся основанием для транспортных сооружений, а также источником получения дорожно-строительных материалов.

Обломочные грунты характеризуются следующими показателями:

1. Степень влажности (ГОСТ 5180-84)

$$S_r = \frac{W}{W_{max}}, \quad (7.1)$$

где W – естественная влажность грунта;

W_{max} – полное водонасыщение грунта, т.е. заполнение всех пор водой, причем из породы удален под вакуумом воздух.

2. Число пластичности (ГОСТ 5180-84)

$$I_P = W_L - W_P, \quad (7.2)$$

где W_L – влажность, соответствующая границе текучести;

W_P – влажность, соответствующая границе раскатывания.

3. Показатель текучести (ГОСТ 5180-84)

$$I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P}, \quad (7.3)$$

где показатели – такие же, как в предыдущих формулах.

4. Относительная просадочность (ГОСТ 23161-78)

$$\varepsilon_{SL} = \frac{\Delta h_{SL}}{h}, \quad (7.4)$$

где Δh_{sl} – уменьшение высоты образца;
 h – первоначальная высота образца.

5. Относительное набухание без нагрузки (ГОСТ 24143-80)

$$\varepsilon_{SW} = \frac{\Delta h_{SW}}{h}, \quad (7.5)$$

где Δh_{SW} – увеличение высоты образца.

6. Коэффициент пористости (ГОСТ 5180-84)

$$e = \frac{V_{nop}}{V_{me}} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}, \quad (7.6)$$

где V_{nop} – объем пор грунта;
 V_{me} – объем твердой фазы грунта;
 ρ_s – плотность частиц грунта;
 ρ_d – плотность сухого грунта.

7. Показатель максимальной неоднородности (ГОСТ 12536-79)

$$U_{max} = d_{50} \frac{d_{95}}{d_5}, \quad (7.7)$$

где d_5 , d_{50} , d_{95} – диаметры частиц, содержащихся в грунте соответственно в количестве 5, 50, 95%.

8. Относительное содержание органического вещества (ГОСТ 23740-79)

$$I_{om} = \frac{m_{om}}{m_d}, \quad (7.8)$$

где m_{om} – масса органического вещества;
 m_d – масса сухого грунта.

9. Степень засоленности

$$D_{sal} = \frac{m_{sal}}{m_d} \cdot 100, \quad (7.9)$$

где m_{sal} – масса солей в грунте (легкорастворимых: хлоридов, бикарбонатов, карбоната натрия, сульфата магния и натрия; среднерастворимых: гипса, ангидрита).

10. Прочность осадочных грунтов оценивается:

- 1) сопротивлением при статистическом зондировании q_c (ГОСТ 20069-81);
- 2) сопротивлением при динамическом зондировании p_d (ГОСТ 19912-81);
- 3) скоростью ударно-вибрационного зондирования V (ГОСТ 19912-81).

Следует иметь в виду, что прочность песчаных грунтов оценивается по всем трем показателям, а пылевато-глинистых – только по первым двум.

7.2. Классификация грунтов без жестких структурных связей

Классификация грунтов производится в соответствии с разделением их свойств и характеристик по типу, виду и разновидности.

Тип – это разделение грунтов по петрографическому, гранулометрическому составам и числу пластичности.

Вид – это разделение по структуре, текстуре, степени неоднородности, содержанию заполнителей и органических веществ.

Разновидность – это разделение по физическим, механическим и химическим свойствам.

Классификация крупнообломочных грунтов представлена в табл. 7.5.

Согласно СТБ 943-93, *песок* – это горная порода, в гранулометрическом составе которой масса частиц крупнее 2 мм составляет менее 50%, а число пластичности $I_p < 1$. Песчаные грунты классифицируются только по виду и разновидности (табл. 7.6).

Пылевато-глинистые грунты классифицируются по типу, виду и разновидности (табл. 7.7).

Т а б л и ц а 7.5

Классификация крупнообломочных грунтов

Тип	Вид	Разновидность
По гранулометрическому составу:	По составу и содержанию заполнителя:	По степени влажности S_r :
валунный грунт (при преобладании неокатанных частиц – глыбовый) – при массе частиц крупнее 200 мм более 50%	с песчаным заполнителем – при его содержании более 40%	маловлажный $0 < S_r \leq 0,5$ влажный $0,5 < S_r \leq 0,8$ водонасыщенный $0,8 < S_r \leq 1$
галечниковый грунт (при преобладании неокатанных частиц – щебенистый) – при массе частиц крупнее 10 мм более 50%	с пылевато-глинистым заполнителем – при его содержании более 30%	По степени засоленности $D_{sal}, \%$:
гравийный грунт (при преобладании неокатанных частиц – дресвяный) – при массе частиц крупнее 2 мм более 50%	(состав заполнителя устанавливается после удаления из образца грунта частиц крупнее 2 мм)	незасоленный – при содержании песчаного заполнителя менее 40% или пылевато-глинистого – менее 30% $D_{sal} < 2$; при содержании песчаного заполнителя 40% и более $D_{sal} < 0,5$; при содержании пылевато-глинистого заполнителя 30% и более $D_{sal} < 5$; засоленный – при значениях D_{sal} больше указанных для незасоленного грунта

Классификация песчаных грунтов

Вид	Разновидность
<p>По гранулометрическому составу:</p> <p>гравелистый – при массе частиц крупнее 2 мм более 25%;</p> <p>крупный – при массе частиц крупнее 0,5 мм более 50%;</p> <p>средний – при массе частиц крупнее 0,25 мм более 50%;</p> <p>мелкий – при массе частиц крупнее 0,1 мм 75% и более;</p> <p>пылеватый – при массе частиц крупнее 0,1 мм менее 75%</p>	<p>По прочности:</p> <p>q_c (ГОСТ 20069-81)</p> <p>R_d (ГОСТ 19912-81)</p> <p>V (ГОСТ 19912-81)</p>
<p>По показателю максимальной неоднородности U_{max}:</p> <p>однородный $U_{max} < 4$</p> <p>среднеоднородный $4 \leq U_{max} \leq 20$</p> <p>неоднородный $20 < U_{max} \leq 40$</p> <p>повышенной неоднородности $U_{max} > 40$</p>	<p>По степени влажности S_r – так же, как разновидность крупнообломочного грунта</p>
<p>По относительному содержанию органического вещества $I_{от}$:</p> <p>без примеси органического вещества</p> <p style="text-align: center;">$I_{от} \leq 0,03$</p> <p>с примесью органического вещества</p> <p style="text-align: center;">$0,03 < I_{от} \leq 0,1$</p>	<p>По степени засоленности D_{sal}, %:</p> <p>незасоленный $D_{sal} < 0,5$</p> <p>засоленный $D_{sal} \geq 0,5$</p>

Классификация пылевато-глинистых грунтов

Тип	Вид	Разновидность
1	2	3
По числу пластичности I_p , %:	По содержанию включений по массе:	По прочности:
супесь	с галькой (щебнем)	q_c (ГОСТ 20069-81)
$1 \leq I_p \leq 7$	либо с гравием (дресвой) при содержании соответствующих	P_d (ГОСТ 19912-81)
суглинок	частиц крупнее 2 мм	По показателю текучести I_L (консистенции):
$7 \leq I_p \leq 17$	15...25%	супесь твердая $I_L < 0$
глина	галечниковый (щебнистый) либо гравелистый (дресвяный) при содержании соответствующих	супесь пластичная $0 \leq I_L \leq 1$
$I_p > 17$	частиц крупнее 2 мм	супесь текучая $I_L > 1$
	26...50%	суглинок и глина:
	По относительному содержанию органического вещества $I_{от}$:	твердые $I_L < 0$
	без примеси органического вещества	полутвердые $0 \leq I_L \leq 0,25$
	$I_{от} \leq 0,05$	тугопластичные $0,5 < I_L \leq 0,75$
	с примесью органического вещества	мягкопластичные $0,5 < I_L \leq 0,75$
	$0,05 < I_{от} \leq 0,05$	текучепластичные $0,75 < I_L \leq 1$
		текучие $I_L > 1$

1	2	3
	<p>По коэффициенту пористости e:</p> <p>низкопористые $e \leq 0,8$</p> <p>высокопористые $e > 0,8$</p>	<p>По относительной просадочности ϵ_{SL} :</p> <p>непросадочный $\epsilon_{SL} < 0,01$</p> <p>просадочный $\epsilon_{SL} \geq 0,01$</p> <p>По относительному набуханию ϵ_{SW} :</p> <p>ненабухающий $\epsilon_{SW} < 0,04$</p> <p>слабонабухающий $0,04 \leq \epsilon_{SW} < 0,08$</p> <p>средненабухающий $0,08 \leq \epsilon_{SW} < 0,12$</p> <p>сильнонабухающий $\epsilon_{SW} > 0,12$</p> <p>По степени засоленности D_{sal}, %, супесь и суглинок:</p> <p>незасоленный $D_{sal} < 5$</p> <p>засоленный $D_{sal} \geq 5$</p>

Таблица 7.8

Результаты лабораторных исследований

№ пп	Наименование показателей	Варианты															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	Градулы-мет-риче-ский состав	размер гра-нулыр. эле-ментов, мм	240	230	40	30	20	8	7	250	50	6	220	20	6	5	
		содержа-ние грану-лыр. эле-ментов, %	55	60	65	55	60	60	55	65	70	65	70	55	60	70	
		вид по-верхности	окат.	не-окат.	окат.												
2	Запол-нитель	размер за-полнителя	1,0	0,01	0,001	1,0	0,01	0,001	1,0	0,01	0,001	0,1	0,01	0,01	0,1	0,01	
		содержа-ние	30	25	20	40	30	35	40	30	25	20	40	30	35	25	
3	S_r	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,5		
4	D_{SAI}	1	1,5	0,8	0,4	4	3	0,4	3	2	4	3	0,4	0,8	1,5		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
5	Гра- нуло- мет- риче- ский состав	размер гранулир. элементов, мм	5	7	0,8	1,0	0,3	0,45	0,15	0,2	0,15	0,2	0,15	0,2	5	7
	содержа- ние, %	30	35	60	55	60	55	80	85	60	55	80	85	30	35	
6	$U_{\text{пак}}$	5	10	20	25	30	35	40	45	40	35	30	25	20	10	
7	$I_{\text{от}}$	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,03	
8	$I_{\text{р}}, \%$	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	7	17	1	
9	Вклю- чения	размер, мм	40	30	20	8	7	6	5	40	30	20	10	8	7	6
	вид по- верхности	окат.	не- окат.	окат.	не- окат.	окат.	не- окат.	окат.	не- окат.	окат.	не- окат.	окат.	не- окат.	окат.	не- окат.	не- окат.
10	содержа- ние, %	15	20	25	26	30	35	40	45	50	15	20	25	20	15	
	e	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	
11	I_1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,5	0,8	0,4	
12	$E_{\text{св}}$	0,001	0,03	0,05	0,07	0,09	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,08	0,09	0,008	
13	$E_{\text{св}}$	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,1	0,08	

Задание

1. На основании исходных данных табл. 7.8 определить вид грунта и его характеристики. Анализ свойств производить в табличной форме (табл. 7.9).

2. Проанализировав результаты лабораторных исследований, сделать выводы относительно названия грунта и его физико-механических характеристик. Полученные результаты занести в табл. 7.9.

Таблица 7.9

Характеристика грунтов

№ пп	Наименование показателей	Условное обозначение	Характеристика показателей
1	Наименование крупнообломочного грунта		
2	Наименование заполнителя крупнообломочного грунта		
3	Степень влажности		
4	Степень засоленности		
5	Наименование песчаного грунта		
6	Степень однородности		
7	Содержание органического вещества		
8	Тип пылевато-глинистого грунта		
9	Наименование включений пылевато-глинистого грунта		
10	Степень пористости		
11	Консистенция грунта		
12	Категория просадочности грунта		
13	Категория набухания грунта		

Вопросы для самопроверки

1. По каким признакам СТБ 943-93 классифицирует песчаные грунты?
2. Что собой представляет консистенция пылевато-глинистого грунта и как ее можно определить?

Лабораторная работа № 8

ОТРАЖЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ КОЛОНОК И РАЗРЕЗОВ

Цель работы:

1. Изучение форм залегания и методов определения возраста горных пород.
2. Построение геологического разреза.
3. Построение стратиграфической колонки по геологическим скважинам.

Аппаратура:

Геологические карты, геохронологическая шкала.

8.1. Формы залегания горных пород

Осадочные горные породы могут иметь ненарушенное (первичное) и нарушенное залегание.

Ненарушенному залеганию свойственна слоистость, возникающая в процессе периодического накопления осадка и выражающаяся в последовательном чередовании горных пород в виде слоев, пластов. Каждый пласт имеет кровлю – верхняя плоскость пласта, подошву – нижняя плоскость, и мощность – расстояние между подошвой и кровлей.

Основные формы ненарушенного залегания осадочных горных пород приведены на рис. 8.1.



моноклитное (изотропное)
залегание



выклинивание пласта



пластовый характер



линзообразное залегание

Рис. 8.1. Формы ненарушенного залегания осадочных горных пород

Образование мощной моноклитной (однородной) толщи возможно в условиях, когда обстановка накопления осадка длительное время оставалась относительно неизменной.

Пластовое строение толщи является результатом изменения условий накопления осадков.

Выклинивание пластов часто возникает в случае, когда на наклонную поверхность толщи пород отлагаются более молодые осадки.

Линзообразное залегание является результатом изменения местных условий осадконакопления, причем линза представляет собой прослой, выклинивающийся в обе стороны на сравнительно небольшом расстоянии.

Форму залегания можно проследить по геологическому разрезу, построенному по геологической карте.

Геологической называют такую карту, на которой удален покров четвертичных континентальных отложений. Масштаб геологических карт различен: от 1:500000 до 1:25000 и крупнее. В основе их составления лежат литолого-стратиграфический и структурный принципы, в соответствии с которыми все горные породы рассматриваются с учетом условий и времени происхождения, последую-

щего преобразования и взаимных связей в пространстве. В связи с этим важнейшей задачей является определение относительного возраста горных пород. Среди существующих методов определения возраста наиболее распространенными являются стратиграфический, петрографический, палеонтологический и радиоактивный.

Стратиграфический метод (от латинского «стратум» – слой) заключается в изучении взаимоотношений слоев друг с другом. Чем выше залегает пласт, тем он моложе, – этот принцип справедлив для условия ненарушенного залегания.

Петрографический, или литологический, метод основан на сравнении горных пород по их составу и особенностям строения.

Палеонтологический метод заключается в изучении остатков животных организмов (фауны) и растений (флоры) в породах: слои, содержащие одинаковую флору и фауну, одновозрастны.

Радиоактивный метод основан на том, что радиоактивный распад происходит практически с неизменной скоростью. Этот метод является абсолютно точным.

Породы дочетвертичного возраста называются коренными, породы четвертичного возраста – покровными.

При составлении стратиграфических колонок необходимо указывать принадлежность породы к тому или иному геологическому времени (табл. 8.1).

Т а б л и ц а 8.1

Обозначение периодов геохронологических отрезков времени

Эра	Период	Условное обозначение	Цветное обозначение на геологической карте
1	2	3	4
Кайнозой- ская KZ	четвертичный	Q	желтовато-серый
	неогеновый	N	желтый
	палеогеновый	P	оранжево-желтый
Мезозой- ская MZ	меловой	K	зеленый
	юрский	I	синий
	триасовый	T	фиолетовый

1	2	3	4
Палеозой- ская PZ	пермский	P	оранжево-коричневый
	каменноугольный	C	серый
	девонский	D	коричневый
	силурийский	S	серо-зеленый
	ордовикский	O	оливковый
	кембрийский	Є	сине-зеленый

Для обозначения видов горных пород в стратиграфических колонках необходимо пользоваться условными обозначениями, приведенными в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Условные обозначения горных пород

	Почвенный слой		Суглинок
	Торф		Суглинок тяжелый пылеватый
	Песок		Мел
	Песок мелкозернистый		Глина
	Песок с гравием		Гравий
	Супесь		Мергель
	Супесь валунная		Гранит
	Известняк		Доломит

8.2. Построение геологического разреза

Геологические разрезы представляют собой изображения залегающих пород на мысленно проведенной плоскости вертикального сечения земной коры от ее поверхности на ту или иную глубину.

На основании фрагмента геологической карты (рис. 8.2) составим геологический разрез района, представленного на карте.

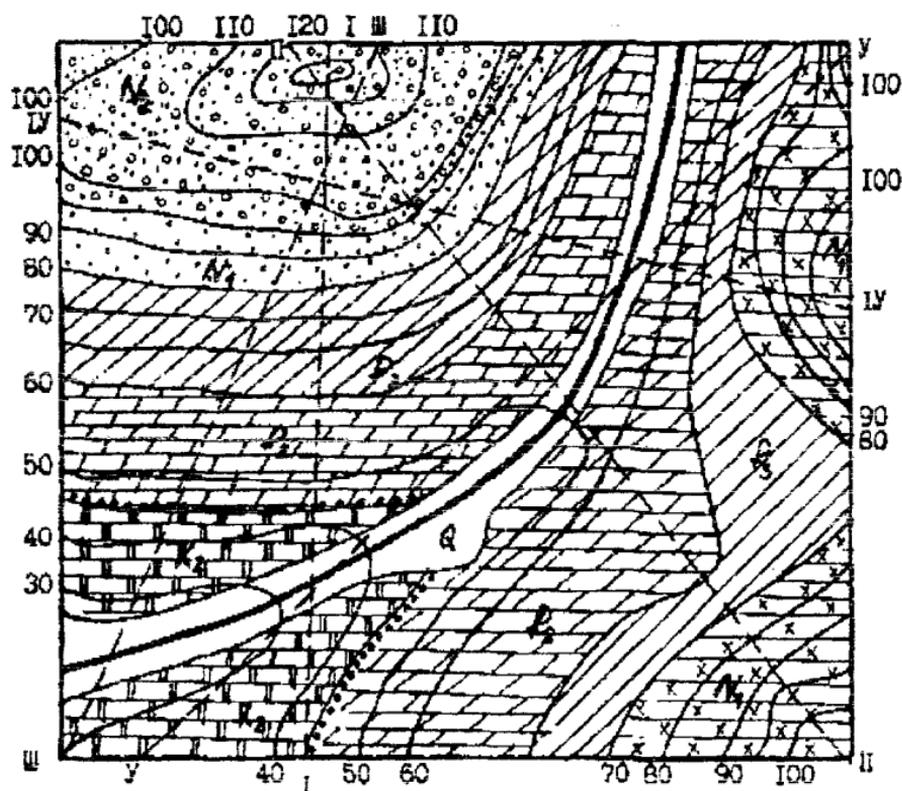


Рис. 8.2. Геологическая карта района, сложенного горизонтально залегающими породами

Геологический разрез выполняется по сечениям, обозначенным на карте в масштабах:

горизонтальный – 1 : 25 000 (в 1 см 250 м);

вертикальный – 1 : 10 000 (в 1 см 100 м).

Пример составления геологического разреза показан на рис. 8.3.

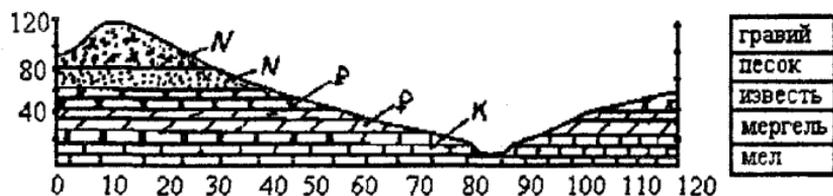


Рис. 8.3. Пример выполнения геологического разреза

Начерченный на отдельном листе геологический разрез раскрашивается в соответствии с цветным обозначением, представленным в табл. 8.1.

Задание

1. На стратиграфической колонке в возрастной последовательности снизу вверх от древних к молодым условной штриховкой нанести дочетвертичные осадочные, магматические и метаморфические породы.

2. Слева от колонки указать возраст породы и индекс, справа — мощность (в метрах) и описание породы.

3. Составить стратиграфическую колонку на основании описания геологических скважин (табл. 8.3).

Пример составления стратиграфической колонки приведен на рис. 8.4. Раскрасить колонку в соответствии с возрастом породы.

Таблица 8.3

№ скважины	№ слоя	Геологический индекс	Описание пород	Глубина залегания	
				от	до
1	2	3	4	5	6
1	1	Q	Песок желтый мелкозернистый	0,0	1,2
	2	...	Супесь красно-бурая, валунная	1,2	66,0
	3	...	Суглинок бурый	66,0	74,0
	4	...	Мел серовато-белый обводненный	74,0	89,0
2	1	N	Глина красно-бурая, с валунами	0,0	35,0
	2	...	Суглинок красный	35,0	43,0
	3	...	Гравий крупный с галькой и линзами глины валунной, бурой	43,0	70,0
	4	...	Известняк серый, переслаивающийся с голубовато-серой глиной, водоносной	70,0	120,0

1	2	3	4	5	6
3	1	P	Суглинок желто-бурого цвета, валунный	0,0	34,0
	2	...	Известняк доломитовый, трещиноватый	34,0	54,0
	3	...	Гравий глинистый, водоносный	54,0	78,0
	4	...	Гранит серый	78	85,0
4	1	Q	Торф	0	2,5
	2	...	Песок темно-серый, мелкозернистый, слегка пылеватый, кварцевый	2,5	5,0
	3	...	Суглинок бурый с линзами песка светло-серого, разнозернистого, с преобладанием крупной фракции, кварцевого с включениями полевого шпата темных минералов, валунный	5,0	28,0
	4	...	Мел серовато-белый, трещиноватый, местами с гнездами песка	28,0	53,0
	5	...	Мергельно-меловая толща с включениями кремния	53,0	82,0
5	1	N	Глина бурая, плотная, жирная, с валунами	0,0	19,0
	2	...	Мел серый плотный	19,0	50,0
	3	...	Известняк мергелистый, серый	50,0	79,0
	4	...	Доломит	79,0	91,0
	5	...	Гранит	91,0	98,0

Система	Индекс	Колонка	Мощность, м	Литологический состав
Четвертичный	Q		2,5	песок мелкозернистый
Неоген	N		20	суглинок желто-бурый, валунный
Неоген	N		15	гравий крупный с галькой и линзами глины валунной, бурой
Палеоген	P		40	мел серовато-белый, обводненный
Меловой	K		30	известняк серый, переслаивающийся с голубовато-серой глиной, водоносный

Рис. 8.4. Пример составления стратиграфической колонки

Выполнение лабораторной работы осуществляется по вариантно.
Исходные данные см. в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Исходные данные

Показатель	Сечение скважины	Варианты		
		1	6	11
Геологический разрез	I - I	1	6	11
	II - II	2	7	12
	III - III	3	8	13
	IV - IV	4	9	14
	V - V	5	10	15
Скважина	1	1	10	14
	2	2	8	15
	3	3	9	12
	4	4	7	11
	5	5	6	13

Вопросы для самопроверки

1. Какие методы применяются для определения возраста породы?
2. Что отражает геологическая карта?

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ГРУНТА ВИЗУАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Цель работы:

1. Изучение классификации методов определения гранулометрического состава грунтов.
2. Определение наименования грунта визуальным методом и построение геологической колонки.

Аппаратура:

Лабораторный микроскоп, предметное стекло, стеклянный стакан.

9.1. Физические свойства горных пород

Физические свойства горных пород – это такие свойства, которые определяют их физическое состояние и отношение к воде и оцениваются с помощью определенных показателей – характеристик. Они отражают качественное состояние грунта – т.е. его плотность, влажность, пористость, консистенцию, трещиноватость в условиях естественного залегания и при нарушенной структуре.

Исследование физических свойств горных пород имеет не только инженерное, но и общее геологическое значение, т.к. позволяет расширить область изученности горных пород, отражает изменения, которые произошли в результате длительного геологического развития, а также дает возможность спрогнозировать возможные изменения под воздействием воды, что имеет большое значение при использовании горных пород в качестве основания искусственных сооружений.

Основными показателями, характеризующими физические свойства грунтов, являются: гранулометрический состав; показатели плотности (плотность дисперсного, сухого грунта, частиц грунта, пористость, коэффициент пористости); показатели влажности (влажность, характеризующая границы пластичного состояния грунта – текучести и раскатывания); коэффициент фильтрации.

По основным физическим свойствам можно косвенно судить о прочности, деформируемости и устойчивости горных пород.

Физические свойства горных пород определяют на образцах с *ненарушенной* структурой, – когда необходимо знать свойства грунта, находящегося в конкретном месте строительства и воспринимающего нагрузку от инженерного сооружения, – либо с *нарушенной* структурой, – когда необходимо произвести сравнительный анализ либо иметь представление о виде грунта и его возможностях.

Основные физические свойства горных пород представлены в табл. 9.1.

Основные характеристики физических свойств горных пород

№ лаб. работы	Характеристика	Обозначение	Формула для вычисления	Размерность
1	2	3	4	5
Лаб. раб. № 9	Закон Стокса	V	$V = cr^2 = \frac{2}{9} gr^2 \left(\frac{\rho_S - \rho_W}{\eta} \right)$	см/с
Лаб. раб. № 11	Содержание фракции	A	$A = \frac{m_i}{m} \cdot 100$	%
Лаб. раб. № 13	Влажность естественная, гигроскопическая	W	$W = \frac{m_{вл} - m_c}{m_c - m_\epsilon} \cdot 100$	%
Лаб. раб. № 17			$W = \frac{\rho - \rho_d}{\rho_d} \cdot 100$	%
Лаб. раб. № 13	Степень влажности	Sr	$Sr = \frac{W}{W_{пв}}, \quad Sr = \frac{W\rho(1-n)}{n}$	безразмерная
Лаб. раб. № 15			$Sr = \frac{\rho_S \cdot W}{\rho_W \cdot e}$	
Лаб. раб. № 14	Плотность	ρ	$\rho = \frac{m_1 - m_0 - m_2}{V}$	г/см ³
Лаб. раб. № 14	Плотность сухого грунта	ρ_d	$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01W}$	г/см ³
Лаб. раб. № 15	Плотность частиц грунта	ρ_s	$\rho_s = \frac{m_6 \cdot \rho_W}{m_6 + m_5 - m_{пг}}$	г/см ³

1	2	3	4	5
Лаб. раб. № 15	Пористость	n	$n = \frac{V_{\text{пор}}}{V} \cdot 100$	%
Лаб. раб. № 15			$n = \frac{\rho_S - \rho_d}{\rho_S} \cdot 100$	%
Лаб. раб. № 15			$n = \left[1 - \frac{\rho}{\rho_S(1+0,01W)} \right] \cdot 100$	%
Лаб. раб. № 18			$n = \rho_d \cdot W_{\text{полн}} \cdot 100$	%
Лаб. раб. № 15	Коэффициент пористости	e	$e = \frac{V_{\text{пор}}}{V_T} \cdot 100$	безразмерная
Лаб. раб. № 15			$e = \frac{\rho_S - \rho_d}{\rho_d} \cdot 100$	безразмерная
Лаб. раб. № 16	Степень уплотнения	K_y	$K_y = \frac{\rho_d}{\rho_{d \max}}$	безразмерная
Лаб. раб. № 19	Коэффициент внутреннего трения	f	$f = \operatorname{tg} \alpha$	безразмерная
Лаб. раб. № 20	Число пластичности	I_p	$I_p = W_L - W_p$	%
Лаб. раб. № 20	Консистенция	I_L	$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}$	%
Лаб. раб. № 21	Закон Дарси	V	$V = K_{\phi} \cdot I$	м/сут
Лаб. раб. № 21	Коэффициент фильтрации	K_{10}	$K_{10} = \frac{h \cdot 864}{t \cdot T} \phi \left[\frac{S}{H_0} \right]$	м/сут

1	2	3	4	5
Лаб. раб. № 23	Величина относительного набухания	ε_{sw}	$\varepsilon_{sw} = \frac{\Delta h}{h}$	безразмерная
Лаб. раб. № 24	Усадка образца грунта по высоте, диаметру, объему	ε_{sl}	$\varepsilon_{sh} = \frac{h - h_k}{h}$ $\varepsilon_{sd} = \frac{d - d_k}{d}$ $\varepsilon_{sv} = \frac{v - v_k}{v}$	безразмерная
Лаб. раб. № 21	Содержание растительных остатков	I_{om}	$I_{om} = \frac{m_{SO} \cdot l}{m_S} \cdot 100$	%

9.2. Классификация методов определения гранулометрического состава грунтов

Наиболее часто применяемые методы определения гранулометрического состава грунта могут быть разделены на прямые и косвенные.

Прямые методы позволяют непосредственно выделять необходимые фракции, взвешивать и определять их процентное содержание в породе, а также использовать выделенные фракции для изучения минерального состава.

К прямым методам относятся: ситовой, пипеточный, метод А.Н.Сабанина (отмучивания).

Косвенные методы не предусматривают разделения породы на фракции, а позволяют оценивать вид грунта по сопутствующим характеристикам. Они основаны на изучении некоторых свойств исследуемой породы, по изменению которых можно судить о содержании в ней тех или иных фракций.

К косвенным методам относятся: ареометрический, визуальный и метод С.И.Рутковского.

Ареометрический метод гранулометрического анализа пород основан на измерении плотности приготовленной из них суспензии в процессе ее отстаивания. В его основу положен закон Стокса, касающийся скорости падения шарообразных частиц в воде под влиянием силы тяжести:

$$V = cr^2 = \frac{2}{9} gr^2 \left(\frac{\rho_S - \rho_W}{\eta} \right), \quad (9.1)$$

где V – скорость падения частиц в воде, см/с;

g – ускорение силы тяжести, см/с²;

r – радиус частиц, мм;

ρ_S – плотность частиц грунта, г/см³;

ρ_W – плотность воды, г/см³;

η – вязкость воды, Пз.

На основании этого закона построена номограмма, по которой может быть найден диаметр частиц, прошедших единицу пути в жидкости в определенное время:

$$d = \sqrt{A \cdot V}, \quad (9.2)$$

где

$$A = \frac{\eta \cdot 1800}{g(\rho_S - \rho_W)}; \quad V = \frac{H}{t}, \quad (9.3)$$

где H – путь частицы, см;

t – время падения частиц, с.

Таким образом, зная плотность суспензии, по расчетным формулам или по номограмме определяют количество грунтовых частиц определенного размера. Ареометрический метод пригоден для анализа глинистых грунтов.

9.3. Определение вида грунта в полевых условиях и построение геологической колонки

Для исследования рыхлых невязких песчаных и мягких глинистых пород в полевых условиях наиболее приемлемым является один из косвенных методов – *визуальный*, дающий приближенное представление о гранулометрическом составе породы. С учетом того, что анализ этим методом занимает непродолжительное время и не требует специального оборудования, он рекомендуется для массовых исследований и приближенного суждения о составе песчаных и глинистых пород. С помощью визуального метода нельзя установить процентное соотношение тех

или иных фракций в грунте, но с достаточной достоверностью можно выделить основные разновидности грунтов. Наиболее часто этим методом пользуются при инженерно-геологических изысканиях, в которые входит полевое обследование грунтов в различных выработках – расчистках, шурфах, шахтах, буровых скважинах. При этом составляются геологические колонки и инженерно-геологические разрезы (см. лаб. раб. № 8).

Геологическая колонка представляет собой разрез по скважине или по шурфу, для составления которого необходимо знать вид грунта, глубину его залегания, мощность слоя (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Форма записи геологической колонки

Разрез		Глубина подошвы, м	Мощность слоя, м	Вид грунта и его описание
		0,50	0,50	песок желто-красный мелкозернистый средней плотности
		0,97	0,47	супесь светло-серая мелкозернистая средней плотности
		1,62	0,65	моренный тяжелый суглинок тугопластичный, очень плотный, с включениями скатанных гравийных частиц
		2,30	0,68	глина песчаная с включениями скатанных гравийных частиц, коричневого цвета

В данном случае вид грунта определяется визуальным методом, включающим в себя следующий комплекс операций: растирание грунта на ладони, скатывание в шнур, скатывание в шарик, рассмотрение через увеличительное стекло.

Растирание на ладони. Исследуемый грунт в количестве 30...50 г высыпает на ладонь руки; указательным пальцем противоположной руки растирают его на ладони; затем фиксируют личные ощущения об однородности грунта, величине частиц, запыленности, наличии крупных включений, влажности, цвете и др. Восприятия фиксируются в рабочем журнале.

Рассматривание грунта через увеличительное стекло. Грунт с ладони переносят на предметное стекло и распределяют на нем тонким слоем. Через увеличительное стекло или окуляры микроскопа рассматривают отдельные частички, устанавливают цвет, прозрач-

ность, характер окатанности частиц, прилипание более мелких фракций, наличие пленки воды на поверхности частиц, содержание белых, светлоокрашенных, темных кристаллов и их процентное соотношение между собой.

Скатывание в шнур. Небольшое количество грунта (30...50 г) увлажняют несколькими каплями воды, чтобы грунт приобрел связность и способность к формированию. Из влажного грунта формируют шарик на ладони руки, ребром ладони противоположной руки раскатывают его в шнур. При этом может быть различное отношение грунта к этой операции – от невозможности скатывания грунта в шарик до раскатывания в шнур диаметром 2...3 мм, при котором грунт может распасться на отдельные кусочки. Наблюдения за реакцией грунта на воздействие влаги и пластические деформации, сохранением связности при раскатывании заносятся в рабочий журнал.

Скатывание в шарик. Небольшое количество грунта, смоченного водой, скатывают в шарик. Песчаный грунт скатать в шарик невозможно; чем больше глинистых частиц, тем ровнее и прочнее шарик. Сформированный шарик на ладони превращают в лепешку. Чем больше в грунте песчаных частиц, тем больше по краям лепешки трещин и разрывов; чем больше глинистых частиц, тем ровнее края лепешки и меньше трещин по краям. Наблюдения за состоянием грунта заносятся в журнал (табл. 9.3).

Т а б л и ц а 9.3

Журнал наблюдений

Признаки, определяющие вид грунта										Наименование грунта
растирание на ладони			рассматривание в микроскоп			скатывание в шнур		скатывание в шарик		
однородность и величина зерен	запыленность, влажность	наличие глинистых агрегатов	цвет, прозрачность	окатанность зерен, пленки воды	наличие светлых и темных зерен	пластичность и деформируемость	возможность раскатывания в шнур	возможность скатывания в шарик	наличие трещин на лепешке	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Результаты наблюдений сравнивают с признаками, характеризующими различные виды грунта (табл. 9.4), и делают вывод о его наименовании.

Признаки для определения грунта визуальным методом

Ощущение при растирании на ладони	Скатывание в шнур	Скатывание в шар	Рассматривание в микроскоп	Состояние сухого грунта	Состояние влажного грунта	Название грунта
1	2	3	4	5	6	7
Присутствие большого количества частиц крупнее 2 мм, содержание последних свыше 50%	не скатывается	не скатывается	поверхность частицы может содержать пылеватые и глинистые частицы	сыпучее состояние	изменяет свою окраску	гравий
Сыпучая масса от однородной до разнородной	не скатывается	не скатывается	почти полностью состоит из зерен песка светлой окраски и окатанной формы	от светло-желтого до светло-коричневого	при увлажнении темнеет	песок
Сыпучая масса, но ощущается большое количество пыли	не скатывается	не скатывается	среди зерен песка видны мелкие непрозрачные частицы	ладонь покрывается слоем пыли	следы пыли падают ладонь	песок пылеватый
Неоднородный порошок, в котором чувствуется присутствие песка	скатывается в толстый шнур	шарик образует трещины на поверхности и осыпается	преобладают песчаные частицы крупнее 0,25 мм, более мелкие являются примесью	комья легко рассыпаются от давления рукой и при растирании	слабопластичен	легкая крупная супесь

1	2	3	4	5	6	7
Песчано-пылеватая масса в присутствии песка	скатывается в толстый шнур	лепешка со-держит большое количество трещин	преобладают песчаные частицы, достаточное количество пылевато-глинистых частиц	комья грунта разрушаются от давления руки	средне-пластичен	супесь легкая
Ощущение мучнистой массы	трудно скатывается в шнур диаметром 3 мм	шарик имеет шероховатую поверхность	преобладают мелкие непрозрачные комочки пыли	связности почти нет	пластично	супесь пыле-ватая
Ощущение мучнистости массы, песчаные частицы почти не ощущаются	раскатывается в шнур диаметром 3 мм	скатывается в шарик, лепешка имеет небольшие трещины	наблюдаются комочки пыли и более темные глины	связности почти нет	пластичен	супесь тяжелая пыле-ватая
Растертая на ладони масса не дает ощущения однородного порошка	длинного шнура не получается, шнур при сгибании образует трещины	скатывается в шарик	среди преобладающих пылевато-глинистых частиц ясно видны песчаные частицы крупнее 0,25 мм	комья легко разваливаются при ударе молотком и давлении рукой	слегка липкое и пластичное	суглинок легкий
Явное ощущение связности, ощущаются песчаные частицы	шнур скатывается хорошо	шарик скатывается с гладкой поверхностью	на фоне тонкого порошка ясно видны прозрачные зерна	комья с трудом раздавливаются рукой	липкое и пластичное	суглинок легкий пыле-ватый

Окончание табл. 9.4

1	2	3	4	5	6	7
Пылевато-глинистые частицы заметно преобладают над песчаными	при раскатывании дает длинный шнур диаметром 2...3 мм	хорошо скатывается в шарик, который при раздавливании образует лепешку с трещинами по краям	на фоне тонкого порошка видны зерна и комья пыли	комковатый, комья давят-ся рукой с трудом	липкое и пластичное	суглинок тяжёлый
Среди пылевато-глинистой массы чувствуются песчаные частицы	при раскатывании дает длинный шнур диаметром 1...2 мм	хорошо скатывается в шарик, при раздавливании образует гладкую лепешку	на фоне тонкого порошка видны песчаные зерна	комья давят-ся с трудом	липкое и пластичное	суглинок тяжёлый пылеватый
При растирании ощущается тонкая однородная масса; песчаных частиц не чувствуется	раскатывается в прочный длинный шнур диаметром 0,5...1 мм	шарик при сдавливании лепешки по краям не растрескивается	тонкий сплошной порошок; крупные зерна почти отсутствуют	твердые комья не рассыпаются в порошок при ударе молотком	сильно пластичное, липкое; пачкает руки	глина (всех разновидностей)

Во время работы группа студентов разбивается на бригады; каждый студент получает образец грунта, наименование которого должен определить визуально, а затем составляет геологическую колонку, поставив свой грунт первым в разрезе (виды и характеристики остальных грунтов в геологической колонке берутся у других членов бригады).

Задание

1. Визуальным методом определить вид грунта.
2. На основе выполненных определений составить геологическую колонку.

Вопросы для самопроверки

1. Как может быть применен закон Стокса к оценке гранулометрического состава грунта?
2. Что собой представляет геологическая колонка и как определяется грунт при инженерно-геологических изысканиях?

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ГРУНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕТОДА С.И.РУТКОВСКОГО

Цель работы:

1. Изучение полевых методов отбора средних проб.
2. Определение наименования грунта по методу С.И.Рутковского.
3. Изучение раздвижных и жестких кристаллических структур глинистых минералов.

Аппаратура:

Технические весы, фарфоровая ступка с резиновым пестиком, сито с диаметром отверстий 2 мм, два мерных цилиндра диаметром 2,5 см на 100 см³ каждый.

10.1. Подготовка пробы для метода С.И.Рутковского

В основу метода С.И.Рутковского положены способность глинистых фракций набухать в воде и различная скорость падения грунто-вых частиц в зависимости от их размера. Метод позволяет определить содержание в грунте гравелистых частиц размером более 2 мм, песчаных частиц размером 2...0,05 мм, пылеватых 0,05...0,005 мм, глинистых – менее 0,005 мм.

Для проведения исследований необходимо отобрать *среднюю пробу*, т.е. определенное количество грунта, соответствующее по своему составу, размерам частиц, физическим и механическим свойствам исследуемому грунту.

В полевых условиях проба берется с учетом характерных грунто-вых разновидностей для данного места строительства или добычи каменных материалов. После доставки пробы грунта из полевых условий в лабораторные производится отбор средней пробы мето-дами квартования или вычерпывания.

Метод квартования заключается в следующем: отобранную пробу грунта в лаборатории тщательно перемешивают и распределяют слоем 5...10 см; лопатой или совком делят на четыре равные части двумя взаимно перпендикулярными бороздами; две противо-положные по диагонали части удаляют, а две другие смешивают, и все снова повторяют до тех пор, пока вес пробы не окажется тре-буемым.

Метод вычерпывания заключается в том, что отобранную пробу грунта тщательно перемешивают и разравнивают невысоким слоем в виде квадрата или прямоугольника на горизонтальной плоскости; прямоугольник делят совком или линейкой на квадраты с размером стороны от 10 до 20 см; из каждого квадрата шпателем или совком отбирают пробу грунта. Отобранная проба перемешивается, разрав-нивается, и вычерпывание повторяется до тех пор, пока вес пробы не окажется требуемым.

До начала проведения гранулометрического анализа исследуе-мый грунт высушивают до воздушно-влажного состояния. Для это-го грунт рассыпают тонким слоем в лаборатории и просушивают на воздухе в течении 1...2 сут.

Подготовка пробы для метода С.И.Рутковского заключается в следующем:

1. Исследуемый грунт высушивают до воздушно-сухого состояния.

2. Методом квартования отбирают пробу воздушно-сухого грунта: $V = 100 \text{ см}^3$.

3. Грунт в мерном цилиндре уплотняют постукиванием, чтобы не оставалось пустот.

4. Отобранную пробу грунта ($V = 100 \text{ см}^3$) из мерного цилиндра высыпают в фарфоровую чашку и резиновым пестиком осторожно растирают комочки.

10.2. Определение петрографического состава грунта

1. Определение содержания гравелистых частиц.

Растиртый в фарфоровой ступке грунт просеивают через сито с ячейками 2 мм. Грунт, оставшийся на сите (частицы крупнее 2 мм), попадает в мерный цилиндр; измеряют его объем V_1 . Процентное выражение гравийных частиц определяется из выражения

$$I'_{\text{P}} = \frac{V_1}{V} \cdot 100, \quad (10.1)$$

где V_1 – объем частиц крупнее 2 мм в цилиндре, см^3 ;

V – первоначальный объем грунта, см^3 (100 см^3).

Определяют количество частиц мельче 2 мм (мелкозем) по разности

$$M = 100 - I'_{\text{P}}, \quad (10.2)$$

Мелкозем является пробой грунта для дальнейших исследований.

2. Определение содержания песчаных частиц.

Содержание песчаных частиц в грунте определяют *методом отмучивания*. Установлено, что песчаные частицы в спокойной воде падают со скоростью 2 мм/с. В связи с этим высота столба воды над уровнем грунта должна соответствовать следующим величинам (в зависимости от высот стеклянного мерного цилиндра): столб воды над уровнем грунта – 180, 120, 90 мм, время отстаивания – 90, 60, 45 с.

В сухой мерный цилиндр емкостью 100 см^3 насыпают 10 см^3 (V_2) мелкозема, уплотняя его легким постукиванием дна цилиндра об упругий предмет (тетрадь, книгу). От поверхности грунта отмеряют по линейке, допустим, 180 мм и делают на цилиндре метку, до которой наливают воду.

Грунт с водой взмучивают стеклянной палочкой с резиновым наконечником до получения однородной суспензии и дают отстояться в течение 90 с. За это время оседают все песчаные частицы, а пылеватые и глинистые находятся во взвешенном состоянии.

Через 90 с суспензию осторожно сливают, удаляя при этом пылеватые и глинистые частицы. В цилиндр вновь наливают чистую воду, содержимое цилиндра взмучивают, и через 90 с вторично сливают суспензию. Эту операцию повторяют до тех пор, пока столб воды не станет прозрачным. После этого замеряют объем осевшего на дне цилиндра песка (V_3).

Процентное содержание песчаных частиц при наличии в грунте гравелистых рассчитывают по содержанию мелкозема

$$П = \frac{V_3 M}{V_2} \quad (10.3)$$

где V_3 – объем песчаных частиц в цилиндре после отмучивания, см^3 ;

M – содержание мелкозема, %;

V_2 – первоначальный объем мелкозема, см^3 (10 см^3).

3. Определение содержания глинистых частиц.

Содержание глинистых частиц устанавливают по набуханию исследуемого грунта в воде. Набухание – это способность грунтов увеличивать свой объем в процессе смачивания, связанная с гидрофильным характером глинистых минералов и большой удельной поверхностью глинистых грунтов. Природа набухания грунтов основана на способности коллоидных частиц связывать на своей поверхности значительное количество молекулярных слоев воды, что можно наблюдать на примере глинистых минералов – монтмориллонита и каолинита. Структурный слой глинистых минералов состоит из тетраэдрических (кремнекислородных) и октаэдрических (алюмокислородных) электронейтральных молекулярных слоев,

электрические поля которых имеют такое взаимное расположение, что обладают минимальной потенциальной энергией. Связь между ионами осуществляется электростатическими силами, а соединение пакетов друг с другом, – в основном ван-дер-ваальсовскими силами или путем водородной связи.

По различию в связях между пакетами кристаллической структуры глинистые минералы подразделяются на две основные группы.

1. Минералы, имеющие раздвижные кристаллические структуры, которым присущи изоморфные замещения, большая емкость поглощения и наибольшая дисперсность. Типичный представитель этой группы – монтмориллонит.

2. Минералы с жесткими кристаллическими структурами. Изоморфные замещения у них отсутствуют, емкость поглощения небольшая. Как правило, микрочастицы их больше коллоидных размеров. Типичный представитель группы – каолинит.

В основе монтмориллонита ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + nH_2O$) лежит листовая группировка кремнийкислородных и алюмокислородных атомов. По Гофману, структура этого минерала представляет собой чередование следующих слоев (рис. 10.1):

- 1) слой кислородных атомов;
- 2) слой атомов кремния;
- 3) слой кислородных атомов с участием гидроксильных групп;
- 4) слой атомов алюминия;
- 5) слой кислородных атомов с участием гидроксильных групп;
- 6) слой атомов кремния;
- 7) слой кислородных атомов.

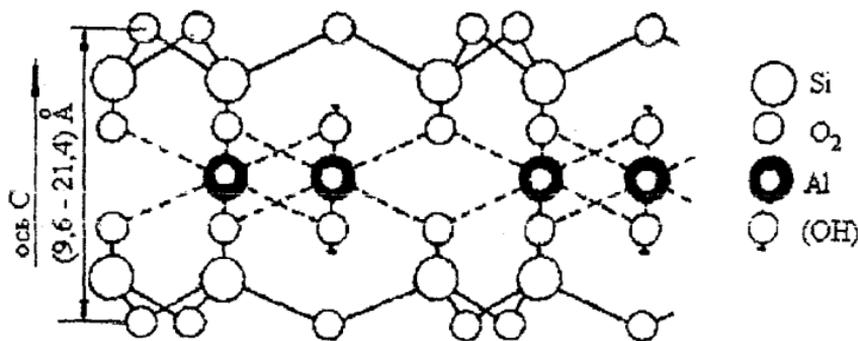


Рис. 10.1. Структура монтмориллонита

Структурный пакет обладает симметричным строением. Поскольку по краям располагаются атомы кислорода, обладающие отрицательными зарядами, два соседних пакета будут отталкиваться друг от друга, и молекулы воды легче проникнуть между пакетами, чем внутрь. Отсюда – свойство монтмориллонита набухать в одном направлении – оси С, в связи с чем решетка меняет свои параметры. Этот процесс обратим: при удалении воды решетка сжимается.

В основе структуры каолинита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) также лежит листовая группировка кремнийкислородных и алюмокислородных атомов, однако количество и расположение слоев иное (рис. 10.2):

- 1) слой кислородных атомов;
- 2) слой атомов кремния;
- 3) слой кислородных атомов с участием гидроксильных групп;
- 4) слой атомов алюминия;
- 5) чистый слой гидроксильных групп.

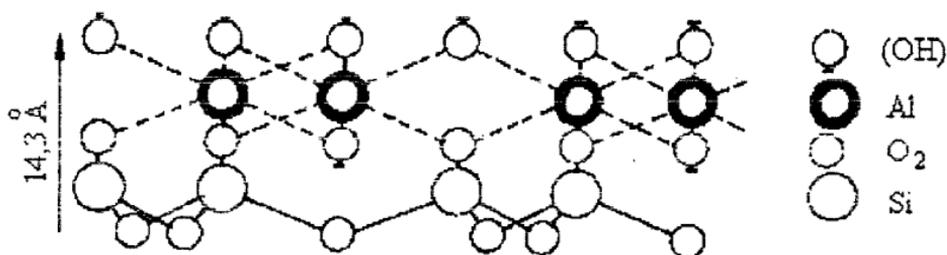


Рис. 10.2. Структура каолинита

Вышеперчисленные ряды, правильно повторяясь, создают структурный пакет. Элементарная ячейка сложена двумя такими пакетами, составленными из 4-х молекул каолинита. Два смежных пакета обращены друг к другу разноименными слоями, несущими разные заряды, чем объясняется значительная скрепленность пакетов между собой и отсутствие в каолините способности набухать в одном направлении.

При замораживании каолинит вспучивается в 10 раз сильнее, чем монтмориллонит.

Определение глинистых частиц производится в следующей последовательности.

В мерный цилиндр емкостью 100 см^3 насыпают мелкозем 10 см^3 (V_4), уплотняют легким постукиванием, затем наливают $60 \dots 80 \text{ см}^3$ воды и тщательно размешивают стеклянной палочкой с резиновым наконечником. Для ускорения коагуляции в суспензию добавляют $2 \dots 3 \text{ см}^3$ 5%-го раствора хлористого кальция, доливают воды до 100 см^3 , содержимое размешивают и дают отстояться не менее 48 часов. На следующем занятии измеряют объем грунта в цилиндре (V_5) и определяют приращение объема на 1 см^3 :

$$H = \frac{V_5 - V_4}{V_4}, \quad (10.4)$$

где V_5 – объем грунта после набухания, см^3 ;

V_4 – первоначальный объем грунта, см^3 (10 см^3).

Содержание глинистых частиц в объеме мелкозема определяют по формуле

$$\Gamma_m = 22,67 H. \quad (10.5)$$

Содержание глинистых частиц с учетом наличия гравелистых определяют из выражения

$$\Gamma = \frac{\Gamma_m \cdot M}{100}. \quad (10.6)$$

4. Определение содержания пылеватых частиц.

Содержание пылеватых частиц в грунте определяют по разности

$$Пл = 100 - (\Gamma_p + П + Г), \quad (10.7)$$

где Γ_p – содержание гравелистых частиц, %;

$П$ – содержание песчаных частиц, %;

$Г$ – содержание глинистых частиц, %.

Опытные данные заносят в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Опытные и расчетные данные

Гравий			Мел- ко- зем М	Песок			Приращение при набухании			Глина в мел- коземе Γ_m	Гли- на об- щая Γ	Пыль Пл
V	V ₁	Гр		V ₂	V ₃	П	V ₄	V ₅	Н			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

По результатам проведения опыта (Гр, П, Г, Пл) определяют наименование грунта:

крупнообломочных (табл. 7.5);

песчаных (табл. 7.6);

пылевато-глинистых (табл. 7.7, 10.2).

Таблица 10.2

Типы и виды глинистых грунтов

Типы и виды грунта	Содержание песчаных частиц, % по массе	Число пластичности
Супесь:		
легкая крупная	> 50	1 ... 7
легкая	> 50	1 ... 7
пылеватая	50 ... 20	1 ... 7
тяжелая пылеватая	< 20	1 ... 7
Суглинок:		
легкий	> 40	7 ... 12
легкий пылеватый	< 40	7 ... 12
тяжелый	> 40	12 ... 17
тяжелый пылеватый	< 40	12 ... 17
Глина:		
песчаная	> 40	17 ... 27
пылеватая	< 40	17 ... 27
жирная	не регламентируется	> 27

Задание

1. Определить содержание крупнообломочных, песчаных и пылеватоглинистых частиц обозначенного грунта.

2. По результатам проведенного опыта и на основании СТБ 943-93 определить наименование грунта.

Вопросы для самопроверки

1. Какой глинистый минерал имеет наибольшую степень набухания при увлажнении и почему?

2. Как определить наименование грунта по результатам петрографического состава, полученным по методу С.И.Рутковского?

Лабораторная работа № 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ГРУНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СИТОВОГО МЕТОДА

Цель работы:

1. Изучение методов определения зернового микроагрегатного состава грунтов.

2. Определение ситовым методом гранулометрического состава грунта.

3. Определение наименования грунта по результатам ситового метода.

Аппаратура:

Набор сит (с поддоном) с отверстиями размером 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 мм, весы технические, стаканчики стеклянные, ступка фарфоровая, пестик с резиновым наконечником.

11.1. Характеристика прямых методов определения гранулометрического состава грунтов

Как было отмечено в лаб. раб. № 9, к прямым методам относятся: ситовой, пипеточный и метод А.Н.Сабанина.

Пипеточный метод применяется для определения содержания в песчаных и глинистых грунтах фракций 0,05...0,01 мм; 0,01...0,005; 0,005...0,001 мм и меньше 0,001 мм. Как и метод С.И.Рутковского, он основан на учете скорости падения частиц в воде. Из приготовленной суспензии пипеткой с определенной глубины через различные промежутки времени отбирается проба, содержащая только частицы, не успевшие осесть за указанное время отстаивания. Взятые пробы выпаривают, высушивают и взвешивают. Зная массу и размер отобранных частиц, вычисленных по длительности отстаивания суспензии и глубине взятия пробы, производят расчет содержания частиц этого размера во всем объеме суспензии.

Метод А.Н.Сабанина (отмучивания) применяется для определения содержания фракций более 0,5 мм; 0,5...0,25; 0,25...0,1; 0,1...0,05; 0,05...0,01 мм и менее 0,01 мм.

Метод А.Н.Сабанина, как и пипеточный, основан на разделении грунта на фракции по скорости падения частиц, взвешенных в спокойной жидкости, но отличается тем, что взмучивание и сливание суспензии производится многократно (в пипеточном – только один раз).

Анализ гранулометрического состава методами отмучивания и пипеточным трудосмок и требует большой затраты времени на многочисленные операции по выпариванию, высушиванию и взвешиванию.

Зерновым составом грунта называется относительное содержание по массе частиц грунта различной крупности, выраженное в процентах к общей массе сухого грунта.

В зависимости от размеров частицы грунта разделяют на отдельные группы, называемые *фракциями*.

Для определения зернового состава грунта производят анализ, заключающийся в разделении пробы грунта на фракции с помощью набора стандартных сит; затем находят процентное отношение каждой фракции к общей величине навески.

Зерновой состав является одной из важнейших характеристик грунта, имеющих существенное значение для оценки его физико-механических свойств при использовании в строительстве.

Зерновой (гранулометрический) и микроагрегатный состав грунтов определяется методами, указанными в табл. 11.1.

Методы определения состава грунта

Наименование грунтов		Состав грунта	Метод определения
Песчаные при выделении зерен песка крупностью	от 10 до 0,5 мм	гранулометрический (зерновой)	ситовой без промывки водой
	от 10 до 0,1 мм		ситовой с промывкой водой
Глинистые		гранулометрический (зерновой)	ареометрический
		гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный	пипеточный (применяется только для специальных целей)

Ситовой метод используется для определения гранулометрического состава песчаных грунтов. Для проведения анализа методом квартования или вычерпывания (см. лаб. раб. № 10) отбирают среднюю пробу воздушно-сухого грунта, масса которой принимается в зависимости от размера частиц исследуемого грунта (табл. 11.2).

Таблица 11.2

Масса средней пробы

Содержание грунтовых частиц размером 2 мм, %	Масса средней пробы воздушно-сухого грунта, кг
0	0,1
менее 10	0,5
10...30	1,0
более 30	не менее 2,0

Подготовка пробы для ситового анализа включает предварительное высушивание и растирание в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником.

11.2. Определение гранулометрического состава грунта

Сита монтируют в колонку, размещая их на поддоне в порядке увеличения размера отверстий. На верхнее сито надевают крышку.

На весах взвешивают среднюю пробу грунта с точностью (согласно ГОСТ 12532-79) для пробы массой 500 г – 0,1 г, массой 1000 г и более – до 1 г.

Взвешенную пробу грунта просеивают сквозь набор сит с поддоном ручным или механизированным способом. При ручном просеивании движение набора сит следует производить только в горизонтальной плоскости.

Фракции грунта, задержавшиеся на ситах, высыпают в ступку, начиная с верхнего сита, и дополнительно растирают пестиком с резиновым наконечником, после чего вновь просеивают на этих же ситах.

Полноту просеивания фракций грунта проверяют контрольным встряхиванием каждого сита над листом бумаги; если при этом на лист попадают частицы, их высыпают на следующее сито. Просев продолжают до тех пор, пока на бумагу не перестанут выпадать частицы.

Фракции грунта, задержавшиеся после просеивания на каждом сите, и фракции, прошедшие в поддон, переносят в заранее взвешенные стаканчики и взвешивают.

Результаты взвешивания заносятся в табл. 11.3.

Таблица 11.3

Результаты определения зернового состава грунта

Параметры	Фракции грунта							Суммарное содержание фракции
	>10	10...5	5...2	2...1	1...0,5	0,5...0,25	<0,25	
Масса пробы грунта m , г								
Масса фракций грунта m_i , г								
Содержание фракций A_i , %								
Содержание частиц, мм	>10	>5	>2	>1	>0,5	>0,25	-	
Содержание частиц, %								

Содержание в грунте каждой фракции определяется с точностью до 0,1% из выражения

$$A = \frac{m_i}{m} \cdot 100 ,$$

где m_i – масса данной фракции грунта;

m – масса средней пробы, взятой для анализа, г.

Если содержание фракций размером менее 0,25 мм превышает 10%, анализ при необходимости может быть продолжен ареометрическим или пипеточным методом.

Суммарное содержание фракции должно составлять $\approx 100\%$. При расхождении масс до и после проведения анализа более чем на 1% анализ повторяют.

Если потеря грунта при просеивании – менее 1%, ее разносят по всем фракциям пропорционально их массе.

По результатам исследований (табл. 11.3) определяют наименование грунта, для чего последовательно суммируют процентное содержание частиц исследуемого грунта: сначала – крупнее 10-ти мм, затем – крупнее 5-ти мм, 2-х мм и т.д. Наименование грунта определяют по первой сумме, удовлетворяющей показателю содержания частиц в грунте в соответствии с СТБ 943-93 (табл. 7.6).

Задание

1. Отобрать среднюю пробу грунта.
2. Разделить пробу на фракции.
3. Определить наименование грунта в соответствии с СТБ 943-93.

Вопросы для самопроверки

1. Какими методами определяют гранулометрический состав грунта, если помимо песчаных частиц грунт содержит более 10% частиц менее 0,25 мм?
2. Обосновать выбор наименования грунта, гранулометрический состав которого определен в лабораторной работе.

Лабораторная работа № 12

ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА

Цель работы:

1. Изучение гранулометрического состава исследуемых грунтов с помощью циклограмм.
2. Построение суммарной кривой гранулометрического состава и определение степени неоднородности состава.
3. Определение наименования грунта с помощью треугольника Фере.

Аппаратура:

Набор сит с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 мм, весы технические, стаканчики стеклянные, ступка фарфоровая, пестик с резиновым наконечником, чашка фарфоровая, стеклянный мерный цилиндр.

12.1. Изображение гранулометрического состава грунта с помощью циклограммы

Результаты гранулометрического анализа, представленные в виде таблиц, неудобны для пользования и лишены наглядности. В связи с этим для удобства сравнения различных грунтов между собой их гранулометрический состав обычно изображается графически в виде диаграмм, циклограмм и других графиков.

Диаграмма представляет собой ступенчатое изображение отдельных фракций; на ней наглядно показано уменьшение или возрастание отдельных составов.

Циклограмма представляет собой круг произвольного диаметра, разделенного на секторы пропорционально содержанию каждой фракции грунта. Размер сектора устанавливается из расчета: $1\% = 3,6^\circ$. Зная процентное содержание фракции, находим угол сектора, пропорциональный этому содержанию. Каждый из полученных секторов заштриховывают в соответствии с условными обозначениями, приведенными в табл. 12.1.

Условные обозначения грунтов

1		Гравий	7		Супесь пылеватая
2		Песок	8		Суглинок
3		Песок мелкозернистый	9		Суглинок тяжелый пылеватый
4		Песок крупнозернистый	10		Суглинок иловатый
5		Песок с гравием, галькой, валуном	11		Морена глинистая
6		Супесь	12		Глина

Пример оформления циклограммы приведен на рис. 12.1.

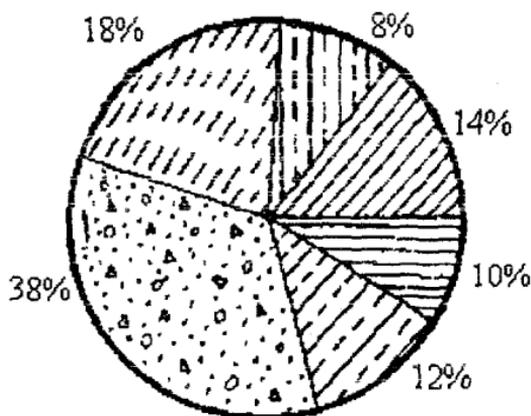


Рис. 12.1. Пример оформления циклограммы

12.2. Построение суммарной кривой гранулометрического состава грунта

Суммарная кривая гранулометрического состава грунта (кривая накопления, или кумулятивная) отражает не отдельные фракции, как циклограмма, а сумму фракций частиц менее определённого диаметра. Суммарную кривую строят в полулогарифмическом

масштабе, т.е. по оси ординат показывают процентное содержание фракций по совокупности, а по оси абсцисс – логарифмы диаметров частиц в мм. Для построения шкалы по оси абсцисс необходимо выбрать длину отрезка, соответствующего $lg10$ (рекомендуется ограничивать этот отрезок 4-мя см). Число отрезков на графике будет равно разнице между наибольшими и наименьшими частицами в гранулометрическом составе. Начало каждого отрезка обозначают величинами 0,001; 0,01; 0,1; 1,0; 10,0. Отрезок разбивают в соответствии с логарифмами чисел. Если $lg10 = 1$ будет соответствовать длине 4 см, логарифмы чисел будут равны следующим длинам:

$$\begin{aligned} lg2 &= 0,301 - 0,301 \cdot 4 = 1,2 \text{ см}; & lg6 &= 0,778 - 0,778 \cdot 4 = 3,1 \text{ см}; \\ lg3 &= 0,477 - 0,477 \cdot 4 = 1,9 \text{ см}; & lg7 &= 0,845 - 0,845 \cdot 4 = 3,4 \text{ см}; \\ lg4 &= 0,602 - 0,602 \cdot 4 = 2,4 \text{ см}; & lg8 &= 0,903 - 0,903 \cdot 4 = 3,6 \text{ см}; \\ lg5 &= 0,699 - 0,699 \cdot 4 = 2,8 \text{ см}; & lg9 &= 0,954 - 0,954 \cdot 4 = 3,8 \text{ см}. \end{aligned}$$

От начала координат и от каждой граничной метки вправо откладывают длину вычисленных отрезков. Из полученных точек проводят вертикальные линии, соответствующие значениям в первом отрезке 0,002; 0,003 и т.д., во втором – 0,02; 0,03 и т.д., в третьем – 0,2; 0,3 и т.д.

Пример построения суммарной кривой гранулометрического состава приведен на рис. 12.2.

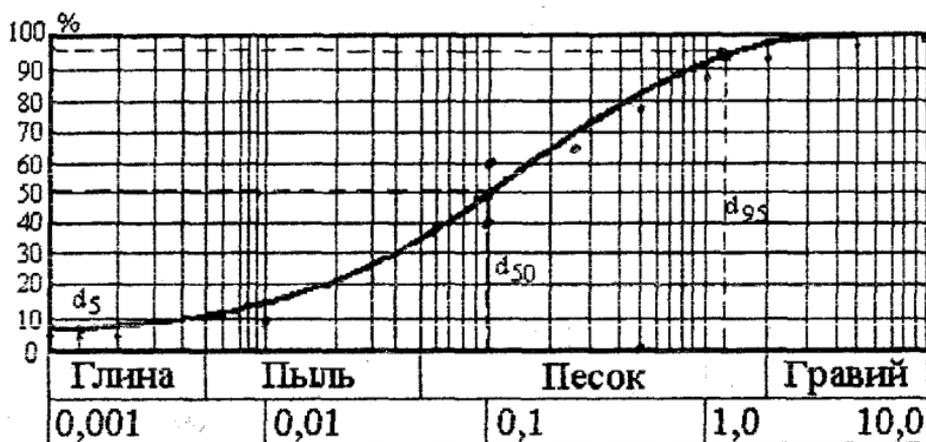


Рис. 12.2. Пример оформления суммарной кривой

12.3. Построение треугольника Фере

Метод треугольных координат (треугольник Фере) применяется в тех случаях, когда нужно разделить грунт на три основные фракции – песчаную, пылеватую и глинистую, в сумме составляющие 100%. Метод основан на геометрическом свойстве равностороннего треугольника, согласно которому сумма расстояний любой точки, находящейся внутри равностороннего треугольника, от его сторон есть величина постоянная и равная высоте треугольника. С учетом данного свойства гранулометрический состав графически изображается следующим образом. Каждая из сторон равностороннего треугольника делится на 10 частей и обозначается: песок, пыль, глина. Любая точка, взятая внутри треугольника, спроецированная по координатным осям, дает процентное соотношение каждой из трех фракций. Кроме того, если обозначить поле треугольника по принадлежности к тому или иному виду грунта, можно сразу сказать, какую категорию грунта характеризует выбранная точка.

Пример построения треугольника Фере приведен на рис. 12.3.

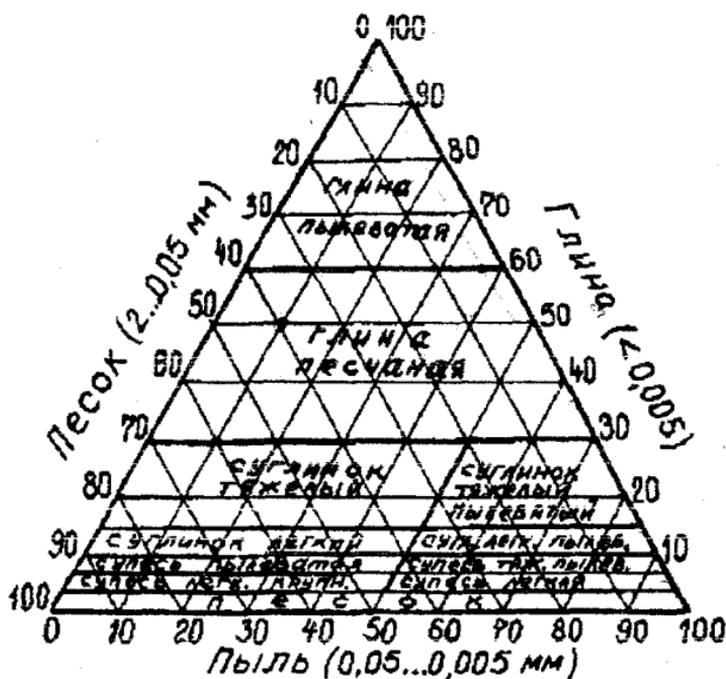


Рис. 12.3. Треугольник Фере

Задание

1. Начертить циклограммы, отражающие петрографические составы стратиграфических колонок в соответствии с результатами геологических исследований скважин (табл. 12.2).

Таблица 12.2

Исходные данные для построения циклограмм

Варианты	1,11,9		2,12,8		3,13,10		4,14,1		5,15,2		6,15,3		7,14,4		8,13,5		9,12,6		10,11,7	
	№	%	№	%	№	%	№	%	№	%	№	%	№	%	№	%	№	%	№	%
Результаты геологических исследований	1	5	6	10	11	15	4	20	9	17	2	12	7	8	12	11	5	9	10	14
	2	21	7	22	12	23	5	24	10	13	3	17	8	24	1	18	6	16	11	15
	3	26	8	30	1	28	6	5	11	30	4	29	9	32	2	29	7	25	12	29
	4	20	9	20	2	15	7	15	12	10	5	20	10	10	3	30	8	17	1	30
	5	28	10	18	3	19	8	36	1	30	6	22	11	26	4	12	9	33	2	12

2. Построить суммарную кривую по результатам гранулометрического состава. Пересчитать фракции на их суммарное содержание, т.е. для каждой последующей фракции взять ее абсолютное значение и прибавить сумму всех предыдущих фракций. Расчеты свести в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Рабочая таблица для построения суммарной кривой

Отдельные фракции		Совокупность фракций	
диаметр частиц, мм	содержание, %	диаметр частиц, мм	суммарное содержание, %
> 10		> 10,0	
10...5		< 10,0	
5...2		< 5,0	
2...1		< 2,0	
1...0,5		< 1,0	
0,5...0,25		< 0,5	
0,25...0,1		< 0,25	
0,1...0,01		< 0,1	
0,01...0,001		< 0,01	
< 0,001		< 0,001	

Содержание отдельных фракций определить по результатам гранулометрического анализа (табл. 12.4). Суммарное содержание подсчитать снизу вверх. В результате после прибавления фракции > 10,0 мм оно должно быть равно 100%.

Таблица 12.4

Исходные данные для построения суммарной кривой

Диаметр частиц, мм	Варианты									
	1,11,9	2,12,8	3,13,10	4,14,1	5,15,2	6,15,3	7,14,4	8,13,5	9,12,6	10,11,7
> 10	2	3	1	1	1	2	2	1	4	2
10...5	2	4	2	1	2	2	2	1	3	2
5...2	9	5	3	2	5	3	2	1	3	2
2...1	10	8	6	2	10	3	2	1	13	3
1...0,5	14	20	10	17	15	4	7	5	27	4
0,5...0,25	15	20	18	20	17	6	35	10	15	5
0,25...0,1	18	20	20	10	10	13	35	26	15	12
0,1...0,01	22	10	30	35	25	59	9	47	15	45
0,01...0,001	6	9	7	8	10	6	5	5	5	24
< 0,001	2	1	3	4	5	2	1	3	0	1

По суммарной кривой гранулометрического состава определить показатель максимальной неоднородности

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

где d_5 , d_{50} , d_{95} – диаметр содержащихся в грунте частиц, составляющих соответственно 5, 50 и 95%.

По табл. 7.6 определить категорию неоднородности грунта и его тип.

3. Определить вид грунта по диаграмме-треугольнику на основании исходных данных, приведенных в табл. 12.5.

Исходные данные для обозначения грунта
на треугольнике Фере

Содержание фракций	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2...0,05	10	37	53	70	4	20	90	10	40	30
0,05...0,005	50	55	15	23	36	10	5	85	40	60
< 0,005	40	8	32	7	60	70	5	5	20	10

Результаты определений свести в табл. 12.6.

Таблица 12.6

Результаты определения вида грунта

№ варианта	Содержание фракции			Наименование грунта
	2...0,05	0,05...0,005	< 0,005	
1	2	3	4	5

Вопросы для самопроверки

1. Какой из изученных способов графического изображения гранулометрического состава наиболее полно отражает содержание всех фракций?
2. В чем заключается различие в отражении гранулометрического состава с помощью циклограммы и треугольника Фере?

Лабораторная работа № 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

Цель работы:

1. Изучение физических состояний и формы залегания воды в грунтах.
2. Определение естественной влажности грунта весовым методом и расчёт степени влажности.
3. Определение гигроскопической влажности грунта.

Аппаратура:

Технические и аналитические весы с разновесами, бюкса с крышкой, сушильный шкаф, эксикатор, сита с отверстиями, латунный цилиндр с сетчатым дном, фильтровальная бумага.

13.1. Физическое состояние и форма воды в грунтах

Вода, заполняющая поры грунта, оказывает большое влияние на многие свойства грунта и на его поведение под нагрузкой. В грунтах она может находиться в трех состояниях – газообразном (в виде пара), жидком и твердом (в виде льда).

Между молекулами воды и грунтовыми частицами существуют определенные связи, оказывающие влияние на степень их присоединения, – адсорбционная, молекулярная, капиллярная, кристаллизационная и свободная, или гравитационная.

При *адсорбционной* связи вода является прочносвязанной, ее молекулы прочно удерживаются адсорбционными силами. Вода поглощается поверхностью грунтовых частиц из воздуха, содержащего водяные пары, удерживается на поверхности частиц с большой силой, при перемещении не подчиняется действию силы тяжести, передвигается, только переходя в пар.

Молекулярная (пленочная) связь образуется в грунте при сгущении водяных паров или после удаления капельно-жидкой воды, которая удерживается силами молекулярного притяжения на поверхности грунтовых частиц, но меньше связана, чем прочносвязанная вода, и поэтому называется *рыхлосвязанной*. Она образует слой пленочной воды, передвигающейся очень медленно из мест, где пленки воды толще, в места, где они тоньше. Температура ее замерзания ниже 0°C . Наличие в грунтах рыхлосвязанной воды придает им липкость, пластичность, набухаемость, усадку.

При *капиллярной* связи вода, передвигающаяся и удерживаемая в грунте силами капиллярного натяжения, сравнительно легко удаляется при высушивании и замерзает примерно при -1°C . Мельчайшие частички этой воды, связанные с грунтовыми частицами, образуют над поверхностью свободных грунтовых вод зону капиллярно-увлажненного грунта и передвигаются под действием сил капиллярного натяжения и силы тяжести.

Свободная (гравитационная) вода обладает обычными свойствами жидкости, передвигается под влиянием силы тяжести или разности гидростатического давления, заполняет свободные пустоты и поры.

Под *влагоемкостью* понимают способность грунта вмещать и удерживать в себе определенное количество воды при возможности свободного ее вытекания под действием силы тяжести.

По характеру связи воды в грунтах различают максимальную, капиллярную, пленочную и гигроскопическую влагоемкость.

Гигроскопическая влагоемкость соответствует количеству прочно-связанной (адсорбированной) воды, определяется путем высушивания при 100...105°C воздушно-сухого грунта до постоянной массы.

Пленочная, или максимальная молекулярная, влагоемкость соответствует количеству физически связанной воды, удерживаемой частицами грунта. По А.Ф.Лебедеву, рыхлосвязанная и прочносвязанная влагоемкость вместе составляют максимальную молекулярную влагоемкость. Ее величина у различных грунтов следующая: у песков – менее 7%, у супесей – 7...15%, у суглинков – 15...30%, у глин – более 30%. Пленочная влагоемкость может быть определена методами центрифугирования, влагоемких сред и высоких колонн.

Метод *центрифугирования* состоит в удалении из образца грунта избытка воды путем воздействия на нее центробежной силы, развиваемой центрифугой. При удалении избытка воды в грунте остается только связанная вода, соответствующая величине максимальной молекулярной влагоемкости.

Метод *влагоемких сред* основан на удалении из образца грунта воды с помощью гидрофобного материала (фильтровальной бумаги).

Методом *высоких колонн* избыток воды удаляется путем свободного истечения ее из образца грунта, помещенного в стеклянную трубку.

Капиллярная влагоемкость характеризуется водой, заполняющей только капиллярные поры в результате поднятия капиллярной воды от уровня грунтовых вод, и зависит от капиллярных свойств грунта – максимальной высоты и скорости капиллярного поднятия воды, которые определяются в лаборатории путем непосредственного наблюдения за поднятием воды в стеклянных трубках, заполненных исследуемым грунтом, или в специальных приборах – капилляриметрах.

Максимальная (полная) влагоемкость характеризуется полным заполнением пор водой, т.е. включает в себя гигроскопическую, пленочную, капиллярную и свободную воду. Свободная вода не подвержена действию молекулярных сил, связывающих воду с поверхностью грунтовых частиц. Она передвигается в капельно-жидком состоянии под действием силы тяжести и силы поверхностного натяжения.

По степени влагоемкости горные породы подразделяются на очень влагоемкие (торф, ил, глина, суглинок), слабовлагоемкие (мел, мергель, лессовые породы, супеси, мелкозернистые пески) и невлагоемкие (скальные породы, галечники, гравий, крупнозернистые пески).

13.2. Определение влажности грунтов

Под *влажностью грунтов* понимают содержание в них воды, удаляемой высушиванием при $100...105^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы. Грунт, высушенный при данной температуре, называется абсолютно сухим. Все количество воды, содержащееся в порах грунта в естественном залегании, называется *естественной влажностью грунта*.

Гигроскопическая влажность – количество воды в грунте, удаляемое из воздушно-сухого образца высушиванием при $100...105^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы.

1. Определение естественной влажности грунта весовым методом.

Бюксу с крышкой взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г, нумеруют и помещают в нее 15...20 г грунта естественной влажности.

Взвешивают бюксу с влажным грунтом и с открытой крышкой помещают в сушильный шкаф, в котором поддерживается температура $105\pm 2^{\circ}\text{C}$. Песчаные грунты высушивают в течение 3 ч, остальные – 5 ч.

Грунт высушивается до постоянной массы, которая устанавливается периодическими взвешиваниями. Перед каждым взвешиванием бюксу закрывают крышкой и помещают в эксикатор с хлористым калием для охлаждения. Разность между двумя взвешиваниями не должна превышать 0,02 г. Результаты заносят в табл. 13.1.

Результаты определения естественной и
гигроскопической влажности

№ пп	Результаты взвешивания, г			Естественная влажность грунта $W_{Г}$, %
	масса пустой бюксы с крышкой m_6	масса бюксы с влажным грунтом $m_{вл}$	масса бюксы с сухим грун- том m_c	
1	2	3	4	5

Влажность представляет собой отношение количества воды, находящейся в грунте, к массе этого грунта

$$W = \frac{m_{вл} - m_c}{m_c - m_6} \cdot 100, \quad \% , \quad (13.1)$$

где $m_{вл}$ – масса бюксы с влажным грунтом, г;

m_c – масса бюксы с сухим грунтом, г;

m_6 – масса пустой бюксы, г.

2. Определение содержания гигроскопической воды в грунте.

Пробу для определения гигроскопической влажности грунта массой 10...20 г отбирают способом квартования из грунта в воздушно-сухом состоянии, растертого, просеянного сквозь сито с сеткой № 1 и выдержанного открытым не менее 2 ч при данной температуре и влажности воздуха.

Среднюю пробу взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,01 г. Погрешность взвешивания не должна превышать при массе от 10 до 1000 г 0,02 г (ГОСТ 5180-84).

Дальнейший ход работы по определению гигроскопической влажности аналогичен ходу работы при определении естественной влажности.

При обработке результатов испытаний влажность до 30% вычисляют с точностью до 0,1%, влажность 30% и выше – с точностью до 1%.

Для определения гигроскопической влажности так же, как и естественной, опыт проводят не менее двух раз (расхождение – не более 2%), и за расчетную влажность берут среднюю из трех измерений.

Допускается выражать влажность грунта в долях единицы.

13.3. Определение полной влагоемкости грунта

В природных условиях естественная влажность не всегда соответствует полной влагоемкости, поэтому для характеристики физического состояния грунта помимо абсолютной влажности необходимо знать степень заполнения пор водой.

Для определения полной влагоемкости пробу грунта высушивают на воздухе до воздушно-сухого состояния. На дно латунного цилиндра помещают смоченную фильтровальную бумагу и взвешивают его с точностью до 1 г.

Цилиндр заполняют грунтом, не досыпая до краев 0,5 см, и опять взвешивают, а затем помещают в сосуд с водой так, чтобы ее уровень совпадал с уровнем грунта в цилиндре. Грунт выдерживают в воде до полного насыщения, т.е. до его потемнения. Вынимают цилиндр из сосуда, оставляют на 10...15 мин для стекания избытка воды, затем обтирают и взвешивают с влажным грунтом. Для контроля за полным насыщением цилиндр вновь погружают в воду и через некоторое время снова взвешивают. Расхождение в массе не должно превышать 2 г.

Результаты измерений заносят в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Результаты определения полной влагоемкости

№ пп	Результаты взвешивания, г			Полная влажность $W_{ПВ}$
	масса пустого цилиндра $m_{ц}$	масса цилиндра с сухим грунтом $m_{с}$	масса цилиндра с насыщенным грунтом $m_{вл}$	
1	2	3	4	5

Полную влагоемкость определяют по формуле

$$W_{ПВ} = \frac{m_{вл} - m_{с}}{m_{с} - m_{ц}} \cdot 100, \quad \% \quad (13.2)$$

где $m_{вл}$ – масса цилиндра после насыщения водой, г;

$m_{с}$ – масса цилиндра с сухим грунтом, г;

$m_{ц}$ – масса пустого цилиндра, г.

Степень влажности грунта (СТБ 943-93) представляет собой отношение объема пор, заполненных водой, к общему объему пор в данном объеме грунта и выражается формулой

$$S_r = \frac{W}{W_{пв}}, \quad (13.3)$$

где W – естественная влажность грунта, %;

$W_{пв}$ – полная влагоемкость.

Степень влажности может быть выражена через плотность и пористость грунта:

$$S_r = \frac{W\rho(1-n)}{n}, \quad (13.4)$$

где ρ – плотность грунта, г/см³;

n – пористость грунта, доли ед.

Согласно СТБ 943-93, крупнообломочные и песчаные грунты по степени влажности подразделяются на виды:

- 1) маловлажные ($0 < S_r \leq 0,5$);
- 2) влажные ($0,5 < S_r \leq 0,8$);
- 3) водонасыщенные ($0,8 < S_r \leq 1$).

Задание

1. Определить естественную влажность грунта.
2. Определить гигроскопическую влажность грунта.
3. Определить полную влагоемкость грунта.
4. Определить степень влажности грунта в соответствии с СТБ 943-93.

Вопросы для самопроверки

1. В чем разница определения естественной и гигроскопической влажности?
2. Перечислить виды связи между поверхностью грунтовых частиц и молекулами воды.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ДИСПЕРСНОГО И СУХОГО ГРУНТА

Цель работы:

1. Изучение физических показателей плотности связных и песчаных грунтов.
2. Определение плотности дисперсного грунта.
3. Определение плотности песчаного грунта различного сложения.
4. Расчет плотности сухого грунта.

Аппаратура:

Режущее кольцо, нож, технические весы с разновесами, две стеклянные пластинки, сито с отверстиями диаметром 5 мм, воронка.

14.1. Характеристика плотности грунта

В соответствии с ГОСТ 5180-84 различают плотность грунта, плотность сухого грунта и плотность частиц грунта.

Плотность грунта является важным показателем физических свойств грунта и характеризует его устойчивость в основаниях инженерных сооружений, в теле земляного полотна или в откосах выемок автомобильных дорог.

Плотность грунта – это отношение массы грунта к его объему, включая поры, заполненные водой или воздухом. Она зависит от минералогического состава, пористости и влажности грунта.

Плотность глин, суглинков, супесей, песков и крупнообломочных грунтов колеблется обычно от 1,2 до 2,4 г/см³.

Плотность связных грунтов определяют методом режущего кольца. Плотность песчаного грунта (нарушенного сложения) определяют при рыхлом и плотном сложении.

Для определения плотности, пористости, коэффициента пористости необходимо знать плотность сухого грунта. Под *плотностью сухого (скелета) грунта* понимают отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к занимаемому им объему

(включая имеющиеся в нем поры). Чем больше плотность сухого грунта, тем более плотно сложен грунт.

Непосредственно определить плотность сухого грунта невозможно, так как при удалении воды из пор путем высушивания объем образца уменьшается, и естественная пористость грунта при этом изменяется, поэтому плотность сухого грунта определяется расчетным путем.

Плотность сухого грунта колеблется от $1,1 \text{ г/см}^3$ и более.

14.2. Определение плотности грунта

1. Определение плотности связных грунтов методом режущего кольца.

Для проведения лабораторных исследований выбирают режущее кольцо-пробоотборник в соответствии с данными табл. 14.1.

Таблица 14.1

Параметры режущего кольца-пробоотборника

Наименование грунта	Размеры кольца-пробоотборника			
	толщина стенки, мм	внутренний диаметр d , мм	высота h	угол заточки наружного края
Пылевато- глинистый	1,5...2,0	≥ 50	$0,8d \geq h > 0,3d$	не более 30°
Песчаный	2,0...4,0	≥ 70	$d \geq h > 0,3d$	не более 30°

Измеряют внутренний диаметр и высоту режущего кольца с погрешностью не более $0,1 \text{ мм}$ и взвешивают его. По результатам измерений вычисляют объем кольца с точностью до $0,1 \text{ см}^3$. Затем его смазывают с внутренней стороны тонким слоем вазелина.

В лабораторных условиях из грунта формируют лепешку высотой, большей, чем высота кольца, ставят кольцо на лепешку и легким усилием вдавливают в грунт. Ножом зачищают нижнюю и верхнюю поверхность образца.

В естественных условиях предварительно очищают плоскость грунта от органической части и крупных включений. Кольцо через

насадку вдавливают в грунт, который обрезают на глубину 5...10 мм ниже режущего края кольца, формируя столбик диаметром на 1...2 мм больше наружного диаметра кольца. Затем на 8...10 мм ниже режущего края грунт подрезают ножом и извлекают образец из массива. Грунт, выступающий за края кольца, срезают ножом. При необходимости кольцо закрывают пластинками, массу которых определяют предварительно.

Результаты заносят в табл. 14.2.

Таблица 14.2

№ п/п	Параметры кольца, см			Результаты взвешивания, г			Плотность грунта ρ , г/см ³
	высота h, см	диаметр d, см	объем V, см ³	масса кольца m_0	масса пла- стин- ки m_2	масса грунта с кольцом и пластинками m_1	
1	2	3	4	5	6	7	8

Плотность грунта вычисляют из выражения

$$\rho = \frac{m_1 - m_0 - m_2}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (14.1)$$

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

m_0 – масса кольца, г;

m_2 – масса пластинок, г.

2. Определение плотности песка при рыхлом сложении.

Среднюю пробу грунта высушивают до воздушно-сухого состояния. Высушенный грунт просеивают через сито с отверстиями 5 мм. Стекланный стакан емкостью 50 см³ взвешивают на технических весах и устанавливают на горизонтальную плоскость.

В данном опыте может применяться прибор для определения плотности рыхлых грунтов либо воронка, расположенная на высоте 40 см от плоскости установки стеклнного стакана. Кроме того, нужна линейка с отмеренной меткой, находящейся на удалении 40 см от начала линейки.

Исследуемый грунт понемногу непрерывно высыпают в воронку, через которую он попадает в стеклянный стакан, постепенно заполняя его. Излишек грунта удаляется линейкой. Стеклянный стакан с грунтом, заполнившим его до самых краев, взвешивают на весах.

Результаты измерений заносят в табл. 14.3.

Т а б л и ц а 14.3

Результаты определения плотности песка
с различным сложением

Состояние сложения грунта	Результаты измерений			Плотность песка при рыхлом сложении, г/см ³
	масса стакана с грунтом m_3 , г	масса стакана m_4 , г	объем стакана V , см ³	
Рыхлое				$\rho_{min} =$
Плотное				$\rho_{max} =$

Плотность песка при рыхлом сложении определяется из выражения

$$\rho_{min} = \frac{m_3 - m_4}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (14.2)$$

где m_3 – масса стеклянного стакана с грунтом, г;

m_4 – масса пустого стеклянного стакана, г.

Опыт проводят не менее трех раз, после чего вычисляют среднее арифметическое значение.

3. Определение плотности песка при плотном сложении.

Оборудование и процесс определения при этом методе – те же, что и для грунта рыхлого сложения, но процесс заполнения отличается.

Рыхлый песчаный грунт высыпают в воронку, находящуюся на высоте 40 см от плоскости установки стеклянного стакана, небольшими порциями (примерно 1/5 стеклянного стакана), после чего грунт легкими постукиваниями о боковые стенки стакана и воздействием деревянной трамбовки уплотняют. Засыпают следующую порцию, и уплотнение повторяют до тех пор, пока стакан не запол-

няется доверху, после чего излишек грунта удаляют линейкой. Стакан с грунтом взвешивают, и результаты заносят в табл. 14.3.

Плотность песчаного грунта плотного сложения определяют по формуле

$$\rho_{\text{max}} = \frac{m_3 - m_4}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (14.3)$$

где m_3 , m_4 , V – значения параметров, аналогичные значениям в формуле для рыхлого песка, но их значения соответствуют плотности при плотной упаковке зерен.

Опыт проводят не менее трех раз. Для расчетов берут среднее значение.

14.3. Определение плотности сухого грунта расчетным методом

Для определения плотности сухого грунта предварительно определяют влажность грунта по методике, изложенной в лаб. раб. № 13.

Результаты измерений параметров, необходимых для определения плотности сухого грунта, заносят в табл. 14.4.

Таблица 14.4

Результаты определения плотности сухого грунта

№ пп	Результаты взвешивания			Естественная влажность грунта W , %	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность сухого грунта, г/см ³
	масса пустой бюксы с крышкой m_6	масса бюксы с влажным грунтом $m_{\text{вл}}$	масса бюксы с сухим грунтом m_c			
1	2	3	4	5	6	7

Плотность сухого грунта вычисляют по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho}{(1+0,01W)}, \text{ г/см}^3, \quad (14.4)$$

где ρ – плотность грунта, г/см³;

W – влажность грунта, %.

Задание

1. Определить плотность грунта методом режущего кольца.
2. Определить плотность грунта при рыхлом сложении.
3. Определить плотность грунта при плотном сложении.
4. Рассчитать плотность сухого грунта.

Вопросы для самопроверки

1. Можно ли экспериментально определить плотность сухого грунта?
2. В чем разница между плотностью песчаного грунта различного сложения?

Лабораторная работа № 15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА И ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ

Цель работы:

1. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом.
2. Расчет производных характеристик плотности грунта.

Аппаратура:

Пикнометр, технические весы с разновесами, фарфоровая ступка, пестик с резиновым наконечником, сито с отверстиями диаметром 2 мм, песчаная баня, дистиллированная вода.

15.1. Характеристика плотности частиц грунта

Для общей характеристики состава и состояния грунта определяют *плотность частиц грунта* – отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к объему твердой части этого грунта. Этот показатель характеризует минералогический состав грунта и увеличивается с возрастанием содержания тяжелых минералов. Средние значения плотности частиц отдельных видов грунтов приведены в табл. 15.1. Плотность частиц грунта определяется по ГОСТ 5180-84 с помощью пикнометра.

Таблица 15.1

Значения плотности частиц грунта

Грунты	Средние значения $\rho_s, \text{г/см}^3$	Наиболее часто встречающиеся $\rho_s, \text{г/см}^3$	Грунты	Средние значения $\rho_s, \text{г/см}^3$	Наиболее часто встречающиеся $\rho_s, \text{г/см}^3$
пески	1,66	2,65...2,67	глины	2,74	2,71...2,76
супеси	2,70	2,68...2,72	гумусовые горизонты черноземов	2,50	2,40...2,60
суглинки	2,71	2,69...2,73	торфы	1,60	1,50...1,80

15.2. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом

Образец грунта в воздушно-сухом состоянии размельчают в фарфоровой ступке, отбирают методом квартования среднюю пробу массой 100...200 г и просеивают сквозь сито с сеткой, имеющей отверстия 2 мм.

Из просеянной массы берут навеску грунта из расчета 15 г на каждые 100 мл емкости пикнометра и пробу для определения гигроскопической влажности (см. лаб. раб. № 13).

Пикнометр, наполненный на 1/3 дистиллированной водой, взвешивают, через воронку всыпают в него пробу грунта и снова взве-

шивают. Затем его взбалтывают и ставят кипятить на песчаную баню. Продолжительность спокойного кипячения (с момента начала кипения) для песков и супесей – 0,5 ч, для суглинков и глин – 1 ч. Затем пикнометр охлаждают и доливают дистиллированной водой до мерной риски на горлышке. После охлаждения пикнометра надо поправить положение мениска воды в нем, добавляя из пипетки дистиллированную воду, причем низ мениска должен совпадать с риской на горлышке. Лишние капли воды выше риски удаляют фильтровальной бумагой. Пикнометр вытирают снаружи и взвешивают.

Далее выливают содержимое пикнометра, ополаскивают его, наливают дистиллированную воду до риски на горлышке, поправляя мениск, и взвешивают пикнометр с водой. Результаты измерений заносят в табл. 15.2.

Таблица 15.2

Расчет гигроскопической влажности W_r , %				Масса пикнометра, заполненного на 1/3 объема		Масса пикнометра, заполненного до риски		Масса пустого пикнометра $m_{п}$, г	Объем пикнометра $V_{п}$, см ³	Расчетная масса пикнометра с водой при заданной температуре m_3 , г	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³
масса пустой бюксы m_0	масса бюксы с воздушно-сухим грунтом $m_{вс}$	масса бюксы с абсолютно сухим грунтом m_c	W_r , %	без грунта $m'_{пв}$, г	с грунтом $m'_{пг}$, г	без грунта $m_{пв}$, г	с грунтом $m_{пг}$, г				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Гигроскопическая влажность определяется из выражения

$$W_r = \frac{m_{вс} - m_c}{m_c - m_0} \cdot 100, \% \quad (15.1)$$

где $m_{вс}$ – масса бюксы с воздушно-сухим грунтом, г;

m_c – масса бюксы с абсолютно сухим грунтом, г;

m_b – масса пустой бюксы.

Объем пикнометра определяют из выражения

$$V_{\Pi} = \frac{m_{\Pi B} - m_{\Pi}}{\rho_w}, \quad (15.2)$$

где $m_{\Pi B}$ – масса пикнометра с водой, заполненного до риски, г;

m_{Π} – масса пустого пикнометра, г;

ρ_w – плотность воды при температуре проведения опыта, г/см³.

При правильно выполненных измерениях и расчетах масса пикнометра, заполненного до риски дистиллированной водой, и масса пикнометра с водой при температуре проведения опыта, определяемая расчетным путем, должны быть равны

$$m_{\Pi B} = m_5,$$

где m_5 – масса пикнометра с дистиллированной водой при температуре испытаний, определяемая из выражения

$$m_5 = m_{\Pi} + \rho_w V_{\Pi}. \quad (15.3)$$

Массу сухого грунта, применяемую для определения плотности частиц грунта, находят расчетным путем:

$$m_6 = \frac{m_{ГР}}{(1 + 0,01W_{Г})}, \text{ г}, \quad (15.4)$$

где $m_{ГР}$ – масса пробы воздушно-сухого грунта, определяемая из выражения

$$m_{ГР} = m'_{\Pi Г} - m'_{\Pi B}, \text{ г},$$

где $m'_{\Pi Г}$ – масса пикнометра, заполненного дистиллированной водой на 1/3 объема, с навеской грунта, г;

$m'_{ПВ}$ – масса пикнометра, заполненного дистиллированной водой на 1/3 объема.

Плотность частиц грунта вычисляют по формуле

$$\rho_S = \frac{m_6 \cdot \rho_W}{m_6 + m_5 - m_{ПГ}}, \text{ г/см}^3. \quad (15.5)$$

Все взвешивания производят с точностью до 0,01 г.

15.3. Вычисление производных характеристик плотности грунта

Производными характеристиками трех видов плотности являются пористость и коэффициент пористости грунтов.

Под *пористостью* грунтов понимают суммарный объем всех пор и промежутков между частицами твердой фазы грунта. Численно пористость грунта представляет собой отношение объема пор к общему объему грунта:

$$n = \frac{V_{ПОР}}{V} \cdot 100, \%, \quad (15.6)$$

где $V_{ПОР}$ – суммарный объем всех пор;

V – общий объем грунта.

Кроме того, пористость грунта характеризуется отношением объема пор к объему твердой фазы, т.е. *коэффициентом пористости*, и выражается в долях единицы:

$$e = \frac{V_{ПОР}}{V_T}, \quad (15.7)$$

где V_T – объем твердой фазы грунта.

Пористость дает представление о суммарной пористости грунта (открытых и закрытых пор), зависит от степени дисперсности (чем мельче частицы грунта, тем больше пористость) и не характеризует расположение и диаметр пор. Пористость песчаных грунтов может

составлять 28...35%, пылевато-глинистых — 60...75%. Для одного и того же грунта она не является постоянной величиной, а изменяется в зависимости от давления на грунт и взаимного расположения в нем частиц.

Пористость и коэффициент пористости характеризуют структуру грунта, по ним судят о степени уплотнения грунта и его сжимаемости в различных условиях.

Задание

1. По результатам лабораторных исследований плотности грунта, плотности сухого грунта (см. лаб. раб. № 14) и плотности частиц грунта определить пористость и коэффициент пористости, используя следующие выражения.

Пористость грунта, выраженная через плотность частиц грунта и плотность сухого грунта,

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100, \% \quad (15.8)$$

Тот же показатель, выраженный через плотность грунта, плотность частиц грунта и естественную влажность,

$$n = \left[1 - \frac{\rho}{\rho_s(1 + 0,01W)} \right] \cdot 100, \% \quad (15.9)$$

Коэффициент пористости, выраженный через плотность частиц грунта и плотность сухого грунта,

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \quad (15.10)$$

Результаты вычислений свести в табл. 15.3.

Вычисление производных пористости грунта

Плотность частиц грунта $\rho_s, \text{г/см}^3$	Плотность сухого грунта $\rho_d, \text{г/см}^3$	Пористость $p, \%$	Коэффициент пористости e	Плотность грунта $\rho_s, \text{г/см}^3$	Естественная влажность грунта $W, \%$	Пористость грунта $p, \%$
1	2	3	4	5	6	7

2. Определить влажность грунта и оценить степень его влажности, если известны результаты лабораторных исследований:

- пористость грунта;
- плотность частиц грунта;
- плотность грунта.

Численные данные принимаются согласно варианту табл. 15.4.

Решение осуществляется в следующей последовательности:

1). Из выражения (15.9) определить влажность грунта в долях единицы.

2). Из выражения (14.4) определить плотность сухого грунта.

3). Из выражения (15.10) определить коэффициент пористости.

4). Степень влажности грунта определить из выражения

$$S_r = \frac{\rho_s \cdot W}{\rho_w \cdot e}, \quad (15.11)$$

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

ρ_w – плотность воды, г/см^3 ;

W – влажность грунта, определенная по выражению (15.9) в долях единицы;

e – коэффициент пористости в долях единицы.

3. Определить плотность грунта, плотность сухого грунта, естественную и гигроскопическую влажность, если известны результаты лабораторных исследований (табл. 15.4):

- масса грунта естественной влажности;
- масса грунта в воздушно-сухом состоянии;

масса грунта в абсолютно сухом состоянии;

объем образца ненарушенной структуры.

Решение осуществляется в следующей последовательности.

1). По формуле (13.1) определить естественную влажность грунта и его гигроскопическую влажность.

2). Из выражения (14.1) определить плотность грунта.

3). С учетом полученных значений влажности и плотности грунта по формуле (14.4) определить плотность сухого грунта.

Таблица 15.4

Исходные данные

Показатели лабораторного анализа	Единицы измерения	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Пористость грунта	п, %	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Плотность грунта	$\rho_{сг}$, г/см ³	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	1,5
Плотность частиц грунта	ρ_p , г/см ³	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	1,9
Масса грунта естественной влажности	г	82,27	83,39	84,24	85,31	86,48	87,52	88,12	89,36	90,04	91,14
Масса грунта в воздушно-сухом состоянии	г	73,27	74,15	76,12	78,16	80,35	81,58	82,18	82,97	83,15	83,85
Масса грунта в абсолютно сухом состоянии	г	72,81	73,73	75,64	77,52	79,85	81,09	81,70	82,23	82,71	83,05
Объем образца ненарушенной структуры	см ³	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Вопросы для самопроверки

1. Какой показатель плотности из всех рассмотренных имеет наибольшие абсолютные значения?
2. Какие показатели являются производными плотности грунта?
3. На основании каких показателей можно определить степень влажности грунта?

Лабораторная работа № 16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ И ОПТИМАЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

Цель работы:

1. Изучение характеристик максимальной плотности и оптимальной влажности грунта.
2. Определение максимальной плотности и оптимальной влажности грунта.

Аппаратура:

Прибор Союздорнии для стандартного уплотнения грунтов, весы настольные циферблатные, весы лабораторные, шкаф сушильный, сито с отверстиями 5 мм, бюксы металлические, лопаточка-мастерок, нож лабораторный.

16.1. Характеристика максимальной плотности и оптимальной влажности грунта

При проектировании и строительстве земляных сооружений из песчаных и глинистых пород необходимо обеспечить наибольшую их устойчивость и прочность, что достигается уплотнением пород (укаткой, трамбованием, виброуплотнением) до максимально возможной при определенном содержании в грунте воды плотности.

Максимальная плотность определяется путем установления зависимости плотности сухого грунта от влажности при трамбовании образцов с постоянной затратой работы на их уплотнение и расчета

по этой зависимости ее максимальной величины. Влажность, при которой достигнута максимальная плотность сухого грунта, является *оптимальной* (ГОСТ 22733-77). Ее ориентировочные значения для грунтов принимаются по табл. 16.1.

Таблица 16.1

Ориентировочные значения оптимальной влажности грунтов

Грунты	Значения оптимальной влажности грунта, % массы грунта
Пески:	
гравелистые	4...6
крупные	6...8
средней крупности	7...9
Пески мелкие и пылеватые	8...10
Супеси	8...14
Суглинки легкие	12...16
Суглинки тяжелые	16...22
Глины	18...26

Испытания грунтов осуществляются в приборе Союздорнии для стандартного уплотнения грунтов путем послойного трамбования ударами груза массой 2,5 кг, падающего с высоты 300 мм.

При содержании частиц размером крупнее 5 мм в количестве более 10% работы проводят на большом приборе стандартного уплотнения, имеющем внутренний объем 1000 см³; при содержании частиц размером крупнее 5 мм в количестве менее 10% - в малом приборе стандартного уплотнения, имеющем внутренний объем 100 см³.

Малый прибор стандартного уплотнения (рис. 16.1) состоит из подставки 1 с двумя закрепляющими винтами, разъемного цилиндра 2 объемом 100 см³, направляющей цилиндрической насадки 3, плунжера 4, гири 5, направляющего стержня 6, рукоятки 7 и вкладыша 8.

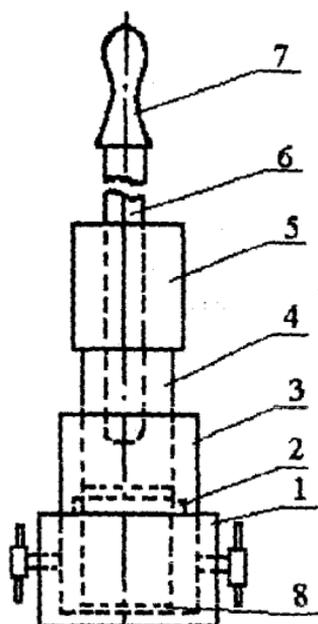


Рис. 16.1. Малый прибор стандартного уплотнения

16.2. Определение максимальной плотности и оптимальной влажности

Методом квартования отбирают среднюю пробу массой 1000 г и просеивают через сито с отверстиями 5 мм. Если масса грунта, оставшегося на сите, больше 10%, работы проводятся на большом приборе стандартного уплотнения, если меньше, – на малом.

Из просеянного грунта отбирают навеску массой 500 г, которая является исходной для дальнейших испытаний, а из нее – навеску массой 15...20 г, высыпают в предварительно взвешенную бюксу, высушивают по методике, изложенной в лаб. раб. № 13, и по формуле (13.1) определяют естественную влажность грунта.

Наименьшая влажность в начале первого опыта должна несколько превышать влажность грунта в воздушно-сухом состоянии, поэтому грунт увлажняют до исходной влажности, принимаемой равной 4% – для песчаных, гравийных грунтов и 8% – для глинистых.

Необходимое для увлажнения грунта количество воды определяют по формуле

$$Q = \frac{m_7}{1 + 0,01W} \cdot 0,01(W_2 - W) , \text{ мл}, \quad (16.1)$$

где m_7 – масса грунта, отобранная из поддона (равная 500 г);

W – естественная влажность грунта, %;

W_2 – исходная влажность, равная 4%.

Количество воды, рассчитанное по формуле (16.1), вводят в грунт и перемешивают до однородного состояния лопаточкой-мастерком.

Подготовка прибора к испытанию включает сборку подставки, разъемного цилиндра и круглой пластины и взвешивание их с точностью до 1 г.

Перед началом заполнения прибора грунтом определяют влажность грунта весовым методом по методике, изложенной в лаб. раб. № 13.

Разъемный цилиндр фиксируют закрепляющими винтами, насыпают в него исследуемый грунт примерно на 1/3, вставляют плунжер, а в него – направляющий стержень с гирей. Гирию поднимают до верхнего упора и отпускают, она ударяется о плунжер и уплотняет грунт внутри прибора.

Число ударов гири для каждого слоя должно составлять:

для песчаных грунтов – 12;

для супесчаных – 15;

для суглинков и глин – 25.

После необходимого количества ударов плунжер вытаскивают, поверхность предыдущего слоя взрыхляют ножом на глубину 1...2 мм, загружают второй слой (на 2/3 высоты цилиндра), вставляют плунжер, и операция уплотнения повторяется.

Далее поверхность уплотненного слоя опять разрыхляют, на разъемный цилиндр надевают направляющий насадочный цилиндр и засыпают третью порцию грунта, которая по объему должна быть на 10...15 мм больше верхней части разъемного цилиндра. После уплотнения третьего слоя насадку снимают и срезают выступающую из цилиндра часть образца.

Прибор с уплотненным грунтом взвешивают на весах с точностью до 1 г и рассчитывают плотность влажного образца грунта с точностью до 0,01 г/см³ по формуле

$$\rho = \frac{m_9 - m_8}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (16.2)$$

где m_8 – масса прибора, г;

m_9 – масса прибора с уплотненным грунтом, г;

V – емкость разъемного цилиндра, равная 100 см^3 .

Ослабляют закрепляющие винты, грунт из прибора высыпают в оставшуюся пробу и тщательно перемешивают.

Затем повышают влажность на 2% для песчаных грунтов и на 3% – для глинистых. Количество воды для доувлажнения определяют по формуле (16.1). Опыт повторяют в последовательности, описанной выше.

После определения плотности при влажности 6% вновь повышают влажность на 2%, и опыт повторяют.

Испытания по определению максимальной плотности сухого грунта можно считать законченными тогда, когда с повышением влажности пробы происходит уменьшение плотности уплотненных образцов грунта. Результаты испытаний заносят в табл. 16.2.

Таблица 16.2

Результаты определения максимальной плотности грунта

№ пп	Ориентирующая влажность, %		Влажность грунта, определенная весовым методом				Результаты определения плотности грунта				Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³
	исходная влажность, %	количество добавляемой воды Q, мл	масса бюксы с влажным грунтом $m_{вв}$, г	масса бюксы с сухим грунтом m_s , г	масса пустой бюксы m_6 , г	влажность грунта W, %	масса прибора с уплотненным грунтом m_9 , г	масса прибора без грунта m_8 , г	объем разъемного цилиндра V, см ³	плотность грунта ρ , г/см ³	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

По полученным в результате испытаний значениям плотности и влажности уплотненных образцов определяют плотность сухого грунта с точностью до $0,01 \text{ г/см}^3$ по формуле (14.4).

Строят график зависимости плотности сухого грунта (ось ординат) от его влажности (ось абсцисс). Линейные масштабы графика:

ось ординат: в 1 см – 2%;
ось абсцисс: в 1 см – 0,05 г/см³.

Находят максимум полученной зависимости и соответствующие ему величины максимальной плотности сухого грунта ($\rho_{d \max}$) и оптимальной влажности ($W_{\text{опт}}$). Точность считывания значений должна быть: для $\rho_{d \max}$ – 0,01 г/см³, для $W_{\text{опт}}$ – 0,1%.

Степень уплотнения грунтов в дорожном строительстве оценивают отношением плотности сухого грунта в его естественном залегании или в насыпи ρ_d к плотности сухого грунта, полученного методом стандартного уплотнения, $\rho_{d \max}$:

$$K_y = \frac{\rho_d}{\rho_{d \max}}, \quad (16.3)$$

где K_y – коэффициент стандартного уплотнения.

Задание

1. Определить максимальную плотность и оптимальную влажность грунта.

2. Оценить качество уплотнения грунта, уложенного в насыпь автомобильной дороги, если известны результаты лабораторных исследований (табл. 16.3):

плотность грунта;

естественная влажность грунта;

оптимальная влажность грунта;

плотность грунта, полученная методом стандартного уплотнения.

Решение осуществляется в следующей последовательности:

1). Из выражения (14.4) определить плотность сухого грунта, находящегося в насыпи автомобильной дороги.

2). По той же формуле (14.4) определить плотность сухого грунта, уплотненного на приборе стандартного уплотнения.

3). Из выражения (16.3) определить коэффициент стандартного уплотнения.

3. Определить плотность грунта, укладываемого в насыпь автомобильной дороги, которая должна быть получена в результате укатки до требуемого коэффициента уплотнения, если известны результаты лабораторных исследований (табл. 16.3):

влажность грунта, укладываемого в насыпь;
 максимальная плотность сухого грунта, определенная методом стандартного уплотнения.

Решение осуществляется в следующей последовательности:

1). По формуле (14.4) определить плотность сухого грунта, укладываемого в насыпь дороги.

2). Из выражения (16.3) найти плотность грунта насыпи, которая должна быть достигнута в результате укатки.

Исходные данные для решения проблемных ситуаций см. в табл. 16.3.

Таблица 16.3

Исходные данные

Пункт задания	Показатели лабораторного анализа	Единицы измерения	Варианты									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	Плотность грунта, уплотненного в насыпи автомобильной дороги	ρ , г/см ³	1,67	1,76	1,81	1,85	1,90	1,94	1,98	2,02	2,10	2,20
	Влажность того же грунта	W, %	20	14	15	16	17	18	19	20	16	17
	Оптимальная влажность грунта	W _{опт.} , %	14	8	9	10	8	9	10	11	12	13
	Плотность грунта, полученная на приборе стандартного уплотнения	ρ , г/см ³	1,50	1,65	1,78	1,80	1,86	1,92	1,94	1,98	2,02	2,08
3	Влажность грунта, укладываемого в насыпи	W, %	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Максимальная плотность сухого грунта	$\rho_{\text{дmax}}$, г/см ³	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
	Требуемый коэффициент уплотнения	K _y	0,95	0,95	0,95	0,98	1,00	1,00	1,00	0,98	0,95	1,00

Вопросы для самопроверки

1. Как определить оптимальную влажность грунта?
2. Сколько опытов необходимо сделать, чтобы определить максимальную плотность грунта?
3. Каким образом можно оценить степень уплотнения грунта?

Лабораторная работа № 17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГРУНТА ПЛОТНОМЕРОМ-ВЛАГОМЕРОМ СИСТЕМЫ Н.П.КОВАЛЕВА

Цель работы:

1. Изучение конструкции прибора и методики работы на плотномере-влажномере.
2. Определение плотности грунта и плотности сухого грунта на приборе Н.П.Ковалева.
3. Расчет естественной влажности.
4. Определение на плотномере-влажномере максимальной плотности и оптимальной влажности.

Аппаратура:

Плотномер-влажномер системы инженера Н.П.Ковалева, лабораторный нож, пята, стержень, гиря, совок с делениями, сетчатый диск, режущий цилиндр.

17.1. Оборудование для полевого обследования грунтов

Полевые обследования грунтов и учет природных условий их залегания являются обязательным элементом проектно-исследовательских работ, связанных со строительством любых инженерных сооружений.

При полевом обследовании грунтов возникает необходимость в определении основных физических свойств горных пород на месте их естественного залегания. Для этого применяется такое оборудо-

вание, как полевая грунтовая лаборатория системы Литвинова и плотномер-влажномер системы инженера Н.П.Ковалева.

С помощью приборов полевой грунтовой лаборатории осуществляются следующие операции:

1) отбор монолитов грунта ненарушенной структуры и природной влажности и определение их основных физических показателей;

2) высушивание образцов в полевом сушильном шкафу;

3) определение плотности, влажности, пластичности;

4) определение коэффициентов фильтрации, набухания, угла внутреннего трения, сдвиговых параметров грунта.

Прибор Н.П.Ковалева предназначен для ускоренного измерения показателей плотности грунтов в полевых условиях.

Плотномер-влажномер состоит из следующих основных частей (рис. 17.1): корпуса 1, трубки 2, крышки-подставки 3, тарировочного груза 4, стойки 5, поддона 6, сосуда 7, режущего цилиндра 8, футляра-ведра 9.

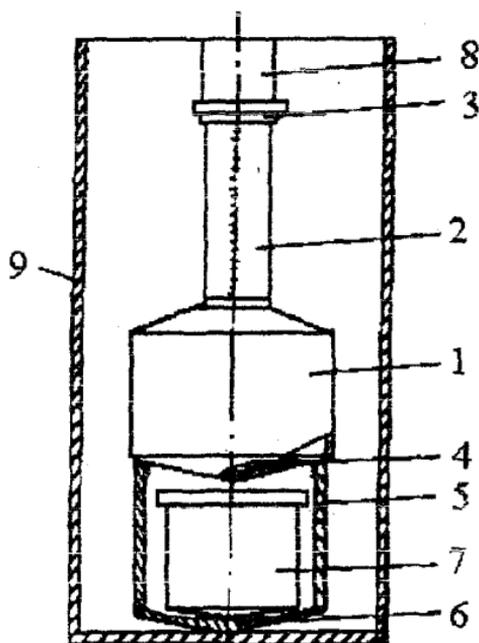


Рис. 17.1. Плотномер-влажномер системы Н.П.Ковалева

На трубке 2 нанесены четыре шкалы, имеющие условные обозначения:

Δ — для определения плотности влажного грунта;

Ч — для определения плотности сухого чернозема (гумусовых грунтов);

П — для определения плотности сухого песчаного грунта;

Г — для определения плотности сухого глинистого грунта.

Трубка прибора сверху имеет подставку, на которой помещается проба грунта с режущим кольцом. В отверстие внутри трубки помещают тарировочный груз (мелкий гравий, воду и т.п.). К низу поплавок с помощью стоек 5 прикреплен поддон 6 в форме диска, обеспечивающий устойчивость поплавка в вертикальном положении и служащий для установки сосуда 7 при определении плотности сухих грунтов. В комплект входят ударник для отбора проб и прибор для определения предела текучести грунта.

Подготовка плотномера-влажмера к работе заключается в следующем. В футляр-ведро 9 наливают воду до верхней кольцевой отметки и опускают в него прибор в собранном виде вместе с режущим кольцом 8 и сосудом 7 на поддоне. Прибором можно пользоваться, когда поплавок погрузится в воду до нижней кольцевой отметки начала шкалы Δ на трубке, в противном случае необходимо уравновешивать поплавок водой, заливаемой в отверстие трубки.

17.2. Определение плотностей грунта плотномером-влажмером

1. Определение плотности грунта.

На испытываемом участке выравнивают небольшую площадку, на которой устанавливают режущий цилиндр прибора острой кромкой вниз. Режущее кольцо пятой, ударником или рукой (в зависимости от твердости грунта) заглубляют в грунт. После заполнения кольца грунт подрезают на 8...10 мм ниже края цилиндра и выкапывают его вместе с пробой. Грунт, выступающий за края, срезают ножом вровень с краями цилиндра. Ветошью удаляют частицы грунта, прилипшие к поверхности режущего кольца. В футляр-ведро наливают воду и опускают плотномер-влажмер без сосуда 7. Цилиндр с грунтом ставят на подставку поплавок, который при этом погружается в воду, и против уровня воды по шкале Δ делают

отсчет плотности грунта в г/см^3 . При всех определениях плотности поплавков необходимо покачивать для выхода пузырьков воздуха.

2. Определение плотности сухого грунта.

Режущее кольцо с пробой снимают с подставки поплавок прибора, грунт с помощью ножа переносят из режущего цилиндра в сосуд, поплавок достают из футляра-ведра. В сосуд наливают воду на $\frac{3}{4}$ объема, грунт ножом перемешивают с водой до ликвидации комков. Вышедшие из пор пузырьки воздуха (в виде пенки) удаляют сетчатым диском. Сосуд с размешанной пробой устанавливают на поддон и погружают поплавок в воду, налитую в футляр-ведро.

Против уровня воды по шкале, соответствующей грунту Ч, П или Г, берут отсчет в г/см^3 . К абсолютному значению отсчета плотности сухого грунта, взятому по шкале, прибавляют поправки:

для песков (шкала П) – $0,02 \text{ г/см}^3$;

для чернозема (шкала Ч) – $0,08 \text{ г/см}^3$;

для глин, суглинков, супесей легких пылеватых (шкала Г) – $0,05 \text{ г/см}^3$;

для супесей тяжелых пылеватых (шкала Г) – $0,10 \text{ г/см}^3$.

3. Расчет естественной влажности грунта.

Расчет производят исходя из плотности влажного и плотности сухого грунта по формуле

$$W = \frac{\rho - \rho_d}{\rho_d} \cdot 100, \%$$

где ρ – плотность грунта, определяемая по шкале Д, г/см^3 ;

ρ_d – плотность сухого грунта, определяемая по одной из шкал П, Ч, Г, г/см^3 .

4. Методика измерений и расчета максимальной плотности и оптимальной влажности.

1). Определение максимальной плотности и оптимальной влажности на месте залегания грунта.

Разравнивают площадку размером $0,3 \times 0,3 \text{ м}$, ставят на нее режущий цилиндр с пятой, с помощью ударника погружают в грунт (рис. 17.2).

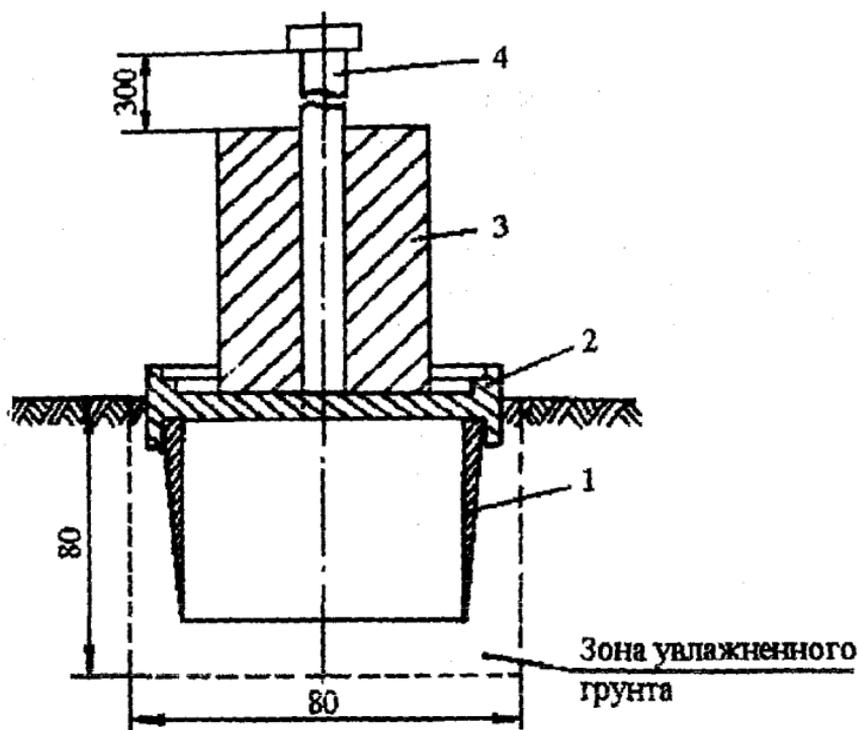


Рис. 17.2. Отбор грунта на месте залегания для стандартного уплотнения:
 1 – режущий цилиндр; 2 – пята; 3 – гиря; 4 – стержень

Режущий цилиндр с уплотненным грунтом откапывают ножом и снова ставят на ту же площадку рядом с образовавшейся лункой (чтобы режущий цилиндр не погружался в грунт при стандартном уплотнении). В пята вставляют стержень с гирей, гирю поднимают вверх до упора и отпускают с высоты 300 мм.

Количество ударов, необходимых для стандартного уплотнения, назначают в зависимости от вида грунта:

для песков и супесей – 38;

для суглинков – 60;

для глин – 75.

После стандартного уплотнения режущий цилиндр вместе с грунтом откапывают ножом, переносят на крышку – подставку и вышеописанным путем измеряют плотность грунта, плотность сухого грунта и рассчитывают влажность.

Затем на той же площадке выбирают зону размером (80×80) мм и ножом разрыхляют на ней грунт на глубину 80 мм. В разрыхленный грунт добавляют порцию воды из расчета увеличения влажности на 2%.

При плотности грунта, определенной в первом случае и равной $1,6 \text{ г/см}^3$, и размере разрыхленного грунта $80 \times 80 \times 80$ мм объем порции воды составит

$$V_w = 8 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 1,6 \cdot 0,02 = 16 \text{ см}^3.$$

Порцию воды отмеряют с помощью совка (вода набирается до риски). Грунт с водой тщательно перемешивают, поверхность его уплотняют и выравнивают.

Затем вышеописанным способом грунту придают стандартное уплотнение, измеряют плотность, плотность сухого грунта, рассчитывают влажность. На площадке выбирают новую зону, разрыхляют ножом грунт и добавляют вторую, третью, четвертую и т.д. порции воды по 16 см^3 . Цикл измерений и вычислений повторяют до тех пор, пока плотность сухого грунта, достигнув своего максимального значения, не начнет уменьшаться.

По результатам испытаний строят график, аналогичный графику в лаб. раб. № 16, по которому определяют максимальную плотность грунта и оптимальную влажность.

2). Определение максимальной плотности и оптимальной влажности грунта в лабораторных условиях.

Отбирают пробу грунта массой 3 кг, наполняют сосуд с послойным уплотнением, режущий цилиндр устанавливают на грунт в сосуде. На режущий цилиндр сверху устанавливают ударник и производят стандартное уплотнение по технологии, указанной выше. Для уплотненного грунта измеряют плотность, плотность сухого грунта и рассчитывают влажность. После этого грунт из сосуда и из режущего цилиндра переносят в крышку футляра и перемешивают. Туда же добавляют 16 см^3 воды для увеличения влажности грунта на 2%, перемешивают ножом и повторно наполняют сосуд и режущий цилиндр.

Далее испытания проводят аналогично испытаниям грунтов на месте их залегания. Результаты измерений заносят в табл. 17.1.

Результаты измерений

№ ПП	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность сухого грунта ρ_d			Влажность грунта W , %	Максимальная плотность и оптимальная влажность				
		предварительная, г/см ³	величина поправки, г/см ³	окончательная, г/см ³		плотность грунта ρ , г/см ³	предварительная, г/см ³	величина поправки, г/см ³	окончательная, г/см ³	влажность грунта W , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Задание

1. Определить плотность грунта плотномером-влажномером.
2. Определить плотность сухого грунта плотномером-влажномером.
3. Рассчитать естественную влажность грунта.
4. Определить максимальную плотность и оптимальную влажность в полевых и лабораторных условиях.

Вопросы для самопроверки

1. Какое оборудование предназначено для полевого обследования грунтов?
2. В чем отличие определения максимальной плотности и оптимальной влажности на малом приборе стандартного уплотнения и на приборе Н.П.Ковалева?

Лабораторная работа № 18

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы:

1. Изучение особенностей взвешивания горных пород в жидкости.
2. Определение открытой пористости скальных и полускальных горных пород.
3. Определение пористости песчаных грунтов.

Аппаратура:

Технические весы, приспособленные для взвешивания в воде; разновесы; стеклянный стакан; бюретка, укрепленная на штативе.

18.1. Виды пористости

Отношение объема пор в грунте к общему объему, занимаемому грунтом, называется *пористостью* грунта.

Поры в грунтах могут быть связаны между собой и атмосферой или изолированы друг от друга и от атмосферы. В первом случае они называются *открытыми*, во втором – *закрытыми*.

По происхождению пор обычно выделяют первичную и вторичную пористость.

Первичная пористость образовалась в процессе накопления осадка и изменялась в процессе диагенеза, *вторичная* возникла в результате выщелачивания, выветривания, тектонических процессов, жизнедеятельности растительных и животных организмов.

Пористость горных пород вычисляется из выражений, приведенных в лаб. раб. № 15, или определяется лабораторным путем.

Общая пористость скальных и полускальных горных пород определяется *методом насыщения* их какой-либо жидкостью. В.Д.Ломтадзе рекомендует использовать для этого чистый керосин, поскольку он не разрушает погруженных в него слабосцементированных образцов. Другие авторы допускают применение дистиллированной воды. Для определения пористости этим методом применяют технические весы, приспособленные для взвешивания образцов породы в воде (рис. 18.1), или специальные гидростатические весы.

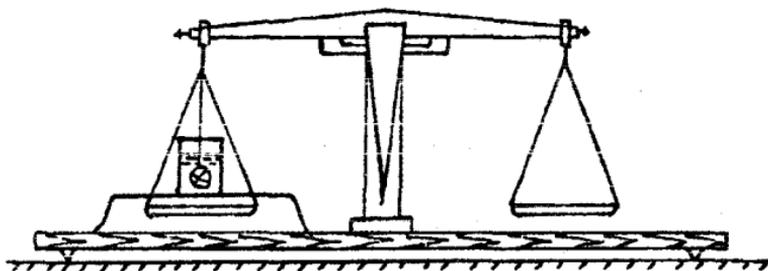


Рис. 18.1. Подставка к техническим весам для взвешивания в воде

Для определения пористости песков и песчаных пород нарушенного сложения применяют *метод насыщения*, заключающийся в постепенном заполнении пор грунта водой, вытекающей из бюретки.

18.2. Определение открытой пористости скальных и полускальных горных пород

Образец горной породы объемом не менее 30 см^3 высушивают в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянной массы и взвешивают на технических весах с точностью до 0,01.

Высушенный образец обвязывают ниткой и погружают в стакан с жидкостью. Для полного насыщения его выдерживают под вакуумом 30 мин, затем взвешивают на гидростатических весах.

Образец вынимают из жидкости, просушивают фильтровальной бумагой и взвешивают на воздухе. Результаты измерений заносят в табл. 18.1.

Т а б л и ц а 18.1

Результаты определения пористости скальных и полускальных горных пород

№ пп	Вес образца, г			Пористость n , %
	сухого на воздухе m_{10}	насыщенного в жидкости m_{11}	насыщенного на воздухе m_{12}	
1	2	3	4	5

Величину открытой пористости вычисляют по формуле

$$n_{\text{откр}} = \frac{m_{12} - m_{10}}{m_{12} - m_{11}} \cdot 100, \% \quad (18.1)$$

где m_{12} – масса образца, насыщенного жидкостью и взвешенного на воздухе, г;

m_{10} – масса образца, взвешенного на воздухе, г;

m_{11} – масса образца, насыщенного жидкостью и взвешенного в жидкости, г.

Следовательно, открытая пористость равна объему жидкости, пошедшей на насыщение образца.

Чтобы вычислить закрытую пористость горной породы, необходимо определить общую пористость, и из нее вычесть открытую. Общую пористость можно определить по номограмме В.А.Приклонского, зная плотность сухого грунта и плотность частиц грунта, или по выражениям (15.8) и (15.9).

18.3. Определение пористости рыхлых несвязных пород

Стекланный стакан взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Он должен иметь метку, обозначающую объем 200 см³. Песок в воздушно-сухом состоянии, т.е. высушенный на воздухе, насыпают в стакан до метки при той плотности, при которой необходимо определить пористость. Стакан с песком взвешивают, ставят на штатив под бюретку, нижний конец которой погружают в песок так, чтобы он находился на высоте 2...3 мм над дном стакана. Бюретку наполняют водой до отметки. Затем, периодически приоткрывая зажим бюретки, медленно насыщают песок водой до появления пленки на поверхности песка. Засекают отметку и определяют объем воды, пошедшей на насыщение песка. Результаты испытаний заносят в табл. 18.2.

Таблица 18.2

№ пп	Стекланный стакан		Вес стакана с сухим грунтом m_{14} , Г	Отметки на бюретке			Вес стакана с насыщенным грунтом m_{15} , Г	Пористость n , %	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³
	объем V_1 , см ³	вес, m_{13} , Г		начало испытания	конец испытания	объем воды $V_{2,3}$, см ³				

Пористость песка определяют по формуле

$$n = \frac{V_2}{V_1} \cdot 100, \% \quad (18.2)$$

где V_1 – объем стеклянного стакана до метки, см^3 ;

V_2 – объем воды, пошедшей на насыщение грунта, см^3 .

Одновременно вычисляют показатели плотности песка, соответствующие этой пористости.

Плотность песка

$$\rho = \frac{m_{15} - m_{13}}{V_1}, \text{ г/см}^3, \quad (18.3)$$

где m_{15} – вес стеклянного стакана с грунтом, насыщенным водой, г;

m_{13} – вес стеклянного стакана, г.

Плотность сухого песка

$$\rho_d = \frac{m_{14} - m_{13}}{V_1}, \text{ г/см}^3, \quad (18.4)$$

где m_{14} – вес стеклянного стакана с сухим грунтом, г.

Задание

1. Определить пористость скальных и рыхлых несвязных пород.
2. На месте выторфованного болота производится отсыпка земляного полотна автомобильной дороги.

Объем насыпи земляного полотна – V , м^3 .

Влажность отсыпаемого грунта – W , %.

Плотность частиц обсыпанного грунта – ρ_s , т/м^3 .

Масса грунта, уложенного в насыпь, – m , т.

Через некоторое время под действием подземных вод и капиллярных сил песок полностью насытился водой.

Рассчитать пористость грунта, уложенного в основание земляного полотна автомобильной дороги.

Решение осуществляется в следующей последовательности:

- 1). Определить плотность дисперсного грунта, имеющего влажность W , из выражения

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad \text{т/м}^3,$$

где m – масса грунта, уложенного в насыпь, т;

V – объем насыпи земляного полотна, м³.

2). Определить плотность сухого грунта из выражения (14.4), подставляя в формулу значение влажности в долях единицы.

3). Определить значение влажности песка при полном водонасыщении из выражения (19.4), приведенного в лаб. раб. № 19.

4). Пористость песка рассчитать по формуле

$$n = \rho_d \cdot W_{\text{полн}} \cdot 100, \% \quad (18.5)$$

где ρ_d – плотность сухого грунта;

$W_{\text{полн}}$ – полная влагоемкость песка, доли единицы.

Численные данные для решения задачи принимаются согласно варианту по табл. 18.3.

Таблица 18.3

Исходные данные

Показатели	Единицы измерения	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Объем насыпи земляного полотна	V, м ³	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850
Влажность отсыпaeмого грунта	W, %	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Плотность частиц грунта	$\rho_{s, \text{г/м}^3}$	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65
Масса грунта, уложенного в насыпь	m, т	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200

Вопросы для самопроверки

1. Какую пористость можно определить методом насыщения у скальных и полускальных горных пород?
2. В чем заключается отличие при определении пористости у скальных и у песчаных грунтов?

Лабораторная работа № 19

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ПО УГЛУ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА

Цель работы:

1. Изучение показателей, характеризующих силы внутреннего трения песчаного грунта.
2. Определение угла естественного откоса песчаного грунта, находящегося в воздушно-сухом состоянии и под водой.

Аппаратура:

Сито с отверстиями 2 мм, весы технические, прибор УВТ-3, стеклянный стакан, резиновая трубка.

19.1. Характеристика угла естественного откоса

Угол, который образует свободно насыпанный песок с горизонтом, называется *углом естественного откоса*. Он зависит от структуры и состава песка и является постоянной величиной для данного типа песка. Для рыхлого песка угол естественного откоса близок к углу внутреннего трения, но с возрастанием плотности его величина уменьшается. Для однородного песка превышение угла внутреннего трения над углом естественного откоса невелико, а для плотных и неоднородных по структуре песков составляет значительную величину.

Сопротивление, возникающее при относительном движении соприкасающихся друг с другом частиц в рыхлых песках, характеризуется силами внутреннего трения. Рассматривая зависимость со-

противления грунтов сдвигу от нормального давления, которая для практических расчетов аппроксимируется в виде прямой линии, направленной под углом к оси абсцисс, можно выразить этот угол наклона через *угол внутреннего трения*. Тангенс этого угла называется *коэффициентом внутреннего трения*. Средние значения углов внутреннего трения в зависимости от зернового состава песка приведены в табл. 19.1.

Таблица 19.1

Средние значения углов внутреннего трения

Наименование грунта	Влажность грунтов на границе раскатывания, %	Угол внутреннего трения, град
Супесчаный	9...14	25...24
Суглинистый	15...21	22...18
Глинистый	22...30	18...16

Значения углов внутреннего трения песчаных грунтов меняются в зависимости от степени уплотнения для мелкозернистых и пылеватых грунтов – от 26 до 30°, для крупнозернистых с включениями гравия – от 30 до 35°.

Увлажнение песка и фильтрация воды через откос могут также увеличивать угол естественного откоса на 4...5°.

Угол естественного откоса определяется экспериментально с помощью прибора УВТ-3 (рис. 19.1), который состоит из мерного столика 1, обоймы 2, стержня 3 со шкалой, пластмассового резервуара 4.

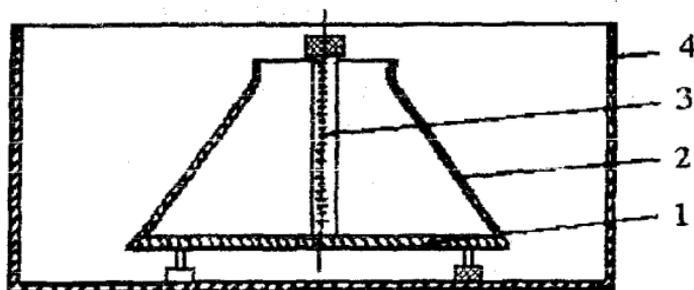


Рис. 19.1. Прибор для определения угла естественного откоса

19.2. Определение угла естественного откоса в воздушно-сухом состоянии

Исследуемый грунт высушивают до воздушно-сухого состояния, для чего распределяют его тонким слоем толщиной 1...1,5 см на фанерном листе и оставляют на 1...2 сут.

Из высушенного грунта отбирают среднюю пробу массой 1...1,5 кг, которую пропускают через сито с отверстиями 2 мм (для отброса гравелистых частиц). С прибора УВТ-3 снимают крышку, переворачивают ее и устанавливают на горизонтальную поверхность. Мерный столик помещают на крышку опорами в паз, сверху надевают обойму. Грунт, прошедший через сито, засыпают тонкой струйкой через горловину внутрь обоймы до самого верха. Излишек убирают с помощью линейки, выравнивая верх грунтовой призмы вровень с краями прибора. Во время засыпания грунта необходимо слегка постукивать по обойме, чтобы избежать образования пустот и крупных пор. Обойму осторожно поднимают, и грунт начинает осыпаться, формируя конус с вершиной у стержня со шкалой. По верхней границе конуса на шкале отсчитывают значение угла естественного откоса α .

Коэффициент внутреннего трения f определяют из выражения

$$f = \operatorname{tg} \alpha. \quad (19.1)$$

Опыт проводят не менее трех раз. Расхождения между повторными определениями не должны превышать 1° . По результатам измерений вычисляют среднеарифметическое значение угла естественного откоса.

19.3. Определение угла естественного откоса под водой

Подготовка грунта производится так же, как для воздушно-сухого грунта.

Мерный столик устанавливают в кольцевой паз на дне пластмассового резервуара. Сверху на столик надевают обойму. Подготовленный грунт засыпают через горловину внутрь обоймы до самого верха, слегка постукивая по ней, излишек снимают линейкой.

К водопроводному крану подсоединяют резиновый шланг, второй конец которого опускают на дно резервуара. Кран надо открывать медленно, чтобы вода тонкой струйкой постепенно заполнила резервуар доверху. После заполнения дают пять минут выдержки, чтобы вода заполнила все поры грунта, и он стал однородным по консистенции. Обойму осторожно приподнимают и извлекают из резервуара.

По вершине образовавшегося конуса производят определение угла естественного откоса под водой и из выражения (19.1) вычисляют коэффициент внутреннего трения для грунта, находящегося под водой. Результаты измерений заносят в табл. 19.2.

Таблица 19.2

Результаты экспериментального определения
угла естественного откоса

№ испы- таний	Тип грунта	Результаты измерения грунта			
		воздушно-сухого		под водой	
		угол есте- ственного откоса α	коэффици- ент внутрен- него трения f	угол есте- ственного откоса α	коэффици- ент внутрен- него трения f
1	2	3	4	5	6

Задание

1. Определить угол естественного откоса в воздушно-сухом состоянии и под водой.

2. Определить вес одного кубического метра песка после его полного насыщения водой, если даны:

вес 1 м^3 сухого грунта;

плотность частиц грунта.

Выполнить задание двумя способами. Численные данные принять согласно варианту по табл. 19.3.

Последовательность решения следующая.

Первый способ:

1). По формуле (15.8) определить значение пористости песка в долях единицы.

2). Определить вес воды в 1 м^3 песка при полном заполнении его пор водой.

Поскольку объем пор в 1 м^3 песка

$$V_{\Pi} = 1 \text{ м}^3 \cdot n, \text{ м}^3,$$

то вес воды в 1 м^3 песка при полном заполнении его пор водой

$$q_B = V_{\Pi} \cdot \rho_W, \text{ т}, \quad (19.2)$$

где ρ_W – плотность воды, равная $1,0 \text{ т/м}^3$.

3). Определить вес 1 м^3 песка в состоянии полного водонасыщения. Он складывается из веса сухого песка (дано) в объеме 1 м^3 и веса воды q_B в том же объеме песка:

$$q_W = q_C + q_B, \text{ т}, \quad (19.3)$$

где q_W – вес песка при полном водонасыщении, т;

q_C – вес сухого песка, т;

q_B – вес воды в объеме того же песка, т.

Второй способ:

1). Определить значение влажности песка при полном его водонасыщении.

$$W_{\text{полн}} = \frac{\rho_S - \rho_d}{\rho_S \cdot \rho_d}, \text{ доли единицы}, \quad (19.4)$$

где ρ_S – плотность частиц грунта, т/м^3 ;

ρ_d – плотность сухого грунта, т/м^3 .

2). По формуле (14.4) определить плотность полностью водонасыщенного песка, подставляя вместо W $W_{\text{полн}}$ в долях единицы.

Плотность дисперсного песка измеряется в т/м^3 , следовательно, вес 1 м^3 полностью водонасыщенного песка будет равен значению плотности.

Таблица 19.3

Исходные данные

Показатели	Единицы измерения	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Плотность сухого грунта	ρ_{ds} т/м^3	1,6	1,55	1,50	1,45	1,40	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
Плотность частиц грунта	ρ_{s_3} т/м^3	2,65	2,60	2,55	2,50	2,45	2,40	2,35	2,30	2,25	2,20

Вопросы для самопроверки

1. Как и почему изменяется угол внутреннего трения песка, находящегося в воздушно-сухом состоянии и под водой?
2. Как определяется коэффициент внутреннего трения грунта?

Лабораторная работа № 20

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ И КОНСИСТЕНЦИИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Цель работы:

1. Изучение влияния влажности на физико-механические свойства глинистых грунтов.
2. Определение типа грунта по числу пластичности.

Аппаратура:

Балансирный конус А.М.Васильева, шпатель, сито с сеткой № 1, стеклянный стакан, фарфоровая чашка со ступкой, металлическая бюкса, технические весы, разновесы.

20.1. Влияние влажности грунтов на их физико-механические свойства

По степени влияния на физико-механические свойства грунта условно различают влажность: недостаточную, оптимальную, избыточную и опасную, или вредную (рис. 20.1).

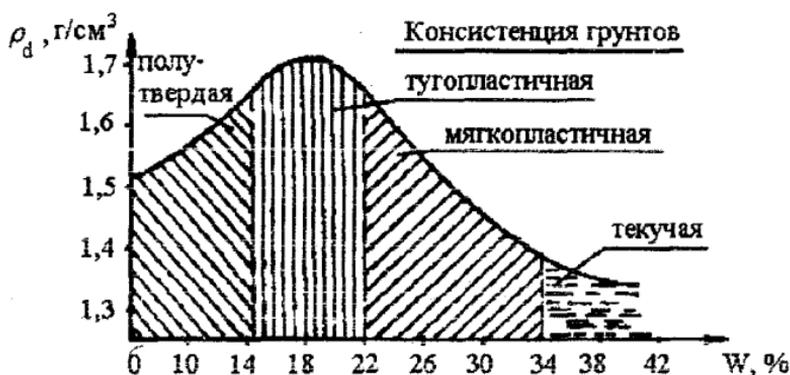


Рис. 20.1. Изменение консистенции и плотности суглинистого грунта в зависимости от его влажности

Недостаточная влажность колеблется в пределах от гигроскопической до двойной гигроскопической влажности, при которой песчаные грунты находятся в сыпучем состоянии, а глинистые — в твердом.

Оптимальная влажность находится в интервале между максимальной молекулярной влагоемкостью и границей раскатывания. При уплотнении грунта, имеющего оптимальную влажность, получают максимальную плотность.

Избыточная влажность колеблется от предела раскатывания до предела текучести. При ней грунт приобретает повышенную липкость.

Опасная (вредная) влажность соответствует влажности выше предела текучести. Отрицательные свойства свободной воды достигают при ней максимального выражения, и грунт находится в текучем состоянии.

Пластичностью грунта называют его способность изменять форму (деформироваться) под действием внешних сил без разрыва сплошности массы и сохранять полученную форму после прекращения действия внешних сил.

Грунты обладают различной пластичностью, которая зависит от содержания в грунте глинистых частиц и влаги. В зависимости от влажности связные грунты могут быть в твердом, полутвердом, пластичном и текучем состоянии. Переход грунта из одного состояния (консистенции) в другое происходит при вполне определенных влажностях, которые принято называть *характерными влажностями* (пределами пластичности).

Для установления способности грунта принимать пластичное состояние производят определение влажности, характеризующей границы пластичного состояния грунта – границу текучести и границу раскатывания.

Граница текучести характеризует влажность, при которой грунт из пластичного состояния переходит в полужидкое – текучее. Из-за наличия свободной воды сцепление между частицами нарушается, частицы грунта легко смещаются и разъединяются, и грунт теряет свою устойчивость.

Граница раскатывания соответствует влажности, при которой грунт находится на границе перехода из твердого состояния в пластичное.

Границу текучести и границу раскатывания называют также верхним и нижним пределами пластичности.

Разность между значениями влажностей, соответствующих пределам текучести и раскатывания, называется *числом пластичности*. По этому показанию классифицируются глинистые грунты: супесь – $1 \leq I_p \leq 7$; суглинок – $7 < I_p \leq 17$; глина – $I_p > 17$.

Границу текучести определяют с помощью балансирного конуса А.М.Васильева (рис. 20.2), состоящего из подставки 1, бюксы 2, конуса высотой 25 мм 3, стального прутка 4, двух балансирных шаров 5, ручки 6.

Балансирный конус имеет угол при вершине 30° ; на расстоянии 10 мм от вершины имеется круговая отметка. Общий вес прибора составляет $76 \pm 0,2$ г.

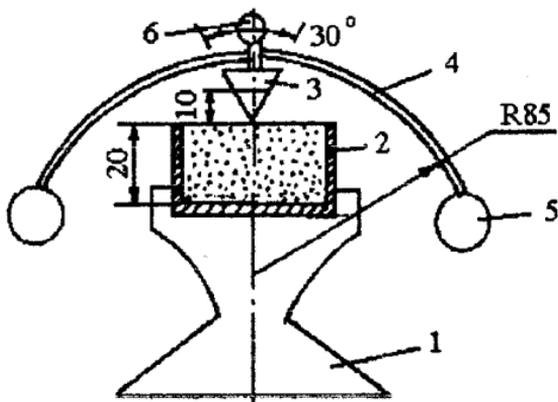


Рис. 20.2. Прибор для определения верхнего предела пластичности глинистых грунтов

20.2. Определение границы текучести

Границу текучести определяют как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой балансирный конус погружается под действием собственного веса за 5 с на глубину 10 мм,

Образец грунта объемом 100 см^3 , находящийся в воздушно-сухом состоянии, растирают в фарфоровой ступке, просеивают сквозь сито с сеткой № 1, увлажняют до состояния густой пасты дистиллированной водой. Подготовленную грунтовую пасту тщательно перемешивают шпателем и небольшими порциями плотно укладывают в цилиндрическую бюксу. Поверхность пасты заглаживают шпателем вровень с краями бюксы.

Балансирный конус, смазанный тонким слоем вазелина, подводят к поверхности грунтовой пасты так, чтобы его острие касалось ее, и плавно отпускают конус, позволяя ему погружаться в пасту под действием собственного веса.

Погружение конуса в пасту в течение 5 с на глубину 10 мм показывает, что грунт имеет влажность, соответствующую границе текучести.

Если конус в течение 5 с погрузился на меньшую глубину, грунтовую пасту извлекают из чашки, присоединяют к оставшейся пасте, добавляют немного дистиллированной воды, тщательно перемешивают и повторяют операции, указанные ранее.

При погружении конуса за 5 с на большую глубину грунтовую пасту из бюксы перекладывают в фарфоровую чашку, слегка под-

сушивают на воздухе, непрерывно перемешивая шпателем, и повторяют операции.

По достижении границы текучести из пасты отбирают пробу массой 15...20 г и определяют влажность грунта весовым методом, изложенным в лаб. раб. № 13 (выражение (13.1)).

20.3. Определение границы раскатывания

Граница раскатывания (пластичности) определяется так же, как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при раскатывании которой в жгут диаметром 3 мм грунт начинает распадаться на кусочки длиной 3...10 мм.

Подготовку грунта производят, как для определения границы текучести, или используют часть грунта, оставшуюся после определения верхнего предела пластичности.

Подготовленную грунтовую пасту тщательно перемешивают, берут небольшой кусочек и с легким нажимом раскатывают ладонью на стеклянной пластинке до образования жгута диаметром 3 мм, длиной не больше ширины ладони. Раскатывание продолжают до тех пор, пока жгут не начнет распадаться по поперечным трещинам на кусочки длиной 3...10 мм.

Кусочки собирают в бюксы, накрываемые крышками. При массе грунта в бюксе 10...15 г определяют влажность по методике, изложенной в лаб. раб. №13. Результаты испытаний заносят в табл. 20.1.

Таблица 20.1

Результаты определения характерных влажностей
и числа пластичности

Характерная влажность	Условное обозначение	Результаты взвешивания			Влажность грунта $W, \%$
		масса пустой бюксы $m_6, г$	масса бюксы с влажным грунтом $m_{вж}, г$	масса бюксы с сухим грунтом $m_c, г$	
Граница текучести	$W_L, \%$				
Граница раскатывания	$W_P, \%$				
Естественная влажность	$\%$				

По полученным значениям границ текучести и раскатывания вычисляют число пластичности из выражения

$$I_P = W_L - W_P, \% \quad (20.1)$$

Зная характерные влажности W_L и W_P и естественную влажность W , можно определить *консистенцию грунта*, которая по международной классификации характеризуется показателем текучести, определяемым по формуле

$$I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P} \quad (20.2)$$

Показатель текучести I_L измеряется в долях единицы. Полученное значение этого показателя сравниваем со значениями в табл. 7.7 и определяем консистенцию грунта. При $I_L < 0$ супесь находится в твердом состоянии, при $0 \leq I_L \leq 1$ – в пластичном, при $I_L > 1$ – в текучем.

Задание

1. Определить число пластичности глинистого грунта.
2. Определить консистенцию грунта.
3. Определить наименование грунта и состояние, характеризующее консистенцией, на основании лабораторных испытаний.
Численные данные принять согласно варианту по табл. 20.2.
Решение проводится в следующей последовательности.
- 1). Суммируя проценты содержания частиц, определить количество частиц, %:
гравийных;
песчаных;
пылеватых;
глинистых.
- 2). По формуле (20.1) определить число пластичности.
- 3). По содержанию песчаных частиц и значению числа пластичности с использованием табл. 10.2 определить тип грунта.
- 4). По содержанию гравийных частиц и с использованием табл. 7.7 определить вид грунта.
- 5). По формуле (20.2) определить показатель текучести.
- 6). По табл. 7.7 определить консистенцию грунта.

Исходные данные

Показатели		Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Граница текучести W_L		30	31	32	33	34	35	36	37	29	28
Граница раскатывания W_P		18	19	20	21	22	23	24	25	17	16
Естественная влажность W		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Гранулометрический состав	> 10	5			20				10		
	10...2	10			3				2		
	2...1	15			5				18		
	1...0,5	5			10				10		
	0,5...0,1	10			6				7		
	0,1...0,05	10			6				3		
	0,05...0,005	20			40				30		
	< 0,005	25			10				20		

Вопросы для самопроверки

1. Какие виды влажности называются характерными?
2. По каким признакам классифицируются тип и вид глинистых грунтов?

Лабораторная работа № 21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ
ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

Цель работы:

1. Изучение параметров, характеризующих водопроницаемость грунта.
2. Определение коэффициента фильтрации предложенного грунта.

Аппаратура:

Прибор Союздорнии для определения коэффициента фильтрации грунтов, трамбовка для их уплотнения, бюксы, стеклянный стакан, фильтровальная бумага, сито с диаметром отверстий 5 мм, технические весы, разновесы, электрическая плитка.

21.1. Характеристика водопроницаемости грунтов

Водопроницаемостью грунта называется способность пропускать через свою толщу воду, находящуюся под влиянием силы тяжести или под действием гидростатического напора.

Водопроницаемость песчаных и крупнообломочных грунтов зависит от степени однородности их гранулометрического состава, наличия примеси глинистых частиц или органических веществ. Во всех случаях в неоднородных грунтах размер пор значительно меньше, чем в однородных, и, следовательно, их водопроницаемость существенно ниже. Характеристика грунтов по водопроницаемости приведена в табл. 21.1.

Таблица 21.1

Коэффициент фильтрации различных грунтов и характеристика их водопроницаемости (по Н.Н.Маслову)

Грунты	К _ф , м/сут	Характеристика грунтов по водопроницаемости
Глины, монолитные скальные грунты	$5 \cdot 10^{-5}$	практически водонепроницаемые
Суглинки, тяжелые супеси, нетрешиноватые песчаники	до $5 \cdot 10^{-3}$	весьма слабо водопроницаемые
Супеси, слаботрешиноватые глинистые сланцы, песчаники, известняки	до 0,5	слабо водопроницаемые
Пески тонко- и мелкозернистые, трещиноватые скальные грунты	до 5	водопроницаемые
Пески среднезернистые, скальные грунты повышенной трещиноватости	до 50	хорошо водопроницаемые
Галечники, гравелистые пески, сильно-трещиноватые скальные грунты	> 50	сильно водопроницаемые

Движение воды через грунты, даже крупнозернистые, является ламинарным и подчиняется линейному закону фильтрации – закону Дарси

$$W = K_{\phi} \cdot I, \quad (21.1)$$

где W – скорость фильтрации;

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации;

I – градиент напора, представляющий собой отношение потери напора ΔH к длине пути фильтрации L ,

$$I = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_2 - H_1}{L}. \quad (21.2)$$

Водонепроницаемость грунтов количественно характеризуется коэффициентом фильтрации, который представляет собой расход воды в единицу времени через единицу площади поперечного сечения грунта при напорном градиенте, равном единице.

Коэффициент фильтрации песчаного грунта, приведенного к условиям фильтрации при температуре 10°C , вычисляют по формуле

$$K_{10} = \frac{h \cdot 864}{t \cdot T} \cdot \phi \left[\frac{S}{H_0} \right], \quad (21.3)$$

где h – высота образца грунта в трубке, см;

864 – переводной коэффициент из см/с в м/сут;

t – время падения уровня воды, с;

$T = (0,7 + 0,03T_{\phi})$ – температурная поправка к условиям фильтрации воды при температуре 10°C ,

где T_{ϕ} – фактическая температура воды во время опыта, $^{\circ}\text{C}$;

S – наблюдаемое падение уровня воды в пьезометре, отсчитанное от первоначального уровня, см;

H_0 – начальный напор, см;

$\phi \left[\frac{S}{H_0} \right]$ – безразмерный коэффициент, определяемый по табл. 21.2.

Значения $\left[\frac{S}{H_0} \right]$ и $\varphi \left[\frac{S}{H_0} \right]$

$\left[\frac{S}{H_0} \right]$	$\varphi \left[\frac{S}{H_0} \right]$	$\left[\frac{S}{H_0} \right]$	$\varphi \left[\frac{S}{H_0} \right]$	$\left[\frac{S}{H_0} \right]$	$\varphi \left[\frac{S}{H_0} \right]$
0,01	0,010	0,34	0,416	0,67	1,109
0,02	0,020	0,35	0,431	0,68	1,139
0,03	0,030	0,36	0,446	0,69	1,172
0,04	0,040	0,37	0,462	0,70	1,204
0,05	0,051	0,38	0,478	0,71	1,238
0,06	0,062	0,39	0,494	0,72	1,273
0,07	0,073	0,40	0,510	0,73	1,309
0,08	0,083	0,41	0,527	0,74	1,347
0,09	0,094	0,42	0,545	0,75	1,386
0,10	0,105	0,43	0,562	0,76	1,427
0,11	0,117	0,44	0,580	0,77	1,470
0,012	0,128	0,45	0,598	0,78	1,514
0,13	0,139	0,46	0,616	0,79	1,561
0,14	0,151	0,47	0,635	0,80	1,609
0,15	0,163	0,48	0,654	0,81	1,661
0,16	0,174	0,49	0,673	0,82	1,715
0,17	0,186	0,50	0,693	0,83	1,771
0,18	0,196	0,51	0,713	0,84	1,833
0,19	0,210	0,52	0,734	0,85	1,897
0,20	0,223	0,53	0,755	0,86	1,966
0,21	0,236	0,54	0,777	0,87	2,040
0,22	0,248	0,55	0,799	0,88	2,120
0,23	0,261	0,56	0,821	0,89	2,207
0,24	0,274	0,57	0,844	0,90	2,303
0,25	0,288	0,58	0,868	0,91	2,408
0,26	0,301	0,59	0,892	0,92	2,526
0,27	0,315	0,60	0,916	0,93	2,659
0,28	0,329	0,61	0,941	0,94	2,813
0,29	0,346	0,62	0,967	0,95	2,996
0,30	0,357	0,63	0,994	0,96	3,219
0,31	0,371	0,64	1,022	0,97	3,507
0,32	0,385	0,65	1,050	0,98	3,912
0,33	0,400	0,66	1,079	0,99	4,605

Коэффициент фильтрации определяется на образцах грунта нарушенного сложения при максимальной плотности и оптимальной влажности в соответствии с ГОСТ 25584-90 на приборе для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов (рис. 21.1).

В комплект оборудования входят прибор Союздорнии для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов и трамбовка с массой падающего груза 0,5 кг.

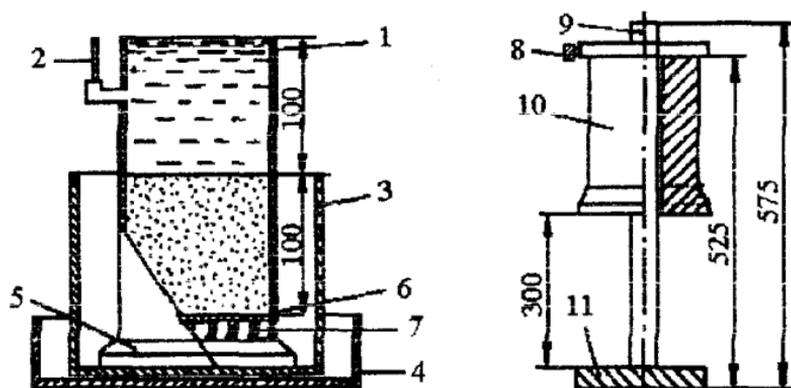


Рис. 21.1. Прибор для определения коэффициента фильтрации грунтов и трамбовка для их уплотнения

Прибор Союздорнии для определения коэффициента фильтрации состоит из следующих основных частей: фильтрационной трубки 1 высотой 220 мм и внутренним диаметром 50,5 мм; пьезометра 2 с делениями от 0 до 50 мм; стакана 3 для создания градиента напора, равного единице; поддона 4; подставки 5 для трубки с прорезями в боковых стенках и отверстиями в днище; сетки латунной 6 с ячейками диаметром 0,25 мм; съемного перфорированного дна 7 с отверстиями диаметром 3 мм.

Трамбовка состоит из следующих основных частей: фиксатора 8; направляющей 9, падающего груза 10, наковальни 11.

21.2. Определение коэффициента фильтрации песчаного грунта

Метод определения коэффициента фильтрации распространяется на песчаные грунты, применяемые в дорожном и аэродромном

строительстве для устройства дренирующих и морозозащитных слоев дорожной и аэродромной одежды.

Для испытания грунт высушивают до воздушно-сухого состояния и просеивают через сито с отверстиями 5 мм. Определяют гигроскопическую влажность грунта, находящегося в поддоне сита, методом высушивания до постоянной массы по ГОСТ 5180-84 согласно методике, изложенной в лаб. раб. № 13.

Из поддона сита отбирают пробу массой не менее 450 г, помещают в отдельную емкость, увлажняют с помощью мерного цилиндра. Ориентировочное количество воды – 35...40 мл.

Уточненное количество воды, необходимое для увлажнения, получают из выражения

$$Q = \frac{m(W_{opt} - W_g)}{\rho_B(1 - W_g)}, \quad (21.4)$$

где m – высота пробы грунта, г;

W_{opt} – оптимальная влажность грунта, доли единицы;

W_g – гигроскопическая влажность грунта, доли единицы;

ρ_B – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Из увлажненного грунта отбирают пробу массой 15...20 г и определяют весовым методом влажность (лаб. раб. № 13), при которой производилось уплотнение грунта.

Из подготовленной пробы влажного грунта отбирают навеску массой m для помещения в фильтрационную трубку прибора. Массу навески m определяют по формуле

$$m = V \cdot \rho_{dmax}(1 + W_{opt}), \quad (21.5)$$

где V – объем грунта в трубке, равный 200 см³;

ρ_{dmax} – максимальная плотность сухого грунта, установленная по ГОСТ 22733-77 (лаб. раб. № 16).

Трубку прибора заполняют грунтом в следующем порядке:

1. На съемное перфорированное дно с латунной сеткой укладывают кружок фильтровальной бумаги, смоченной водой, после чего дно соединяют с трубкой и устанавливают на жесткое массивное основание.

2. Навеску влажного грунта массой m делят на три порции, которые последовательно укладывают в трубку, уплотняя каждую из них при помощи трамбовки 40 ударами груза с высоты 300 мм; перед укладкой поверхность каждой предыдущей уплотненной порции взрыхляют ножом на глубину 1...2 мм.

3. Измеряют линейкой расстояние от верхнего края трубки до поверхности уплотненного грунта; высота грунта в трубке должна составлять (100 ± 1) мм.

На поверхность грунта укладывают слой гравия (фракция 2...5 мм) толщиной 5...10 мм. Трубку с грунтом устанавливают на подставку, а затем – в стакан, который постепенно наполняют водой до верха. Стакан с трубкой помещают в емкость для воды и заполняют ее до уровня выше слоя гравия на 10...15 мм. После появления воды в трубке под слоем гравия доливают воду в верхнюю ее часть примерно на треть высоты. Извлекают стакан с трубкой из емкости и устанавливают его на поддон. В этом случае начальный градиент напора в образце грунта равен единице.

Доливают воду в трубку не менее чем на 5 мм выше нулевого деления пьезометра. При вытеснении воды через перфорированное дно с помощью секундомера определяют время падения уровня воды в пьезометре от 0 до 50 мм. Измерения повторяют не менее четырех раз, каждый раз доливая воду в трубку на 5 мм выше нулевого деления. При времени падения уровня воды в пьезометре более 2 мин допускается уменьшать высоту падения уровня, более 10 мин – допускается проводить испытание при начальном градиенте напора, равном двум. В этом случае трубку с подставкой извлекают из стакана на поддон, в котором отсутствует вода. Не допускается снижение уровня воды в трубке ниже слоя гравия.

Коэффициент фильтрации песчаного грунта K_{10} , м/сут, приведенный к условиям фильтрации при температуре 10°C, вычисляют по формуле (21.3).

Результаты лабораторных испытаний заносят в табл. 21.3.

Результаты лабораторных испытаний

Масса грунта, прошедшего через сито, т, г	Ориентировочное количество добавленной воды, мл	Оптимальная влажность грунта, г				Время падения уровня воды, т, с	Фактическая температура воды, T _ф , °C	Падение уровня в пьезометре S, см	Начальный напор Н ₀ , см	$\varphi \left[\frac{S}{H_0} \right]$	К ₁₀ , м/сут
		масса пустой бюксы, т _б	масса бюксы с влажным грунтом, т _{вл}	масса бюксы с сухим грунтом, т _с	влажность грунта W, %						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Задание

1. Определить коэффициент фильтрации песчаного грунта.
2. Оценить грунт по водопроницаемости на основании результатов лабораторных испытаний. Исходные данные для расчета представлены в табл. 21.4.

Таблица 21.4

Исходные данные

Показатели лабораторного анализа	Единицы измерения	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Начальный напор	H ₀ , см	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Наблюдаемое падение уровня воды в пьезометре	S ₀ , см	0,05	0,18	0,24	0,28	0,3	0,3	0,28	0,24	0,18	0,095
Фактическая температура воды	T _ф , °C	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Время падения уровня воды	t, с	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600

Решение осуществляется в следующей последовательности.

1). Определить безразмерный коэффициент по табл. 21.2 на основании начального напора и падения уровня воды в пьезометре.

2). По формуле (21.3) определить коэффициент фильтрации песчаного грунта, приведенного к условиям фильтрации при температуре 10°C .

3). По табл. 21.1 определить характеристику грунта по водопроницаемости.

4). По табл. 21.1 определить тип исследуемого грунта.

Вопросы для самопроверки

1. На основании каких характеристик оценивается водопроницаемость грунта?

2. Какому закону подчиняется фильтрационное движение грунтовых вод в порах грунта?

Лабораторная работа № 22

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМОКАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Цель работы:

1. Изучение водопрочностных свойств грунтов.
2. Ознакомление с методикой определения скорости размокания грунтов.
3. Определение скорости размокания грунта нарушенной структуры.

Аппаратура:

Сито с отверстиями 2 мм, бюксы, технические весы, разновесы, ПРГ, лабораторный нож, электрическая плитка, поршень для выдавливания грунта.

22.1. Характеристика водопрочности грунтов

Под *водопрочностью* грунтов понимают их способность сохранять механическую прочность и устойчивость при взаимодействии с водой. Это взаимодействие может быть статическим и гидродинамическим. При статическом взаимодействии воды и грунта проис-

ходят явления набухания и размокания, при гидродинамическом – размыв грунта. Следовательно, водопрочность грунтов можно характеризовать по их размокаемости и размываемости.

Под *размокаемостью* грунтов понимают их способность при взаимодействии со спокойной водой терять связность и превращаться в рыхлую бесформенную массу с частичной или полной потерей несущей способности. Это явление обусловлено образованием вокруг минеральных частиц гидратных оболочек, полностью устраняющих внутренние структурные связи. Способностью к размоканию обладают дисперсные грунты, а также твердые осадочные породы с растворимым или глинистым цементом.

Показателями размокаемости являются время и характер размокания. *Время размокания* – это время, в течение которого образец грунта, помещенный в воду, распадается на структурные элементы. *Характер размокания* образца грунта – крупные или мелкие комочки, пыль и т.д.

Размокаемость глинистых грунтов зависит от их состава, начальной влажности, наличия цементационных связей, водостойкости, степени выветриваемости, нарушенности естественной структуры, состава обменных катионов и т.д.

Определение скорости размокания грунтов представляет собой испытание грунтов на устойчивость под водой. Образцы грунтов, находящиеся в воде под нагрузкой, размокают быстрее, чем образцы, не испытывавшие давления.

Величина размокаемости используется при оценке явлений, возникающих при разработке берегов водохранилищ, устойчивости откосов каналов, стенок котлованов и других земляных сооружений.

Определение размокаемости производится на образцах с нарушенной и ненарушенной структурой. Для этого применяется прибор для определения размокаемости грунта – ПРГ (рис. 22.1). Прибор состоит из прозрачной пластмассовой или стеклянной емкости 1, коромысла 2, стрелки 3, нити 4, подставки 5 и режущего кольца 6.

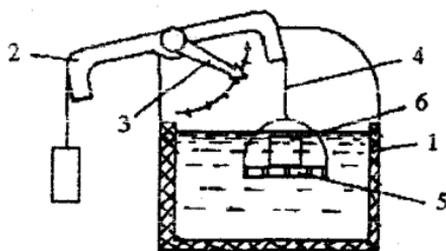


Рис. 22.1. Прибор для определения размокания грунта

22.2. Определение скорости размокания грунта

1. Грунт ненарушенной структуры.

Из монолита горной породы в зависимости от наличия кристаллических связей вырезают кубический образец 50×50×50 мм или с помощью режущего кольца диаметром и высотой 30 мм – цилиндрический. Излишки породы срезают ножом вровень с краями цилиндра. Одновременно из того же монолита отбирают пробу для определения естественной влажности (лаб. раб. № 13). Образец осторожно выдавливают из режущего кольца с помощью поршня.

Регулируют прибор ПРГ, для чего в емкость наливают воду до отметки на внешней стороне корпуса и опускают в нее сетку, подвешенную на нити к коромыслу. Стрелку коромысла устанавливают в нулевое положение. Сетку с отверстиями 10 мм² извлекают из воды, ставят на край емкости, устанавливают на нее кубик или цилиндр породы и осторожно опускают в воду. Первоначальное положение стрелки на шкале, нанесенной на боковую грань емкости, записывают, числовые отметки фиксируют через определенные промежутки времени (2, 5, 10, 15, 20, 25, 30 мин и т.д.) до полного распада грунта, т.е. когда стрелка установится на нулевое деление. Результаты испытаний заносят в табл. 22.1.

Таблица 22.1

Результаты определения скорости распада грунта

№ образца грунта	Первоначальная влажность грунта				Время, прошедшее с начала опыта	Отметки по шкале		Процент распада грунта
	масса пустой бюксы мб, г	масса бюксы с влажным грунтом мвл, г	масса бюксы с сухим грунтом мс, г	влажность грунта W, %		начальная	последующая	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

По ним определяют числовую характеристику скорости распада грунта под водой. Процент распада находят по формуле

$$П = \frac{Г - Р}{Г} \cdot 100, \%,$$

где P – процент распада, %;

G – начальная числовая отметка;

P – числовая отметка в процессе размокания.

По результатам испытаний строят график, где по оси абсцисс откладывают время, прошедшее с начала эксперимента, по оси ординат – процент распада грунта.

2. Грунт нарушенной структуры.

Из грунта, находящегося в воздушно-сухом состоянии, методами, указанными в лаб. раб. № 10, отбирают навеску массой 800 г. Взятую пробу пропускают через сито с диаметром отверстий 2 мм. Из прошедшего через сито грунта отбирают навеску массой 500 г, добавляют начальное количество воды – 40 мл, тщательно перемешивают до однородного состояния. Из грунта полученной консистенции отбирают навеску массой 15...20 г и весовым методом определяют его влажность (лаб. раб. № 13).

Этим же грунтом заполняют цилиндр прибора высотой и диаметром 30 мм, уплотняют его с помощью поршня, лабораторным ножом зачищают верхнюю и нижнюю кромки образца и в таком состоянии выдерживают в течение 5...10 мин, затем с помощью поршня осторожно выдавливают из кольца и помещают на сетку прибора.

Дальнейшие измерения производят так же, как для грунта ненарушенной структуры (см. пункт 1).

После определения скорости распада грунта начальной консистенции увеличивают влажность грунта, добавив еще 20 мл воды. Весовым методом определяют точное ее содержание и повторяют испытания. Всего проводится три цикла таких испытаний. На графике зависимости процента распада грунта от времени должны быть изображены три кривые, имеющие различную начальную влажность.

Задание

1. Определить скорость размокания грунта ненарушенной и нарушенной структуры.

2. Построить графики зависимости процента распада грунта от времени.

Вопросы для самопроверки

1. Как влияет начальная влажность грунта на скорость его размокания?
2. Сравните размокание грунта у различных типов песчаных и глинистых грунтов.

Лабораторная работа № 23

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБУХАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Цель работы:

1. Изучение показателей, характеризующих набухание грунта.
2. Определение величины набухания глинистого грунта.

Аппаратура:

Компрессионный прибор, рабочее кольцо диаметром 71 мм и высотой 20 мм, индикаторы часового типа, гири, предметное стекло, шпатель, сито с диаметром отверстий 2 мм, стеклянный стакан, технические весы, разновесы, бюксы, электрическая плитка, фарфоровая ступка, пестик.

23.1. Характеристика грунтов по набуханию

Под *набуханием* грунта понимают увеличение его объема при увлажнении. Набухание присуще глинистым грунтам и связано с гидрофильностью глинистых минералов, слагающих связные грунты, и их большой удельной поверхностью.

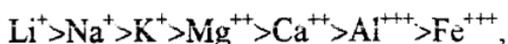
Набухание происходит в результате гидратации грунта. Оболочки связанной воды, образующиеся вокруг коллоидных и глинистых частиц в результате увлажнения, уменьшают силы сцепления между ними, раздвигают их и этим вызывают увеличение объема грунта. Как правило, тяжелые глинистые грунты имеют максимальную величину набухания, а супеси и пески – очень малую.

Набухание зависит от минералогического и гранулометрического состава грунта, состава обменных ионов, сложения грунта, соот-

ношения между концентрацией растворимых солей в поровом растворе породы и в свободной воде, воздействующей на нее.

Из глинистых минералов наибольшее набухание свойственно минералам группы монтмориллонита (лаб. раб. № 10), наименьшее – минералам группы каолинита. Чем выше дисперсность частиц, слагающих грунт, тем больше его набухание.

По способности увеличивать набухание наиболее часто встречающиеся в дисперсных грунтах катионы можно расположить в следующей последовательности:



т.е. наибольшей способностью к набуханию обладают одновалентные катионы, наименьшей – трехвалентные.

В глинистых грунтах с нарушенной структурой набухание больше, чем с ненарушенной.

Наибольшее набухание происходит в дистиллированной воде; по мере увеличения в грунте концентрации солей порового раствора и воды набухание уменьшается.

Показателями, характеризующими набухание грунта, являются (ГОСТ 24143-80):

свободное набухание ϵ_{sw} ;

набухание под нагрузкой ϵ_{p} ;

давление набухания P_{ϵ} ;

влажность набухания W_{ϵ} .

Величину *свободного набухания* определяют путем испытания одиночного образца в условиях, исключающих возможность бокового расширения при насыщении грунта водой. Для этого применяется прибор для определения свободного набухания грунтов (ПНГ).

Показатели *набухания грунтов под нагрузкой* и *давления набухания* определяются в компрессионных приборах (рис. 23.1). Прибор состоит из рабочего кольца 1 с внутренним диаметром более 71 мм и высотой более 20 мм с соотношением высоты к диаметру 1:3,5; перфорированного дна 2; перфорированного штампа 3; корпуса 4, состоящего из двух разъемных частей и имеющего систему дренажных выточек в нижней части; штатива 5; индикатора часового типа 6.

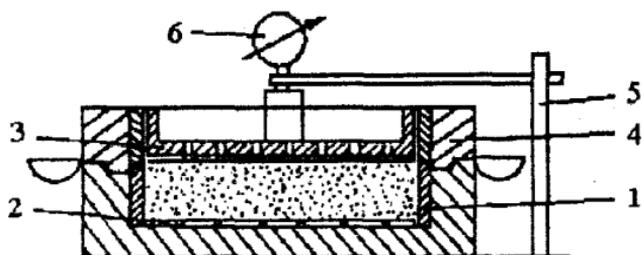


Рис. 23.1. Схема применения компрессионного прибора для измерения свободного набухания

23.2. Определение набухания глинистых пород

Грунт, находящийся в воздушно-сухом состоянии, просеивают через сито с отверстиями 2 мм. Комочки глины, оставшиеся на сите, переносят в фарфоровую ступку и растирают пестиком с резиновой насадкой, затем опять пропускают через сито. Из просеянного грунта отбирают навеску массой 500 г, добавляют дистиллированную воду в количестве 50 мл, тщательно перемешивают до получения однородной массы; из увлажненного грунта формируют лепешку, в которую вдавливают рабочее кольцо компрессионного прибора. Излишек грунта срезают лабораторным ножом и заглаживают вровень с краями кольца.

Компрессионный прибор разбирают, на перфорированное дно и сверху на образец укладывают по кружку мокрой фильтровальной бумаги, и опять собирают прибор.

На штативе закрепляют индикатор часового типа, ножку которого устанавливают на центральном стержне штампа. Записывают начальное положение стрелки индикатора.

Штуцер выходного отверстия дренажной системы корпуса соединяют с помощью резинового шланга со стаканом воды. Сверху в компрессионный прибор наливают на штамп дистиллированной воды, создавая пленку воды толщиной 1...2 мм. За ней постоянно ведут наблюдение, и как только она начинает исчезать, подливают воду на штамп. Через 5, 10, 20, 30 и т.д. (до 60) мин с индикатора снимают показания. Началом набухания считается относительная деформация, превышающая 0,001.

Результаты измерений заносят в табл. 23.1.

Результаты определения величины
и влажности набухания грунтов

Вре- мя от на- чала испы- та- ний t , мин	Показатели индикатора		Аб- со- лю- тная де- фор- ма- ция Δh , мм	Вы- сота об- раз- ца h , мм	Величи- на отно- ситель- ной дефор- мации δ , мм	Влажность грунта после набухания			
	на- чаль- ное	по- сле- дую- щее				масса пустой бюксы m_6 , г	масса бюксы с влаж- ным грун- том $m_{вл}$, г	масса бюк- сы с сухим грун- том m_c , г	влаж- ность грун- та W , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

После завершения набухания образца грунта необходимо слить воду из прибора, разобрать его, отобрать из грунта, находящегося в кольце, навеску в 15...20 г и определить его влажность, соответствующую *величине максимального набухания*.

По результатам испытаний вычисляют величину абсолютной деформации грунта как разность конечных и начальных показателей индикаторов:

$$\Delta h = n_1 - n_0,$$

где Δh – абсолютная деформация грунта, мм;

n_1 – конечное показание индикатора, мм;

n_0 – начальное показание индикатора, мм.

Затем определяют величину относительного набухания образца

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

где h – первоначальная высота образца, мм.

Задание

1. Определить набухание глинистой породы.
2. Сравнить величину относительного набухания грунта с данными, приведенными в табл. 7.7, и определить категорию грунта по степени набухаемости.

Вопросы для самопроверки

1. Какие показатели характеризуют набухание грунта?
2. Чем отличается свободное набухание от набухания грунта под нагрузкой?

Лабораторная работа № 24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСАДКИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Цель работы:

1. Изучение показателей, характеризующих усадку грунта.
2. Определение величины усадки глинистого грунта.
3. Расчет влажности на пределе усадки.

Аппаратура:

Рабочее кольцо компрессионного прибора внутренним диаметром более 71 мм и высотой более 20 мм с соотношением высоты к диаметру 1:3,5; предметное стекло, покрытое тонким ровным слоем парафина; шпатель; штангенциркуль с погрешностью измерения 0,05 мм; микрометр; технические весы, разновесы; сито с диаметром отверстий 2 мм; емкость с крышкой объемом 1 л для сушки образцов.

24.1. Характеристика грунтов по усадке

Усадкой грунта называется уменьшение его объема при высыхании. Это явление противоположно набуханию. В результате грунт становится более плотным, а после высыхания – твердым. Усадка – сложный физико-химический процесс, при котором происходит не только механическое уплотнение грунта, но и перераспределение его химических компонентов, т.е. изменение характера структурных связей между частицами.

Усадка грунта протекает лишь до определенной плотности, при которой наступает равновесие между силами, возникающими при усадке и стремящимися сблизить частицы, и силами сопротивления

структуры грунта. Поэтому в качестве показателя усадки глинистого грунта часто используют величину влажности на пределе усадки и соответствующий ей коэффициент пористости, характеризующий ту плотность, которую может приобрести данный грунт в результате усадки.

Величина усадки зависит от начальной влажности грунта, количества и химико-минералогического состава глинистых частиц и наличия более крупных фракций. Глины и суглинки дают большую величину усадки, супеси – крайне малую.

Показателями, характеризующими усадку грунта, являются (ГОСТ 24143-80):

- 1) величина усадки по высоте ϵ_{sh} ;
- 2) величина усадки по диаметру ϵ_{sd} ;
- 3) величина усадки по объему ϵ_{sv} ;
- 4) влажность на пределе усадки W_e .

Характеристики усадки грунта определяются в условиях свободной трехосной деформации при высыхании грунта.

При усадке испарение воды из образца грунта не должно вызывать образования усадочных трещин.

24.2. Определение величины усадки глинистого грунта

Грунт в воздушно-сухом состоянии просеивают через сито с размером отверстий 5 мм по методике, описанной в лаб. раб. № 23.

Из просеянной массы отбирают навеску грунта 500 г, помещают в отдельную емкость, увлажняют и на приборе – балансирном конусе А.М.Васильева определяют границу текучести (лаб. раб. № 20). Грунт из балансирного конуса возвращают к общей навеске.

Зная влажность, соответствующую границе текучести, рассчитывают 10% от этой влажности, отмеряют нужное количество воды в мерном стакане и добавляют к грунту для его увлажнения. Общая влажность грунта становится больше влажности на границе текучести на 10%.

Взвешивают предметное стекло с точностью до $\pm 0,01$ г. Грунт тщательно перемешивают шпателем и заполняют рабочее кольцо компрессионного прибора, предварительно смазанного тонким слоем технического вазелина. Образование пустот при этом не допускается.

Приготовленный образец перекалывают на предметное стекло, покрытое тонким слоем парафина, взвешивают и помещают в емкость с крышкой. За начальные размеры образца принимают размеры кольца по высоте и внутреннему диаметру.

Образец грунта, не вынимая из цилиндра, высушивают на воздухе в течение 1...2 суток. По мере подсыхания он дает усадку и отходит от стенок. Тогда кольцо удаляют и продолжают сушить один грунт.

Испытание усадки проводится в три этапа.

На первом и втором этапе измерения высоты и диаметра производятся не реже двух раз в сутки. Критерием завершения испытаний на первом этапе является отсутствие изменений линейных размеров образца в двух последовательных измерениях.

На первом этапе образец подсушивают в емкости с крышкой, на втором – на воздухе, на третьем – в термостате при температуре $105 \pm 2^\circ\text{C}$ до постоянной массы; в конце испытания производят контрольное измерение линейных размеров образца грунта.

Высоту и диаметр образца определяют с точностью до $\pm 0,05$ мм. При каждом измерении производят взвешивание грунта.

Результаты измерений заносят в табл. 24.1.

Таблица 24.1

Результаты измерений усадки грунта

Время, прошедшее от начала испытания, мин	Параметры измерения грунта, см			Влажность грунта в момент измерений			
	высота образца h	диаметр образца d	объем грунта V	масса пустой бюксы m_0 , г	масса бюксы с влажным грунтом $m_{вл}$, г	масса бюксы с сухим грунтом m_c , г	влажность грунта W
1	2	3	4	5	6	7	8

По результатам испытаний усадки следует определить:

1) объем грунта на каждый момент измерения по формуле

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}, \text{ см}^3; \quad (24.1)$$

2) влажность грунта на каждый момент измерения в долях единицы по формуле

$$W = \frac{m_{ВЛ} - m_c}{m_c - m_б}; \quad (24.2)$$

3) усадку по высоте, диаметру и объему по формулам

$$\begin{aligned} \varepsilon_{Sh} &= \frac{h - h_K}{h}; \\ \varepsilon_{Sd} &= \frac{d - d_K}{d}; \\ \varepsilon_{SV} &= \frac{V - V_K}{V}, \end{aligned} \quad (24.3)$$

где h, d, V – начальные значения высоты, диаметра и объема образца грунта;

h_K, d_K, V_K – конечные значения тех же показателей.

По величине объема и влажности на каждый момент времени строят график зависимости изменения объема образца от влажности $V = f(W)$ (рис. 24.1).

Для правильного изображения зависимости следует использовать следующие масштабы:

для влажности (по горизонтали): 0,05 – 10 мм;

для объема (по вертикали): 2 см³ – 10 мм.

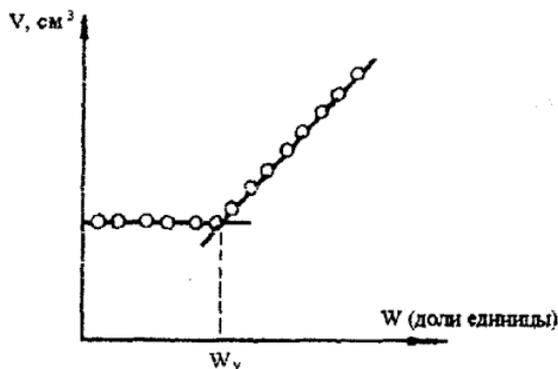


Рис. 24.1. График зависимости изменения объема образца от изменения влажности в процессе усадки

За величину влажности на пределе усадки W_{ϵ} принимается влажность, соответствующая точке перегиба графика $V = f(W)$.

Задание

1. Определить величину усадки глинистого грунта.
2. Построить график зависимости изменения объема образца от влажности.
3. Определить влажность на пределе усадки.

Вопросы для самопроверки

1. Какие показатели характеризуют усадку грунта?
2. Как определить влажность на границе усадки?

Лабораторная работа № 25

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ ГРУНТОВЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы:

1. Изучение показателей, характеризующих физико-химическую природу грунтовых вод.
2. Определение кислотности предлагаемых грунтов.

Аппаратура:

Универсальные индикаторные бумаги рН 0-12, сито с отверстиями диаметром 1 мм, стакан емкостью 500 см³, пипетка.

25.1. Характеристика жидкой фазы грунтов

Вода, заполняющая промежутки между твердыми минеральными частицами, никогда не бывает химически чистой. В ней могут быть растворены минеральные соли, углекислоты, а также присутствовать коллоидно-раздробленные вещества. Содержание растворимых солей и кислот в жидкой фазе резко влияет на степень гидратации, дисперсность и другие свойства глинистой части грунтов.

Состав жидкой фазы зависит от процессов выветривания и почвообразования. Содержание растворимых солей в грунтовых водах постепенно увеличивается по мере продвижения с севера на юг.

Важнейшим показателем физико-химической природы грунтовых вод является показатель концентрации водородных ионов – рН.

Показатель рН характеризует соотношение свободных ионов H^{+1} и OH^{-1} . В зависимости от этого характер реакции будет следующим:

нейтральная реакция $H^{+1} = OH^{-1}$ при рН = 7;

щелочная реакция $H^{+1} < OH^{-1}$ при рН > 7;

кислая реакция $H^{+1} > OH^{-1}$ при рН < 7.

В зависимости от количества и состава растворенных веществ рН грунтовых вод может изменяться от 1 до 13.

Наличие растворимых солей в жидкой фазе грунта оказывает заметное влияние на процесс промерзания и оттаивания грунтов, – например, понижает температуру замерзания воды до $-1,5^{\circ}C$.

Для определения кислотности грунтовых растворов применяют универсальные индикаторные бумаги рН 0-12, на футляре которых нанесена цветная шкала, обозначающая степень кислотности по окраске индикатора (рис. 25.1). Выпускаемые бумажные индикаторы при воздействии с водным раствором окрашиваются в различные тона: фиолетовые указывают на щелочную реакцию раствора, оранжево-желтые – на кислую.



Рис. 25.1. Шкала для определения кислотности грунтового раствора

25.2. Определение кислотности грунтовых растворов

Пробу грунта высушивают до воздушно-сухого состояния, для чего грунт с естественной влажностью в количестве 1000 г расстилают тонким слоем на пленке или бумаге на открытом воздухе. Подсушивание сопровождается периодическим перемешиванием и выравниванием в тонкий слой.

Из высушенного грунта методом квартования отбирают пробу массой 200 г и просеивают через сито с отверстиями 1 мм. Из грунта, находящегося в поддоне сита, отбирают навеску массой 100 г.

Навеску грунта массой 100 г помещают в стакан емкостью 500 см³, наливают 250 мл дистиллированной воды (рН = 6,6...6,8) и перемешивают, после чего суспензию отстаивают. Пипеткой отбирают прозрачный раствор для определения реакции грунта, опускают в него индикаторную бумагу, по изменению ее окраски определяют величину рН.

Результаты испытаний заносят в табл. 25.1.

Таблица 25.1

Результаты определения кислотности грунта

№ грунта	Место отбора пробы грунта	Вид грунта, определенный визуальным методом	Время отстаивания суспензии	Цвет индикаторной бумаги	Кислотность грунтового раствора
1	2	3	4	5	6

Задание

Определить кислотность грунтового раствора.

Вопросы для самопроверки

1. Что характеризует водородный показатель грунтов?
2. Какие значения водородного показателя характерны для кислой и щелочной среды?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ГРУНТЕ

Цель работы:

1. Изучение методов определения органических веществ в грунтах.
2. Определение содержания растительных остатков в грунте сухим и мокрым способами.

Аппаратура:

Лабораторный микроскоп, увеличительное стекло, пинцет, предметное стекло, песчаный шкаф, стеклянный стакан, шпатель, фарфоровые чашки и ступка с пестиком, сита с сетками № 1 и № 0,25.

26.1. Методы определения органических веществ в грунте

При инженерно-геологическом изучении песчаных и особенно глинистых пород весьма важно знать содержание в них органических веществ, влияющих на их физические, водные и механические свойства. С увеличением содержания, повышением степени разложения этих веществ заметно усиливаются коллоидные свойства пород, повышается их гидрофобность, влагоемкость, деформируемость, снижается прочность. Поэтому при содержании в песчаных породах растительных остатков от 3 до 10%, а в глинистых – от 5 до 10% обязательно отмечают их присутствие. Породы, содержащие от 10 до 60% органики, называют *гумусированными*, или *зоторфованными*. Породы, содержащие ее более 60%, относят к *торфам*.

Для определения содержания органических веществ в грунте надлежит установить раздельно количество растительных остатков и гумуса.

Растительные остатки – это неразложившиеся механические включения растений.

Гумус – сложный агрегат темноокрашенных аморфных продуктов, преимущественно биохимического разложения отмерших остатков организмов.

Растительные остатки выделяются из грунта *сухим* или *мокрым* способом, после чего определяется их количество.

Для установления количества гумуса необходимо определить содержание углерода разложившихся органических веществ в грунте – органического углерода. Для этого применяют методы: *оксидометрический*, основанный на окислении органического вещества с последующим титрованием раствором соли Мора, и *сухого сжигания*, основанный на сжигании навески в потоке кислорода при температуре 950...1000°C до прекращения выделения углекислого газа. Оксидометрический метод применяется для определения органического углерода в песчаных и глинистых грунтах, содержащих менее 10% гумуса, метод сухого сжигания – в грунтах морского, болотного и озерного происхождения.

26.2. Определение растительных остатков

1. Выделение растительных остатков сухим способом.

Растительные остатки выделяют из средней пробы грунта воздушно-сухого состояния и определяют их количество в процентах (ГОСТ 23740-79).

Для проведения испытаний отбирают пробу грунта и доводят ее до воздушно-сухого состояния. Из сухого грунта методом квартования (лаб. раб. № 10) отбирают среднюю пробу массой не менее 100 г, переносят в фарфоровую ступку и пестиком с резиновым наконечником растирают до размеров агрегатов 3...5 мм. Подготовленный грунт тщательно перемешивают и тем же методом отбирают пробу массой не менее 25 г. Одновременно отбирают 15...20 г грунта для определения гигроскопической влажности (лаб. раб. №13).

Взятую пробу (25 г) помещают на стекло с подложенной под него белой бумагой (для фона). Растительные остатки отбирают с помощью острого предмета (заточенного карандаша или пинцета), раздавливая комочки грунта, переносят на чашку технических весов и взвешивают с точностью до 0,01 г.

Результаты измерений заносят в табл. 26.1.

Гигроскопическую влажность определяют из выражения (13.1).

Для пересчета воздушно-сухой навески на сухую применяют коэффициент

$$K = \frac{100 - W_g}{100}, \quad (26.1)$$

где W_g – гигроскопическая влажность в процентах.

Результаты определения растительных остатков сухим способом

Масса воздушно-сухого грунта m_V , г	Масса растительных остатков m_{om} , г	Измерение гигроскопической влажности, г				К	m_S , г	$I_{от}$, %
		масса пустой бюксы m_6 , г	масса бюксы с влажным грунтом $m_{вд}$, г	масса бюксы с сухим грунтом m_c , г	влажность грунта W , %			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Определяют массу сухого грунта

$$m_S = m_V \cdot K, \text{ г}, \quad (26.2)$$

где m_V – масса навески грунта в воздушно-сухом состоянии, г.

Количество растительных остатков в процентах вычисляют по формуле

$$I_{от} = \frac{m_{om}}{m_S} \cdot 100, \quad (26.3)$$

где m_{om} – масса сухих растительных остатков, г.

2. Выделение растительных остатков мокрым способом.

Для ускорения процесса удаления растительных остатков из грунта и при больших количествах этих остатков следует применять отмучивание их в водопроводной воде по следующей методике.

Взвешивают чистую пустую фарфоровую чашку. Пробу, отобранную по методике, изложенной в пункте 1, массой приблизительно в 25 г высыпают в чашку и взвешивают. Одновременно отбирают навеску для определения гигроскопической влажности. Грунт в чашке смачивают, растирают пестиком с резиновым наконечником так, чтобы не повредить растительные остатки, заливают водой и тщательно перемешивают. Полученную суспензию сливают вместе с глинистыми частицами через сито с сеткой № 1 в течение 5...8 с в большую фарфоровую чашку, следя, чтобы на сито не по-

пал песок. Операция повторяется до полной отмывки песка в чашке. Растительные остатки на сите отмывают от глинистых частиц и переносят во взвешенную чашку. Глинистые частицы в большой фарфоровой чашке, прошедшие сквозь сито с сеткой № 1, взбалтывают и выливают через сито с сеткой № 0,25 в другую чашку. Растительные остатки, оставшиеся на ситах с сетками № 1 и № 0,25, соединяют в одной чашке, которую помещают на песчаную баню, где происходит выпаривание воды. Выделенные песчаные, глинистые частицы и растительные остатки высушивают в сушильном шкафу до постоянного веса при температуре 100...105°C и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

Результаты испытаний заносят в табл. 26.2.

Таблица 26.2

Результаты определения содержания растительных остатков
мокрым способом

Результаты взвешивания воздушно-сухого грунта			Гигроскопическая влажность $W_r, \%$	К	Масса сухо-го грунта $m_{s1}, г$	Масса высушенных компонентов, г				$I_{от}, \%$
масса фарфоровой чашки $m_{\phi}, г$	масса чашки с грунтом $m_{\phi r}, г$	масса навески грунта $m_v, г$				растительных остатков $m_{отп}, г$	песка $m_{п}, г$	глины $m_{г}, г$	сухого грунта $m_{s2}, г$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Массу навески грунта в воздушно-сухом состоянии вычисляют, исходя из массы пустой фарфоровой чашки и чашки с грунтом, по формуле

$$m_v = m_{\phi r} - m_{\phi}, г, \quad (26.4)$$

где $m_{\phi r}$ — масса чашки с грунтом, г;

m_{ϕ} — масса чашки, г.

Гигроскопическую влажность вычисляют по формуле (13.1) на основании данных из в табл. 26.2.

Коэффициент пересчета грунта в воздушно-сухом состоянии на сухой грунт вычисляют по формуле (26.1).

Массу сухого грунта m_{S1} определяют по формуле (26.2).

Масса того же сухого грунта, определенная на основании высушенных компонентов, m_{S2} может быть получена из выражения

$$m_{S2} = m_{П} + m_{Г}, \text{ г}, \quad (26.5)$$

где $m_{П}$ – масса сухого песка, г;

$m_{Г}$ – масса сухой глины, г.

Разница между m_{S1} и m_{S2} не должна составлять более 5%.

Количество растительных остатков вычисляют по формуле (26.3).

Задание

1. Определить количество растительных остатков сухим способом.
2. Определить количество растительных остатков мокрым способом.
3. Оценить содержание растительных остатков в грунте в соответствии с СТБ 943-93.

Вопросы для самопроверки

1. Какие методы применяются для определения гумуса в грунтах, содержащих его более и менее 10%?
2. Чем отличается мокрый способ определения растительных остатков от сухого?

Лабораторная работа № 27

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ОБЩЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

Цель работы:

1. Изучение деформационных свойств грунтов.
2. Ознакомление с устройством рычажного пресса.
3. Определение модуля деформации методом испытания грунта штампом.

Аппаратура:

Сито с диаметром отверстий 2 мм, стеклянный стакан, шпатель, лабораторный нож, технические весы, разновесы, сушильный шкаф, индикаторы, гири, бюксы, рычажный пресс.

27.1. Механические свойства горных пород

Механическими называются такие свойства горных пород, которые определяют их поведение под воздействием внешних усилий и проявляются в сопротивлении разрушению и деформированию.

Свойство горных пород воспринимать в определенных пределах и условиях нагрузки, не разрушаясь, называется *прочностью*.

Изменение формы сложения и объема горных пород под нагрузкой называется *деформацией*.

Деформация может изменяться по абсолютной и относительной величине, быть обратимой либо необратимой, развиваться мгновенно или медленно во времени. Поэтому при оценке механических свойств горных пород необходимо исследовать определенные зависимости, характеризующие закономерности возникновения деформаций и изменения прочности.

Скальные породы обладают упругими свойствами, полускальные – частично упругими. Рыхлым обломочным несвязным и глинистым грунтам не свойственны большие величины упругости.

Основными показателями деформационных свойств горных пород являются: модуль упругости, модуль деформации, коэффициент сжимаемости.

Для скальных, полускальных и связных глинистых уплотненных пород основными показателями прочности являются сопротивление сжатию, скалыванию и растяжению, для мягких связных и рыхлых несвязных пород – показатели сопротивления сдвигу – угол внутреннего трения, коэффициент внутреннего трения, сцепление.

Основные механические свойства представлены в табл. 27.1.

Основные характеристики механических свойств горных пород

№ лаб. работы	Показатели	Условное обозначение	Зависимость	Единица измерения
27	Закон Гука	σ	$\sigma = E \cdot e_0$	МПа
28	Модуль деформации	E_0	$E_0 = \frac{\sigma}{e_0}$	МПа
27			$E_0 = (1 - \nu^2) K_1 \cdot D \frac{\Delta P}{\Delta S}$	МПа
27	Относительная деформация	e_0	$e_0 = \frac{\Delta h}{h}$	безразмерная
27	Удельная нагрузка	P	$P = \frac{10 \cdot Q}{10 \cdot F}$	МПа
28	Модуль упругости	E_y	$E_y = \frac{\sigma}{\epsilon_y}$ $E_y = \frac{\pi PD(1 - \nu^2)}{4 \epsilon_y}$	МПа
29	Модуль осадки	e_p	$e_p = 1000 e_0$	мм/м
29	Коэффициент уплотнения	a	$a = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i}$	
29	Степень консолидации	K	$K = \frac{\Delta h_{ср}}{\Delta h_{кон}} \cdot 100$	%
30	Сопротивление сдвигу	τ	$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C$	МПа

27.2. Деформационные свойства грунтов

Все деформации независимо от вызывающих их причин могут быть разделены на две группы: *объемные деформации сжатия*, при которых грунтовые частицы преимущественно сближаются, укладываясь более плотно, и *деформации сдвига*, сопровождающиеся смещением частиц с изменением их взаимного расположения.

В толще деформируемого грунта происходят следующие процессы:

1) взаимные смещения структурных агрегатов и отдельных грунтовых частиц с разрушением удерживающих их связей, сопровождающиеся более плотной их укладкой и изменением ориентации глинистых частиц;

2) обжатие и разрушение структурных агрегатов, обычно связанное с уплотнением грунта (сами грунтовые частицы при давлениях, встречающихся в строительной практике, как правило, не деформируются);

3) более плотная укладка структурных агрегатов и грунтовых частиц, приводящая к уменьшению пористости грунта и сопровождающаяся выжиманием свободной воды и воздуха из пор грунта;

4) сжатие и выжимание пленок адсорбированной воды в точках взаимного соприкосновения глинистых и пылеватых частиц;

5) сжатие и частичное растворение в воде пузырьков воздуха, заземленных в порах грунта, при невозможности их выжимания.

Деформационные свойства определяют поведение грунта под нагрузкой, не превышающей критического значения. Они могут характеризоваться модулем деформации и коэффициентом Пуассона.

Модуль деформации грунта связывает сжимающее напряжение σ и вызываемую им относительную деформацию e_0 :

$$E_0 = \frac{\sigma}{e_0}, \quad (27.1)$$

где e_0 – относительная деформация (включающая упругие и пластические деформации), определяемая из выражения

$$e_0 = \frac{\Delta h}{h}, \quad (27.2)$$

где Δh – величина деформации;

h – первоначальная высота образца (рис. 27.1).

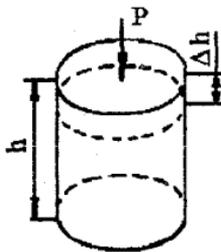


Рис. 27.1. Деформация образца

Выражение (27.1) записано исходя из закона Гука, устанавливающего связь между напряжением и модулем деформации с учетом относительной деформации:

$$\sigma = E_0 \cdot e_0 \quad (27.3)$$

Модуль общей деформации используется при расчетах осадки сооружений, т.е. при действии статических нагрузок. Поэтому осадки под опорами мостов и путепроводов определяют исходя из модуля деформации, который для песчаных грунтов в зависимости от их крупности и плотности находится в пределах 10...50 МПа, для глинистых грунтов – в пределах 5...75 МПа при средних значениях 20 МПа.

Относительная деформация может быть продольной и поперечной. Взаимосвязь между ними устанавливает коэффициент Пуассона.

Коэффициент Пуассона представляет собой отношение относительной поперечной деформации к относительной продольной при сжатии или растяжении, т.е. коэффициент пропорциональности между относительными поперечными деформациями (расширением) и относительными продольными (сжатием). Чем больше значение коэффициента Пуассона, тем больше порода может деформироваться.

Модуль деформации грунта определяют в соответствии с ГОСТ 20276-85 методом испытания грунта штампом.

27.3. Определение модуля деформации грунта

Модуль деформации грунта определяют по графику зависимости осадки от давления при испытании грунта штампом. Минимальная толщина испытываемого слоя грунта должна составлять не менее 2 диаметров штампа.

Испытания проводят на рычажном прессе (рис. 27.2).

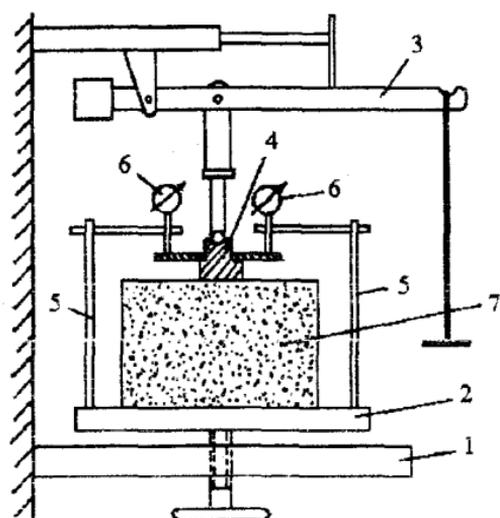


Рис. 27.2. Схема рычажного пресса

Пресс состоит из следующих основных узлов: станины 1; столика 2 для установки образца; рычажного пресса 3, штампа 4; кронштейнов 5 для крепления индикаторов; индикаторов 6; образца грунта 7. Отношение плеч рычажного пресса – 1:10.

Для проведения испытания выбираем образец грунта, имеющий следующие соотношения между диаметром штампа и высотой и диаметром образца:

$$D \geq 4d; \quad h \geq 3d,$$

где D – диаметр образца;

d – диаметр штампа;

h – высота образца.

Соблюдение этих соотношений необходимо для того, чтобы стенки емкости, в которую помещается грунт без жестких структурных связей, не оказывали влияния на его деформируемость. Перед началом проведения опыта емкость измеряют с точностью до 1 мм и определяют ее внутренний объем.

Пробу грунта, находящегося в воздушно-сухом состоянии, распределяют тонким слоем на горизонтальной поверхности, делят на

квадраты и методом вычерпывания отбирают среднюю пробу общей массой 1500 г. Последнюю пропускают через сито с отверстиями 2 мм, отбирая песчаную, пылеватую и глинистую фракции. В опыте не рекомендуется применять частицы крупнее 2 мм, чтобы они не оказывали отрицательного влияния на равномерный процесс погружения штампа прибора. Из поддона сита отбирают навеску грунта массой 1000 г и помещают ее в отдельную емкость.

Отобранную навеску увлажняют водой с учетом данных, приведенных в табл. 16.1, в количестве 8% от массы грунта, тщательно перемешивают до однородного состояния.

Емкость, имеющую соотношения между габаритными размерами, указанные выше, взвешивают с точностью до 0,01 г и заполняют подготовленным грунтом в три приема, производя после каждого заполнения уплотнение с помощью ударника Союздорнии. Ударник прибора опирается на круглый металлический диск диаметром, равным внутреннему диаметру емкости. Число ударов для песчаного грунта – 12, супесчаного – 15, суглинков и глин – 25. Перед укладкой следующего слоя предыдущий слой грунта разрыхляют с помощью лабораторного ножа на глубину 1...2 мм, заполняют емкость до верхней кромки, излишек грунта срезают ножом, поверхность образца заглаживают. Одновременно отбирают навеску грунта массой 10...15 г для определения влажности грунта весовым способом. Результаты измерений заносят в табл. 13.1. Емкость, заполненную грунтом, взвешивают. Результаты измерений заносят в табл. 14.2. Определяют:

плотность грунта – по выражению (14.1);

влажность грунта – по выражению (13.1);

плотность сухого грунта – по выражению (14.4).

Емкость с грунтом устанавливают на столик 2 рычажного пресса. На грунт устанавливают штамп, на который укладывают шарик, и опускают шток рычажного пресса. Уравновешивают массу рычажной системы так, чтобы до начала проведения опыта на штамп нагрузка не передавалась. Закрепляют на столике прибора кронштейны, в которые вставляют индикаторы часового типа. Последние приводят в соприкосновение с пластиной штампа. В таком виде прибор подготовлен к проведению испытания.

Индикаторы устанавливают на нулевые деления и записывают показания в табл. 27.2.

Результаты определения модуля деформации грунта

Нагрузка на пресс Q , кг	Площадь штампа F , см ²	Удельное давление P , МПа	Время отсчета по индикатору t , мин	Показания индикаторов			Значение коэффициента Пуассона ν	Приращение давления на штамп, МПа			Приращение осадки штампа, см			Модуль деформации E , МПа
				левого S_n	правого S_n	среднее S		начальное P_0	конечное P_n	приращение ΔP	начальное S_0	конечное S_n	приращение ΔS	
0,05			5											
			10											
0,10			5											
			10											
0,15			5											
			10											
0,20			5											
			10											
0,25			5											
			10											

Учитывая, что соотношение плеч рычажного пресса равно 1:10, удельную нагрузку, передаваемую прессом на образец, рассчитывают по формуле

$$P = \frac{10 \cdot Q}{10 \cdot F}, \quad \text{МПа}, \quad (27.4)$$

где P – удельная нагрузка на образец, МПа;

Q – нагрузка, приложенная на подвеску рычага, кГ;

F – площадь образца, см²;

10 в числителе – передаточное число системы рычагов;

10 в знаменателе – перевод кГ/см² в МПа.

В соответствии с ГОСТ 20276-85 ступень давления для песчаных грунтов средней плотности и пылевато-глинистых грунтов при коэффициенте пористости $0,8 \leq e \leq 1,1$ составляет 0,05 МПа. Поэтому

прикладывают нагрузку ступенями через 0,05 МПа. Общее количество ступеней давления должно быть не менее четырех. Каждую ступень выдерживают до условной стабилизации грунта. За критерий условной стабилизации деформации принимается скорость осадки штампа, не превышающая 0,1 мм за 0,5 ч для песчаных грунтов и 1 ч – для пылевато-глинистых.

Таким образом, к рычажной системе ступенями через каждые 10 мин прикладывают нагрузку: 350 г, 700 г, 1050 г, 1400 г, 1750 г. Показания индикаторов снимают для каждой ступени через 5 и 10 мин с начала нагружения. Расхождение величины деформаций для индикаторов допускается в пределах 15...20%. Результаты измерений заносят в табл. 27.2.

Для вычисления модуля деформации строим график зависимости осадки от давления $S = f(P)$, откладывая по оси абсцисс значения P , а по оси ординат – соответствующие им условно-стабилизированные значения S (рис. 27.3), в масштабе:

по горизонтали: 40 мм – 0,1 МПа давления P ;

по вертикали: 10 мм – 1 мм осадки штампа S .

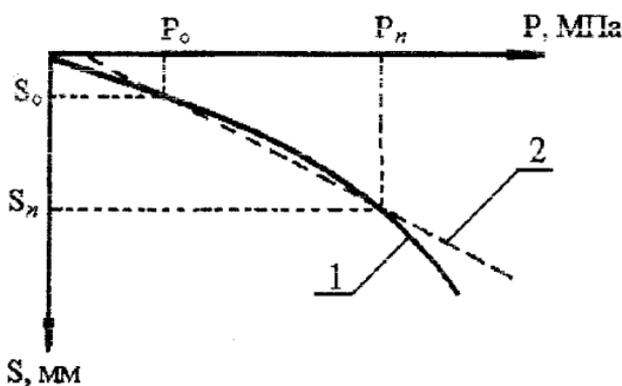


Рис. 27.3. Образец графического оформления результатов испытания грунтов штампом:

1 – линейная часть графика; 2 – осредняющая прямая

Через нанесенные на график опытные точки необходимо провести осредняющую прямую графическим методом.

За начальные значения P_0 и S_0 (координаты первой точки, включаемой в осреднение) принимаем давление, соответствующее пер-

вой ступени нагружения, и соответствующую ей осадку; за конечное значение P_n и S_n – значения, соответствующие последней точке пересечения опытной кривой и осредненной прямой.

Модуль деформации грунта вычисляют для линейного участка графика $S = f(P)$ по формуле

$$E_o = (1 - \nu^2) K_1 \cdot D \frac{\Delta P}{\Delta S}, \quad \text{МПа}, \quad (27.5)$$

где ν – коэффициент Пуассона, принимаемый: 0,27 – для крупнообломочных грунтов; 0,3 – для песков и супесей; 0,35 – для суглинков; 0,42 – для глин;

K_1 – коэффициент, принимаемый 0,79 для жесткого круглого штампа;

D – диаметр штампа, см;

ΔP – приращение давления на штамп,

$$\Delta P = P_n - P_0, \text{ МПа};$$

ΔS – приращение осадки штампа, соответствующее ΔP , см, определяемое на осредняющей прямой,

$$\Delta S = S_n - S_0, \text{ см.}$$

При обработке результатов испытаний модуль деформации вычисляют с точностью до 0,1 МПа.

Задание

1. Определить модуль деформации грунта на рычажном прессе.
2. Определить плотность и влажность грунта.
3. Построить график зависимости осадка от давления.

Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте закон Гука.
2. Что собой представляет коэффициент Пуассона?
3. Как определяется удельное давление на грунт в рычажном прессе?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ГРУНТА

Цель работы:

1. Изучение показателей, характеризующих упругие свойства грунта.
2. Определение модуля упругости грунта.

Аппаратура:

Сито с диаметром отверстий 2 мм, стеклянный стакан, шпатель, лабораторный нож, фарфоровая чашка, балансирный конус А.М.Васильева, рычажный пресс, индикаторы, сушильный шкаф, бюксы, гири.

28.1. Показатель, характеризующий упругие свойства грунта

Если деформация грунта связана со сжатием в результате выжимания воды, сжатием заземленных частиц, деформациями пленок связанной воды, грунт после нее частично восстанавливается. Если подвергнуть сжатию образец (рис. 28.1 а), то вначале под действием нагрузки он максимально сжимается, а при снятии ее частично восстанавливает первоначальные размеры.

Компрессионная кривая состоит из ветви сжатия (нагрузки) и ветви расширения (разгрузки, или декомпрессии) (рис. 28.1 б).

Таким образом, модуль деформации связывает напряжение и полную деформацию, а модуль упругости – напряжение и упругую деформацию.

Модуль упругости E_y равен отношению напряжения σ при одноосном сжатии к относительной упругой деформации:

$$E_y = \frac{\sigma}{e_y}, \text{ МПа}, \quad (28.1)$$

где e_y – относительная упругая деформация (включающая только упругую деформацию), определяемая из выражения

$$e_y = \frac{\Delta h_y}{h}, \quad (28.2)$$

где Δh_y – абсолютная упругая деформация, мм (рис. 28.1 а);
 h – первоначальная высота образца, мм.

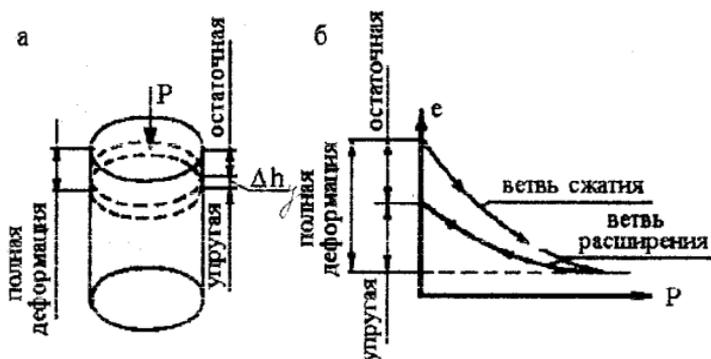


Рис. 28.1. Виды деформации:

а - деформация образца во время нагружения и после снятия нагрузки;
 б - зависимость коэффициента пористости от давления $e = f(P)$

Модуль упругости используется при расчете деформаций от кратковременных динамических нагрузок (воздействия колеса автомобиля на земляное полотно или дорожную одежду). Современные методы определения толщины дорожных одежд предусматривают полное восстановление их прогибов после проезда колеса автомобиля, поэтому расчеты ведут исходя из модуля упругости.

Из формул (27.1) и (28.1) видно, что $E_y > E_0$, т.к. $e_0 > e_y$.

Модуль упругости является более стабильной характеристикой деформационных свойств грунтов, чем модуль деформации. Он сравнительно мало зависит от степени первоначального уплотнения грунта и практически мало меняется с изменением величины действующей нагрузки.

Модуль упругости составляет:

для песка гравелистого, крупного – 130 МПа;
 средней крупности – 120 МПа;
 мелкого – 100 МПа;

пылеватого – 75 МПа;
супеси легкой крупной – 65 МПа;
легкой – 49 МПа;
пылеватой, тяжелой пылеватой – 46 МПа;
суглинка легкого и тяжелого – 41 МПа.

Для гравия и обычных грунтов отношение модуля упругости к модулю деформации составляет 3...3,5. С увеличением влажности прочность грунтов быстро уменьшается, поэтому расчетное значение модуля упругости определяют при влажности грунта, соответствующей периоду весенней распутицы ($W_{исп} = 0,7 W_L$, где W_L – влажность, соответствующая границе текучести).

Для определения модуля упругости применяют рычажной пресс, конструкция которого описана в лаб. раб. № 27.

28.2. Определение модуля упругости грунта

Для проведения испытаний выбирают емкость с таким же соотношением диаметра и высоты, как при проведении опыта по определению модуля деформации грунта (лаб. раб. № 27).

Подготовка грунта включает:

- 1) высушивание грунта до воздушно-сухого состояния;
- 2) просеивание через сито с отверстиями 2 мм;
- 3) отбор навески грунта массой 1000 г и взвешивание с точностью до 1 г;
- 4) снятие размеров емкости с точностью до 1 мм и вычисление ее объема;
- 5) взвешивание емкости с точностью до 1 г.

Из отобранной навески берут 100 г грунта и помещают в фарфоровую чашку, где его увлажняют и по методике, изложенной в лаб. раб. № 20, с помощью балансирного конуса А.М.Васильева определяют влажность, соответствующую границе текучести. Результаты испытаний заносят в табл. 20.1.

Параллельно с определением влажности на границе текучести определяют гигроскопическую влажность воздушно-сухого грунта по методике, изложенной в лаб. раб. № 13. Результаты испытаний заносят в табл. 13.1.

На основании проведенных испытаний определяют количество воды, необходимое для увлажнения воздушно-сухого грунта и доведения его до состояния, соответствующего периоду весенней распутицы ($W_{исп} = 0,7 W_L$), по формуле

$$Q_W = \frac{m_{\Gamma}(0,7W_L - W_g)}{\rho_W(1+W_g)}, \quad \text{см}^3, \quad (28.3)$$

где m_{Γ} – оставшаяся масса грунта после отбора породы для определения гигроскопической влажности и влажности, соответствующей границе текучести;

W_L – влажность, соответствующая границе текучести, доли единицы;

W_g – гигроскопическая влажность, доли единицы;

ρ_W – плотность воды, равная 1 г/см³.

Увлажняют грунт водой в количестве Q_W , тщательно перемешивают и заполняют в три этапа емкость, каждый раз проводя уплотнение грунта. Заполнение проводят до верхней кромки емкости, излишек срезают ножом, поверхность заглаживают.

После увлажнения грунта отбирают навеску массой 15...20 г и весовым методом определяют влажность грунта (по методике лаб. раб. № 13). Результаты измерений заносят в табл. 13.1.

Емкость с грунтом взвешивают, результаты измерений заносят в табл. 14.2. Определяют:

плотность грунта – из выражения (14.1);

влажность грунта – из выражения (13.1);

плотность сухого грунта – из выражения (14.4).

Емкость с подготовленным грунтом помещают на столик рычажного пресса, устанавливают штамп, балансируют рычажную систему, подсоединяют индикаторы и устанавливают их на нулевые отметки.

Ступени нагружения принимают те же, что при определении модуля деформации: 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 МПа, что для штампа с выбранными размерами будет соответствовать прикладываемой нагрузке в 350, 700, 1050, 1400, 1750 г.

Дальнейшие действия производят в следующей последовательности:

1) прикладывают нагрузку 0,05 МПа и снимают показания индикаторов через 0,5 мин от момента приложения до 3,5 мин (фаза нагружения); расхождения величин деформации для индикаторов допускают в пределах 15...20%;

2) через 3,5 мин от начала приложения нагрузки груз убирают и снимают показания индикаторов через 0,5 мин до 5 мин от начала проведения опыта (фаза восстановления);

3) через 5 мин от начала проведения опыта прикладывают следующую ступень нагрузки – 0,10 МПа – и опыт повторяют при тех же режимах, что и для первой ступени;

4) вторую, третью, четвертую и пятую ступени прикладывают при тех же режимах нагружения и восстановления.

Результаты испытания заносят в табл. 28.1.

Следует внимательно заполнять эту таблицу. Деформации, снимаемые при времени отсчета от 0,0 до 3,5 мин, необходимо вносить в фазу нагружения, а от 4,0 до 5,0 мин – в фазу восстановления.

Для связных грунтов с высокой влажностью можно проводить опыт с пригрузкой вокруг штампа.

Слабосвязные зернистые материалы (пески всех видов, крупные супеси) в лаборатории рекомендуется испытывать штампами диаметром 25...35 мм.

Во избежание больших погрешностей не следует при испытании доводить нагрузку до величин, при которых в массиве получают значительное развитие пластические смещения.

На основании показаний индикаторов строят график зависимости величин деформаций от времени снятия показаний $S = f(t)$ (рис. 28.2).

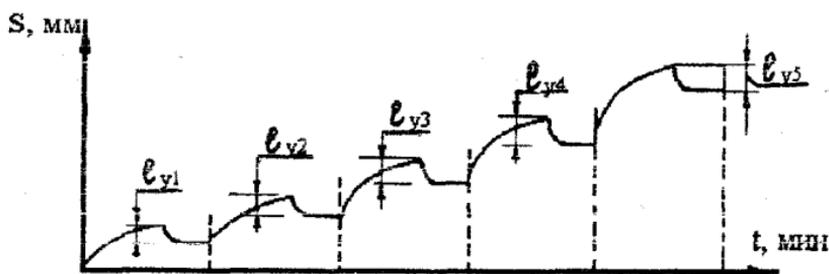


Рис. 28.2. График деформации образцов

Упругую деформацию определяют из графика, изображенного на рис. 28.2, или по табл. 28.1, отнимая от среднего значения величины деформации, полученной при 3,5 мин, среднюю величину, полученную при 5 мин. Упругую деформацию определяют для каждой ступени нагружения.

На основании полученных значений строят график зависимости величины упругой деформации от удельного давления $\ell_y = f(P)$ (рис. 28.3).

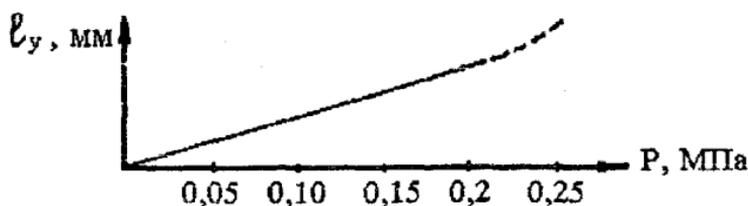


Рис. 28.3. График зависимости упругой деформации от удельного давления

Значение модуля упругости для каждой ступени нагружения определяют по формуле

$$E_y = \frac{\pi PD(1-\nu^2)}{4 \ell_y}, \text{ МПа,} \quad (28.4)$$

где $\frac{\pi}{4}$ — поправочный коэффициент при испытании жестким штампом;

P — удельная нагрузка, определяемая из выражения (27.4);

D — диаметр жесткого штампа, см;

ν — коэффициент Пуассона, имеет те же значения, что и в формуле (27.5);

ℓ_y — абсолютная упругая деформация, определяемая из графика 28.2 или из табл. 28.1.

После определения модуля упругости для каждой ступени нагружения вычисляем среднее значение для данного образца.

Результаты определения модуля упругости грунта

На- груз- ка на прес- се Q, кг	Удель- ное давле- ние на грунт P, МПа	Вре- мя от- счета по инди- като- рам t, мин	Отсчеты по индикато- рам, мм						Упру- гая де- фор- ма- ция, мм	Плот- ность грун- та ρ , г/см ³	Влаж- ность грун- та W, %	Плот- ность сухо- го грун- та ρ_d , г/см ³	Мо- дуль упру- гости E _y , МПа
			фаза на- грузки			фаза вос- становления							
			левому S _л	правому S _п	среднее S	левому S _л	правому S _п	среднее S					
		0,0											
		0,5											
		1,0											
		1,5											
		2,0											
		2,5											
		3,0											
		3,5											
		4,0											
		4,5											
		5,0											
		0,0											
		0,5											
		1,0											
		1,5											
		2,0											
		2,5											
		3,0											
		3,5											
		4,0											
		4,5											
		5,0											

Задание

1. Провести подготовку грунта к проведению опыта по определению модуля упругости.
2. Рассчитать количество воды, необходимое для увлажнения воздушно-сухого грунта.
3. Определить деформации грунта на стадиях нагружения и восстановления.

4. Построить график зависимости величины деформаций от времени.
5. Построить график зависимости величины упругой деформации от удельного давления.
6. Определить модуль упругости для каждой ступени нагружения.

Вопросы для самопроверки

1. В каких расчетах должен применяться модуль упругости?
2. В чем различие при определении модуля упругости и модуля деформации?

Лабораторная работа № 29

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПРЕССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

Цель работы:

1. Изучение показателей, характеризующих компрессионные свойства грунтов.
2. Ознакомление с компрессионным прибором КПр-1.
3. Определение модуля осадки и деформации предложенного грунта.

Аппаратура:

Прибор КПр – 1, бюксы, сушильный шкаф, балансирный конус А.М.Васильева, пикнометр, предметное кольцо, технические весы, шпатель, сито с отверстиями 2 мм.

29.1. Показатели компрессионных свойств грунта

Зависимость между влажностью и давлением можно изобразить в виде графика, который носит название *компрессионной кривой*. Он характеризует сжимаемость грунтов в условиях невозможности бокового расширения. Так как для полностью водонасыщенных грунтов существует закономерная связь между влажностью и коэффици-

ентом пористости, то обычно компрессионная кривая выражает зависимость между коэффициентом пористости и давлением на грунт (рис. 28.1 б). Как видно из графика, эта кривая состоит из двух ветвей: ветви сжатия (нагрузки) и ветви расширения (разгрузки).

Компрессионную кривую обычно выражают эмпирическими уравнениями – логарифмической кривой или гиперболой. Логарифмическое уравнение компрессионной кривой следующее:

$$e = e_0 - \frac{1}{B} \lg_n (P + C), \quad (29.1)$$

где e – коэффициент пористости при нагрузке P , может быть определен из выражений (15.7) или (15.10);

B и C – параметры, значения которых определяют из опыта.

При расчете осадок сооружений Н.Н.Маслов предложил по данным компрессионных испытаний вычислять *модуль осадки*, характеризующий величину осадки в мм слоя грунта мощностью 1 м под данной нагрузкой. Его можно вычислить из выражения

$$e_p = 1000 e_0, \quad \text{мм/м}, \quad (29.2)$$

где e_p – модуль осадки, мм/м;

e_0 – относительная деформация, определяемая из выражения (27.2).

На основании определения модуля осадки строят кривую зависимости этой величины от давления (рис. 29.1), которая позволяет быстро находить величину осадки изучаемого грунта мощностью 1 м при том или ином давлении. В зависимости от значения модуля осадки грунты могут характеризоваться различной степенью сжимаемости (табл. 29.1).

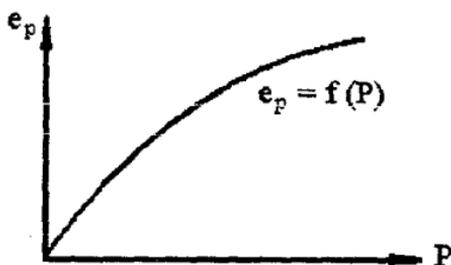


Рис. 29.1. Кривая зависимости модуля осадки от давления

Характеристика сжимаемости дисперсных грунтов

Категория грунта по сжимаемости	Модуль осадки e_p , мм/м	Характеристика сжимаемости грунта
0	< 1	практически несжимаемый
1	1...5	слабосжимаемый
2	5...20	среднесжимаемый
3	20...60	повышенной сжимаемости
4	> 60	сильносжимаемый

При действии нагрузки на грунт возникают деформации, протекающие во времени, из-за того, что выжимание воды через поры грунта происходит с малой скоростью. Для характеристики скорости деформации грунта строят кривые зависимости этого показателя при постоянной нагрузке от продолжительности ее действия – *кривые консолидации*. Сам процесс уплотнения грунта во времени под постоянной нагрузкой называется *консолидацией*.

Для испытания грунта на сжимаемость применяют одометры – приборы, позволяющие получить компрессионную кривую и кривую консолидации. Образец грунта помещают в жесткую металлическую обойму, сверху и снизу закрывают пористыми пластинками, свободно пропускающими воду, которая выжимается из образца приложенным давлением.

Чтобы трение грунта о стенки кольца не играло существенной роли при проведении опыта, необходимо, чтобы диаметр этого кольца был в 4...5 раз больше его высоты.

Для определения показателей компрессионных свойств грунта применяют прибор компрессионный КПр – 1 (рис. 29.2).

Прибор КПр – 1 состоит из следующих основных узлов: стола 1, одометра 2, сектора 3, противовеса 4, троса тягового 5, гирь 6, штока 7, индикаторов 8, кронштейнов 9.

Технические данные прибора: соотношение плеч рычагов 1:10; площадь поперечного сечения образца – 60 см²; высота образца – 2,5 мм; минимальное давление на образец грунта от массы штампа и индикаторов с учетом силы от пружин ножек индикаторов – 0,0018 МПа; давление, вызываемое массой рамки, – 0,0038 МПа.

Для создания давления 0,025 МПа на подвеску кладется груз массой 1,26 кг, для создания давления 0,05 МПа добавляется груз массой 1,5 кг. Далее ступени нагрузки прикладывают из расчета 6 кг на 0,1 МПа.

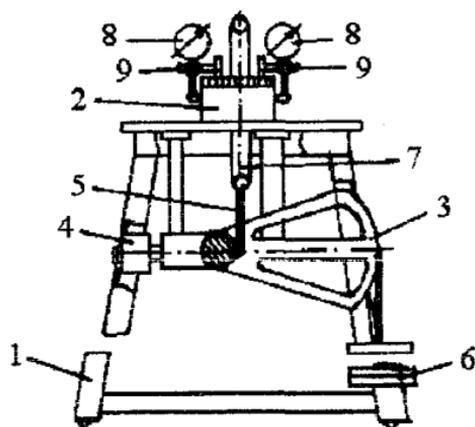


Рис. 29.2. Прибор компрессионный КПр - 1

29.2. Определение модуля осадки грунта

Перед началом работы необходимо проконтролировать размеры режущего кольца: его высота должна быть равна 25 мм, диаметр – 87,4 мм, площадь поперечного сечения – 60 см². Кольцо взвешивают. Исследуемый грунт просеивают через сито с отверстиями 2 мм и из поддона отбирают среднюю пробу в количестве 500 г. От пробы отбирают навеску массой 100 г и помещают ее в фарфоровую чашку. С этим грунтом по методике, приведенной в лаб. раб. № 20, определяют границу текучести и границу раскатывания W_L и W_P . Результаты испытаний заносят в табл. 20.1. По ним определяют влажность грунта, при которой должны быть проведены испытания, из выражения

$$W_{ИСП} = W_P + I_L(W_L - W_P), \% \quad (29.3)$$

где I_L – консистенция грунта, принимаемая из расчета $0,5 < I_L < 1$.

Одновременно с определением характерных влажностей (границы текучести и границы раскатывания) из средней пробы отбирают навеску массой 15...20 г и по методике, приведенной в лаб. раб. № 13,

определяют гигроскопическую влажность грунта W_g . Результаты испытаний заносят в табл. 13.1.

Из той же средней пробы берут навеску грунта из расчета 15 г на каждые 100 мл емкости пикнометра и пикнометрическим методом, описанным в лаб. раб. № 15, определяют плотность частиц грунта ρ_s . Результаты измерений заносят в табл. 15.2.

На основании найденных значений влажности $W_{исп}$ и W_g вычисляют количество воды, необходимое для добавления к грунту, чтобы его влажность соответствовала влажности проведения испытания, по выражению

$$Q_w = \frac{m_g(0,7W_{исп} - W_g)}{\rho_w(1 + W_g)}, \text{ см}^3, \quad (29.4)$$

где m_g – масса грунта, оставшегося в средней пробе, г,

ρ_w – плотность воды, равная 1 г/см³.

Мерным цилиндром отмеряют необходимое количество воды, добавляют к грунту и тщательно перемешивают до однородного состояния.

На предметном стекле формируют из полученной массы лепешку, в которую вдавливают режущее кольцо; избыток грунта срезают ножом, его поверхность заглаживают. Ветошью тщательно вытирают частички грунта и промокают капельки воды. Кольцо с влажным грунтом взвешивают, результаты заносят в табл. 29.2.

С обеих сторон режущего кольца на грунт укладывают влажные кружочки фильтровальной бумаги. Режущее кольцо с грунтом помещают в одометр, установленный на стол КПр-1. Подсоединяют индикаторы, опускают шток на шарик, приводят сектор в горизонтальное положение, устанавливают индикаторы на нулевые деления. Показания приборов записывают в табл. 29.2.

Для создания давления 0,025 МПа на подвеску укладывают груз массой 1,26 кг; для создания давления 0,05 МПа добавляют груз массой 1,5 кг. Для увеличения нагрузки на 0,1 МПа на подвеску укладывают груз массой 6 кг. Показания индикаторов снимают через каждые 2 мин. Через 10 мин прикладывают следующую ступень нагружения, равную 0,25 МПа, и снимают показания индикаторов с той же частотой. Через 20 мин от начала опыта прикладывают по-

следнюю ступень, равную 0,35 МПа, и опять снимают показания индикаторов. Результаты измерений заносят в табл. 29.2.

Таким образом, испытания проводят при нагрузках 0,025; 0,05; 0,15; 0,25 и 0,35 МПа.

После окончания испытаний прибор КПр-1 разбирают в обратной последовательности, извлекают из одометра режущее кольцо с грунтом и взвешивают его. Результат записывают в табл. 29.2. Затем берут навеску в 15 г и определяют влажность грунта после испытания.

По результатам испытаний производят следующие вычисления.

Определяют весовым методом влажность грунта до и после испытаний W_H и W_K :

$$W_{H,K} = \frac{m_{вд} - m_c}{m_c - m_б} \cdot 100, \% . \quad (29.5)$$

Определяют плотность грунта до и после испытаний ρ_H и ρ_K :

$$\rho_{H,K} = \frac{m_{H,K}}{V}, \quad \text{г/см}^3, \quad (29.6)$$

где $m_{H,K}$ — соответственно масса грунта до и после испытания, г.

Определяют плотность сухого грунта до и после испытаний

$$\rho_{дH,K} = \frac{\rho_{H,K}}{1 + 0,01W_{H,K}}, \quad \text{г/см}^3. \quad (29.7)$$

Определяют плотность частиц грунта из выражения (15.5).

Определяют коэффициент пористости грунта до и после испытаний e_H и e_K :

$$e_{H,K} = \frac{\rho_S - \rho_{дH,K}}{\rho_{дH,K}}. \quad (29.8)$$

Таблица 29.2

Результаты определения модуля осадки

Результаты в величинах кольца, г		Плотность исследуемого грунта, г/см ³			Коэффициент пористости e		Давление на образцы, МПа	Время от момента приложения нагрузки, мин	Отчеты по индикаторам	Деформация образца			Степень консолидации	Относительная деформация ϵ_0	Модуль деформации, МПа
масса кольца с грунтом до испытания	масса кольца с грунтом после испытания	плотность ρ	плотность сухого грунта ρ_d	до испытания	после испытания	до испытания				после испытания	левому S_L	правому S_P			
		до испытания	плотность	плотность	до испытания	после испытания	МПа	0	левому S_L	правому S_P	среднее S	Δh_1	Δh_2	Δh_{cp}	
			до испытания	плотность	до испытания	после испытания		2							
			до испытания	плотность	до испытания	после испытания		4							
			до испытания	плотность	до испытания	после испытания		6							
			до испытания	плотность	до испытания	после испытания		8							
			до испытания	плотность	до испытания	после испытания		10							

Определяют промежуточные значения коэффициента пористости исходя из величины относительной деформации:

$$e_0 = \frac{\Delta h}{h}, \quad (29.9)$$

где Δh – определяется по индикаторам:

$$\Delta h_{\text{ср}} = \Delta h_{\text{ср}10} - \Delta' h_{\text{ср}0},$$

где $\Delta h_{\text{ср}10}$ – среднее значение деформации образца через 10 мин;

$\Delta' h_{\text{ср}0}$ – среднее значение деформации образца в начале испытаний;

h – первоначальная высота образца.

По полученным значениям строят график зависимости относительной деформации от давления (рис. 29.3) в масштабе: для давления P (по горизонтали): 0,025 МПа – 10 мм; для относительной деформации e_0 (по вертикали): 0,02 – 10 мм, которое определяют из выражения

$$P = \frac{Q \cdot Z}{F} \cdot 0,1 \text{ МПа}, \quad (29.10)$$

где Q – вес гири, кг;

Z – передаточное число прибора;

F – площадь образца, см².

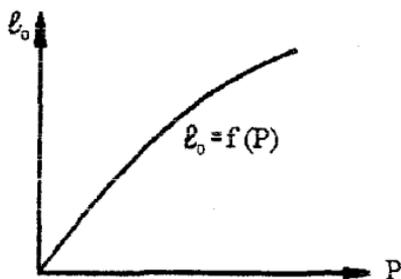


Рис. 29.3. График испытания грунта при сжатии в компрессионном приборе

По этому графику снимают показания относительной деформации, соответствующей для промежуточного давления 0,1; 0,2 МПа, и подставляют в формулу для определения коэффициента пористости, соответствующего этим давлениям:

$$e_i = e_H - e_0(1 + e_H), \quad (29.11)$$

где e_i – коэффициент пористости грунта, находящегося под давлением P (0,1; 0,2 МПа);

e_H – начальный коэффициент пористости;

e_0 – относительная деформация, соответствующая давлению P (0,1; 0,2 МПа).

Определяют коэффициент уплотнения из выражения

$$a = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i}, \quad (29.12)$$

где e_i и e_{i+1} – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям P_i и P_{i+1} .

Определяют модуль деформации грунта по формуле

$$E_0 = \frac{1 + e_i}{a} \cdot \beta, \quad (29.13)$$

где β – поправка, учитывающая отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе, принимаемая: для пылеватых и мелких песков – 0,8; супесей – 0,7; суглинков – 0,5; глин – 0,4.

Определяют модуль осадки из выражения (29.2).

Строят график зависимости модуля осадки от давления $e_p = f(P)$.

Определяют степень консолидации грунта из выражения

$$K = \frac{\Delta h_{ср}}{\Delta h_{кон}} \cdot 100, \quad \%, \quad (29.14)$$

где Δh_{cp} – среднее значение деформации, соответствующее времени измерения 2, 4 и т.д. мин от начала приложения нагрузки;

$\Delta h_{кон}$ – деформация образца через 10 мин после нагружения.

Строят график зависимости степени консолидации (по вертикали) от времени (по горизонтали), на который наносят три кривых, соответствующих зависимости $K = f(t)$ при $P = 0,1$ МПа; $p = 0,2$ МПа; $P = 0,3$ МПа.

Задание

1. Определить модуль осадки грунта.
2. Расчетным способом определить модуль деформации грунта.
3. Построить график зависимости степени консолидации от времени.

Вопросы для самопроверки

1. Какие показатели характеризуют сжимаемость грунта?
2. Что такое модуль осадки?

Лабораторная работа № 30

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ГРУНТА СДВИГУ

Цель работы:

1. Изучение параметров, характеризующих сопротивляемость грунта сдвигу.
2. Определение прочностных характеристик грунта методом неконсолидированного сдвига.
3. Определение сопротивляемости сдвигу скрытопластичных глинистых грунтов.

Аппаратура:

Прибор П10-С, сито с диаметром отверстий 2 мм, шпатель, стеклянный стакан, бюксы, сушильный шкаф, весы, разновесы, фильтровальная бумага.

30.1. Параметры, характеризующие сопротивление грунта сдвигу

Под действием внешних сил связи между частицами грунта могут быть разрушены, в результате чего происходит смещение (сдвиг) одних частиц относительно других. Воспрепятствование такому смещению оценивается так называемым *сопротивлением грунта сдвигу*, которое может быть вызвано возникновением сил сцепления или сил внутреннего трения, а в некоторых грунтах – действием как тех, так и других сил.

Под *силами сцепления* понимают сопротивление структурных связей всякому перемещению связываемых ими частиц независимо от величины внешнего давления.

Под *силами внутреннего трения* понимают силы сопротивления, возникающие при относительном движении соприкасающихся друг с другом тел.

Смещение частиц друг относительно друга возможно, когда касательные напряжения преодолевают силы сопротивления в точках контактов (рис. 30.1).

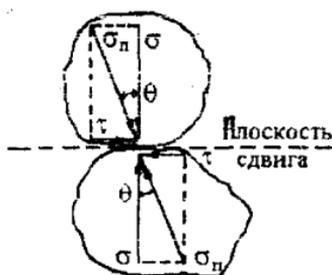


Рис. 30.1. Сдвигающие и удерживающие силы в контакте грунтовых частиц

Действующие напряжения в грунтовых частицах раскладываются на две составляющие:

нормальные напряжения σ , действующие перпендикулярно к рассматриваемой площадке;

касательные напряжения τ , действующие в плоскости площадки.

Любой массив грунта считается устойчивым, пока сдвигающие напряжения не вызовут в нем смещение частиц, т.е. должно выполняться условие

$$\tau \leq f(\sigma) . \quad (30.1)$$

Зависимость сопротивления сдвигу τ от нормального давления σ графически изображается линией, близкой к прямой для сыпучих грунтов и имеющей незначительную кривизну в интервале малых уплотняющих давлений (рис. 30.2).

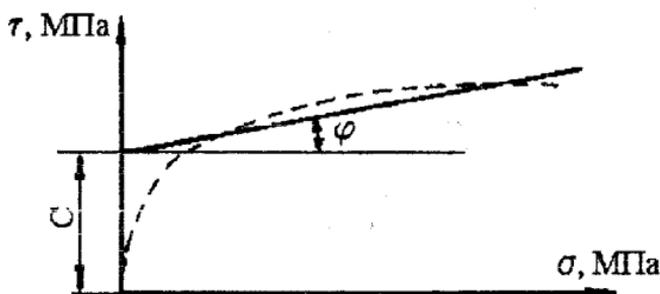


Рис. 30.2. График зависимости сопротивления грунта сдвигу от нормального давления

Сопротивление грунтов сдвигу выражается зависимостью

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C, \text{ МПа}, \quad (30.2)$$

где τ — сдвигающее напряжение, МПа;

σ — нормальное давление, МПа;

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

φ — угол внутреннего трения, характеризующий наклон прямой на графике (рис. 30.2);

C — сцепление, равное отрезку от начала координат до точки пересечения прямой с осью ординат (рис. 30.2).

Величины φ и C являются основными характеристиками прочности грунта на сдвиг (см. табл. 30.1).

Эти показатели определяют в лабораторных условиях на приборе для испытания грунтов на сдвиг П10-С односрезном (рис. 30.3). Прибор состоит из следующих основных частей: срезной коробки, рычажной системы для вертикальной нагрузки, рычага для горизонтальной нагрузки, струбицы, двух индикаторов.

Значение угла внутреннего трения φ , град, и сцепления C , МПа, для связных грунтов в условиях естественного залегания

Состояние глинистого грунта	Значение показателей					
	глина		суглинок		супесь	
	φ	C	φ	C	φ	C
Твердое	22	0,1	25	0,06	28	0,02
Полутвердое	20	0,06	23	0,04	26	0,015
Тугопластичное	18	0,04	21	0,025	24	0,01
Мягкопластичное	14	0,02	17	0,015	20	0,005
Текучепластичное	8	0,01	13	0,01	18	0,002
Текучее	6	0,005	10	0,005	14	0

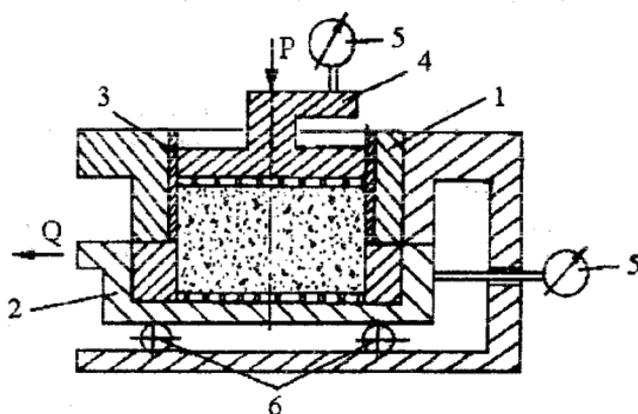


Рис. 30.3. Схема срезной коробки

Срезная коробка состоит из неподвижной части 1, подвижной каретки 2, кольца 3, штампа 4, индикаторов 5, роликов 6.

Рычаг для горизонтальной нагрузки имеет соотношение плеч 1:25, что дает двадцатипятикратное увеличение сдвигающей силы; рычажная система для приложения вертикальной нагрузки также дает двадцатипятикратное увеличение для штока прибора и пятикратное уменьшение при загрузке противовеса.

Соппротивление грунтов срезу может быть определено методами: консолидированного среза; неконсолидированного среза.

Метод консолидированного среза – это испытание на срез грунта, предварительно уплотненного вертикальной нагрузкой, проводимое в условиях дренирования путем повышения срезающей нагрузки с такой скоростью, при которой обеспечивается полная консолидация грунта (медленное испытание).

Метод неконсолидированного среза – испытание на срез грунта без предварительного уплотнения, проводимое в условиях отсутствия дренирования путем приложения вертикальной и срезающей нагрузок с такой скоростью, при которой обеспечивается практическая неизменность начальных значений плотности и влажности грунта (быстрое испытание).

30.2. Определение прочностных характеристик грунта методом неконсолидированного сдвига

Методом неконсолидированного сдвига испытывают образцы ненарушенного сложения суглинков и глин, которые в природном залегании находятся в водонасыщенном состоянии. Последовательность действий при этом следующая.

Воздушно-сухой грунт просеивают через сито с отверстиями 2 мм. Из поддона отбирают навеску грунта массой 500 г, добавляют 40 мл воды, тщательно перемешивают и на предметном стекле формируют лепешку, в которую вдавливают режущее кольцо диаметром 56 мм и высотой 20 мм. Из влажного грунта отбирают навеску 15...20 г в предварительно взвешенную бюксу и весовым способом по методике, изложенной в лаб. раб. № 13, определяют его влажность.

Грунт в кольце заглаживают с помощью лабораторного ножа вровень с краями, взвешивают на весах с точностью до 0,01 г, кольцо осторожно вставляют в механизм перемещения испытываемого образца в прибор.

На дно срезной коробки укладывают кружок влажной фильтровальной бумаги, устанавливают механизм перемещения и нажимают на поршень. Образец перемещается в прибор. Сверху укладывают кружок фильтровальной бумаги, смоченной водой, устанавливают штамп и скрепляют все части прибора крепежными винтами. Срезная коробка с помощью струбцины крепится к краю лабораторного стола.

Над штампом устанавливают рычажную систему для приложения к прибору вертикальной нагрузки, которую уравнивают противовесом массой 1 кг.

Индикаторы для замера вертикальной и горизонтальной деформаций закрепляют в таком положении, чтобы подвижные части ножек были вдвинуты на 70...80% свободного хода, после чего поворотные шкалы индикаторов устанавливают на нулевые деления. Затем устанавливают рычаг для горизонтальной нагрузки при заблокированной винтами срезной коробке.

К образцу прикладывают вертикальную нагрузку массой 1 кг, которую выдерживают:

для песчаных грунтов – не менее 5 мин;

для супесчаных – не менее 15 мин;

для суглинков и глинистых – не менее 30 мин.

После этого отвинчивают горизонтальные упорные винты каретки и приступают к горизонтальному нагружению образца.

Горизонтальную нагрузку прикладывают ступенями. Первая нагрузка создается в образце за счет массы рычага с подвесом и составляет 0,01 МПа. Каждую ступень выдерживают до условной стабилизации деформации сдвига, за которую принимают скорость сдвига, не превышающую 0,01 мм в минуту.

Для вертикальной нагрузки в 1 кг ступени горизонтальной нагрузки составляют:

1) $Q = 110$ г (масса рычага); $\tau_1 = 0,011$ МПа;

2) $Q = 200 + 110 = 310$ г; $\tau_2 = 0,031$ МПа;

3) $Q = 400 + 110 = 510$ г; $\tau_3 = 0,051$ МПа;

4) $Q = 500 + 110 = 610$ г; $\tau_4 = 0,061$ МПа;

5) $Q = 600 + 110 = 710$ г; $\tau_5 = 0,071$ МПа;

6) $Q = 700 + 110 = 810$ г; $\tau_6 = 0,081$ МПа;

7) $Q = 750 + 110 = 860$ г; $\tau_7 = 0,086$ МПа (и т.д. до возникновения деформации сдвига).

Испытание следует считать законченным, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит мгновенный срез (срыв) одной части образца по отношению к другой или общая деформация превысит 5 мм.

При непрерывно возрастающей касательной нагрузке скорость среза должна быть постоянной и соответствовать указанной в табл. 30.2.

Скорость образцов для различных грунтов

Вид грунта	Скорость среза, мм/мин
Пески	0,5
Супеси	0,1
Суглинки	0,05
Глины	0,02

Отсчеты по индикаторам производят не реже чем через 2 мин.

После окончания испытания образец разгружают, извлекают рабочее кольцо с грунтом, взвешивают его и отбирают пробу 15...20 г для определения влажности грунта весовым методом. Из оставшегося грунта опять формируют лепешку, в которую вдавливают режущее кольцо. Образец переносят в срезную коробку, собирают прибор, прикладывают вертикальную нагрузку массой 2 кг, выдерживают ее до условной стабилизации, после чего начинают прикладывать горизонтальную нагрузку, ступени которой составляют:

$$1) Q = 110 \text{ г}; \tau_1 = 0,011 \text{ МПа};$$

$$2-5) Q = (200; 400; 600; 800) + 110 = 310; 510; 710; 910 \text{ г};$$

$$\tau_{2,3,4,5} = 0,031; 0,051; 0,071; 0,091 \text{ МПа};$$

$$6-9) Q = (900; 1000; 1100; 1200) + 110 = 1010; 1100; 1210; 1310 \text{ г};$$

$$\tau_{6,7,8,9} = 0,101; 0,11; 0,121; 0,131 \text{ МПа};$$

$$10 \text{ и до сдвига) } Q = (1250 \text{ и т.д.}) + 110 = 1360 \text{ и т.д.};$$

$$\tau_{10 \text{ и т.д.}} = 0,136 \text{ МПа и т.д.}$$

После окончания испытания при второй вертикальной нагрузке прибор разбирают, определяют влажность грунта, формируют лепешку, вдавливают режущее кольцо, переносят в прибор и проводят испытания при третьей вертикальной нагрузке массой 3 кг.

Ступени приложения горизонтальной нагрузки при третьей вертикальной следующие:

$$1) Q = 110 \text{ г}; \tau_1 = 0,011 \text{ МПа};$$

$$2-3) Q = (500; 1000) + 110 = 610; 1110 \text{ г}; \tau_{2,3} = 0,61; 1,11 \text{ МПа};$$

4-7) $Q = (1200; 1400; 1600; 1800) + 110 = 1310; 1510; 1710; 1910$ г;
 $\tau_{4,5,6,7} = 1,31; 1,51; 1,71; 1,91$ МПа;

8-10) $Q = (1900; 2000; 2100) + 110 = 2010; 2100; 2110$ г;
 $\tau_{8,9,10} = 2,101; 2,11; 2,21$ МПа;

11 и до сдвига) $Q = (2150 \text{ и т.д.}) + 110 = 2260 \text{ и т.д.};$
 $\tau_{11 \text{ и т.д.}} = 2,26$ МПа и т.д.

Результаты измерений заносят в табл. 30.3, 30.4.

Таблица 30.3

Результаты испытания грунта на срез

Вертикальная нагрузка P, кг	Нормальное давление σ , МПа	Горизонтальная нагрузка Q, кг	Сдвигающее усилие τ , МПа	Время от начала приложения нагрузки до полной стабилизации, мин	Показатель индикатора, мм	Величина деформации на срез $\Delta \xi$, мм	Прочностные характеристики грунта		
							угол внутреннего трения φ , град	коэффициент внутреннего трения f	сцепление C, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Таблица 30.4

Определение влажности при испытании грунтов на срез

Время испытания	Результаты взвешивания			Влажность грунта W, %
	масса пустой бюксы m_6 , г	масса бюксы с влажным грунтом $m_{вд}$, г	масса бюксы с сухим грунтом m_c , г	
до испытания				
после испытания на 0,1 МПа				
после испытания на 0,2 МПа				
после испытания на 0,3 МПа				

На основании проведенных испытаний определяют и вычисляют следующие параметры.

Вертикальная нагрузка проведения опыта – 1,0; 2,0; 3,0 кг.

Нормальное давление определяют из выражения

$$\sigma = \frac{P \cdot 25 \cdot 0,1}{F}, \text{ МПа}, \quad (30.3)$$

где P – вертикальная нагрузка на прибор, кг;

25 – передаточное число прибора;

0,1 – переводной коэффициент кг/см² в МПа;

F – площадь поперечного сечения образца, равная 25 см².

Горизонтальную нагрузку прикладывают в соответствии с изложенными рекомендациями для каждой ступени нагружения.

Сдвигающее усилие определяют из выражения

$$\tau = \frac{Q \cdot 25 \cdot 0,1}{F}, \text{ МПа}, \quad (30.4)$$

где Q – горизонтальная нагрузка на прибор, кг.

Величина деформации на срез должна превышать 5 мм.

По результатам испытаний строят графики величины деформации на срез (рис. 30.4) в масштабе: по горизонтали $\Delta \ell$ – 1 мм – 10 мм; по вертикали τ – 0,1 МПа – 20 мм и зависимости сопротивления грунта срезу от нормального давления (рис. 30.5) в масштабе: по горизонтали σ , по вертикали τ – 0,1 МПа – 20 мм.

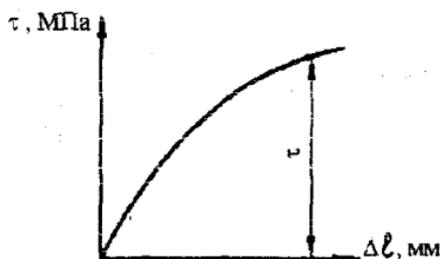


Рис. 30.4. График испытания грунта на срез

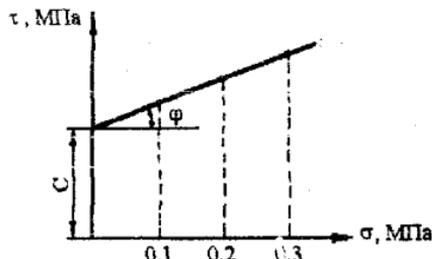


Рис. 30.5. График зависимости сопротивления срезу от нормального давления

График, изображенный на рис. 30.4, строят для каждой вертикальной нагрузки (т.е. три графика). За сопротивление грунта срезу принимают касательную (горизонтальную) нагрузку, соответствующую максимальному значению τ на графике. Если эта величина возрастает монотонно, за сопротивление грунта срезу принимается τ при $\Delta \ell = 5$ мм.

Прочностные характеристики грунта – угол внутреннего трения, коэффициент внутреннего трения, сцепление – определяют по графику 30.5. Угол наклона прямой к ее горизонтальной проекции равен углу внутреннего трения φ . Величина тангенса этого угла равна коэффициенту внутреннего трения

$$f = \operatorname{tg} \varphi.$$

Отрезок, отсекаемый прямой сдвига на вертикальной оси графика, равен величине сцепления C .

30.3. Определение сопротивляемости сдвигу скрытопластичных глинистых грунтов

Процесс уплотнения грунта при постоянной нагрузке называется *консолидацией*. Сопротивляемость сдвигу скрытопластичных глинистых грунтов происходит по методу незавершенной консолидации как от вертикальной, так и от горизонтальной нагрузки.

Н.Н.Маслов рекомендовал методику определения φ и C на образцах грунта, который уплотняют от исходного состояния плотности – влажности, заданной нагрузки в течение определенного времени до состояния, характеризуемого различными плотностью и влажностью.

По результатам испытаний грунта на сдвиг в приборе прямого сдвига получены значения влажности, нормального и сдвигающего усилий (см. табл. 30.5).

Исходные данные

Варианты	Нормальное давление					
	$P_1 = 0,1$ МПа		$P_2 = 0,2$ МПа		$P_3 = 0,3$ МПа	
	влаж-ность после сдвига W, %	сопротив-ляемость сдвигу τ , МПа	влаж-ность после сдвига W, %	сопротив-ляемость сдвигу τ , МПа	влаж-ность после сдвига W, %	сопротив-ляемость сдвигу τ , МПа
1,20	22	0,105	22	0,120	22	0,135
	31	0,040	31	0,055	31	0,070
	34	0,030	34	0,050	34	0,065
2,19	20	0,100	20	0,110	20	0,120
	26	0,060	26	0,070	26	0,080
	33	0,040	33	0,050	33	0,060
3,18	21	0,120	21	0,130	21	0,140
	28	0,060	28	0,080	28	0,090
	34	0,040	34	0,060	34	0,080
4,17	22	0,105	22	0,125	22	0,130
	29	0,055	29	0,075	29	0,090
	33	0,035	33	0,065	33	0,075
5,16	20	0,120	20	0,130	20	0,145
	25	0,080	25	0,090	25	0,100
	35	0,060	35	0,075	35	0,090
6,15	21	0,110	21	0,130	21	0,140
	28	0,050	28	0,070	28	0,090
	36	0,040	36	0,060	36	0,080
7,14	22	0,115	22	0,120	22	0,135
	29	0,050	29	0,070	29	0,090
	33	0,030	33	0,050	33	0,070
8,13	21	0,100	21	0,115	21	0,130
	28	0,050	28	0,070	28	0,085
	35	0,30	35	0,050	35	0,070
9,12	22	0,085	22	0,105	22	0,125
	30	0,040	30	0,060	30	0,070
	36	0,030	36	0,040	36	0,060
10,11	21	0,090	21	0,100	21	0,120
	26	0,060	26	0,070	26	0,080
	34	0,040	34	0,050	34	0,060

Метод Н.Н.Маслова является графическим и заключается в последовательном построении трех графиков:

- 1) $\tau = f(W)$ при $\sigma = \text{const}$;
- 2) $\tau = f(\sigma)$ при $W = \text{const}$;
- 3) $\varphi = f(W)$ при $C = W$.

Оси абсцисс всех трех графиков вычерчивают на одном уровне в масштабах:

по вертикали: $\tau - 0,01 \text{ МПа} - 5 \text{ мм}$;

по вертикали: $\varphi - 1^\circ - 5 \text{ мм}$;

по вертикали: $C - 0,01 \text{ МПа} - 5 \text{ мм}$;

по горизонтали: $W - 1\% - 5 \text{ мм}$ (наименьшее значение помещают в начало координат);

по горизонтали: $\sigma - 0,1 \text{ МПа} - 25 \text{ мм}$.

С построенного первого графика $\tau = f(W)$ переносим соответствующие точки на второй график $\tau = f(\sigma)$. Через полученные точки проводим прямую линию, по которой определяем значение φ и C и строим третий график $\varphi = f(W)$ и $C = f(W)$ (рис. 30.6).

Задание

1. Определить прочностные характеристики грунта методом неконсолидированного сдвига.
2. Построить график зависимости касательных напряжений от нормальных, по которому определить угол внутреннего трения и сцепление грунта.
3. Определить сопротивляемость сдвигу скрытопластичных глинистых грунтов.

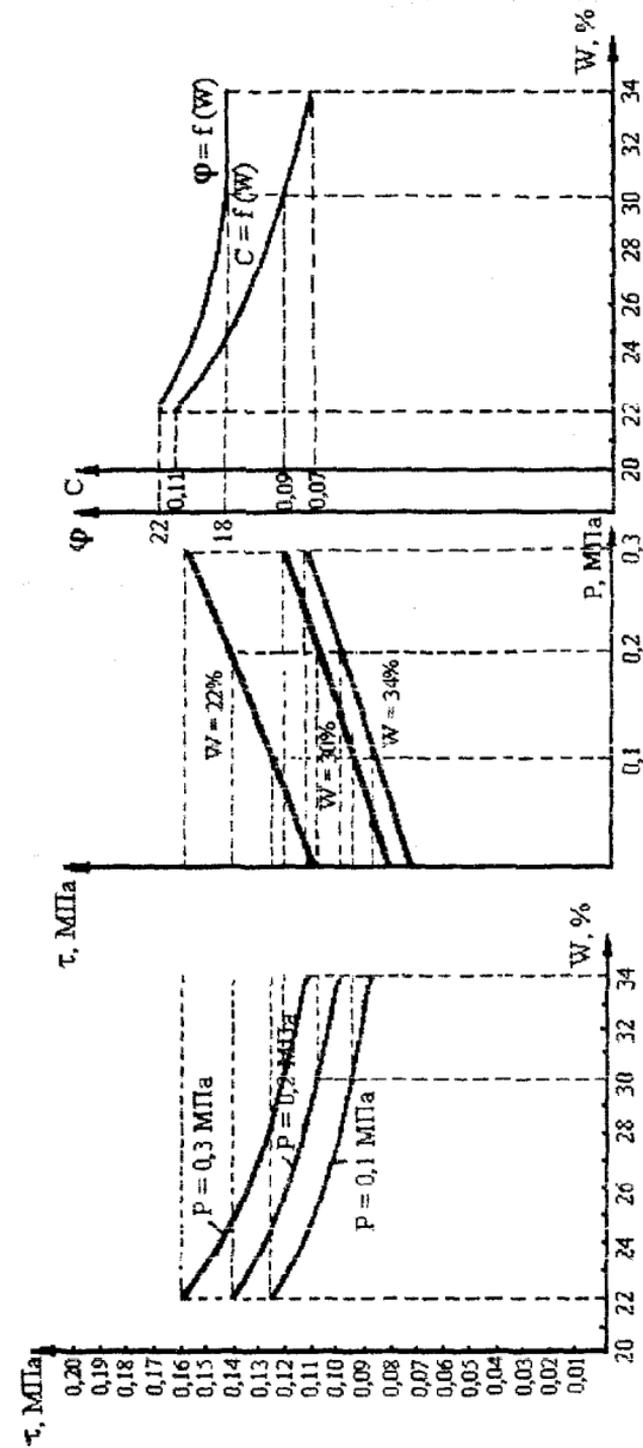


Рис. 30.6. График зависимости сопротивления сдвигу скрутопластичных глинистых грунтов

Вопросы для самопроверки

1. Какие параметры характеризуют сопротивление грунта сдвигу?
2. Как влияет влажность грунта на сопротивление сдвигу?

Л и т е р а т у р а

1. В ы р к о Н. П., Л е о н о в и ч И. И. Дорожное грунтоведение с основами механики грунтов. – Мн.: Выш. школа, 1977. – 223 с.
2. В ы р к о Н. П., Л е о н о в и ч И. И. Практикум по дорожно-му грунтоведению. – Мн.: Выш. школа. – 253 с.
3. Л о м т а д з е В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород. – Л.: Недра, 1972. – 312 с.
4. Б а б к о в В. Ф., Б е з р у к В. М. Основы грунтоведения и механики грунтов. – М.: Высш. школа, 1986. – 239 с.
5. М а с л о в Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: Высш. школа, 1982. – 511 с.
6. Л е о н о в и ч И. И., В ы р к о Н. П. Механика земляного полотна. – Мн.: Наука и техника, 1975. – 230 с.
7. Ш в е ц о в Г. И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты. – М. Высш. школа, 1987. – 296 с.
8. Ц ы т о в и ч Н. А. Механика грунтов. – М.: Высш. школа, 1973. – 280 с.
9. Б е л ы й Л. Д. Инженерная геология. – М.: Высш.: школа, 1985. – 231 с.
10. С е р г е е в Е. М. Инженерная геология. – М.: МГУ, 1982. – 248 с.
11. М а с л о в Н. Н., К о т о в М. Ф., З и н ю х и н а Н. В. Задачи по механике грунтов. – М.: Высш. школа, 1963. – 312 с.
12. П а в л и н о в В. Н., М и х а й л о в А. Е., К и з е в а л ь т е р Д. С. Пособие к лабораторным занятиям по общей геологии. – М.: Недра, 1983. – 158 с.
13. О Д о н о х ь ю М. Путеводитель по минералам: Пер. с англ. – Л.: Недра, 1985. – 207 с.
14. К а н т о р Б. З. Минерал рассказывает о себе. – М.: Недра, 1985. – 133 с.

Лабораторная работа № 12	
ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ГРАНУЛО-	
МЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА	97
Лабораторная работа № 13	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА	103
Лабораторная работа № 14	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ДИСПЕРСНОГО	
И СУХОГО ГРУНТА	110
Лабораторная работа № 15	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА И	
ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ	115
Лабораторная работа № 16	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ И	
ОПТИМАЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА	123
Лабораторная работа № 17	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ	
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГРУНТА ПЛОТНОМЕРОМ-	
ВЛАГОМЕРОМ СИСТЕМЫ Н.П.КОВАЛЕВА	130
Лабораторная работа № 18	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД	136
Лабораторная работа № 19	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО	
ТРЕНИЯ ПО УГЛУ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА	142
Лабораторная работа № 20	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ И КОНСИСТЕНЦИИ	
ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ	147
Лабораторная работа № 21	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ	
ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ	153
Лабораторная работа № 22	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМОКАНИЯ ГЛИНИСТЫХ	
ГРУНТОВ	161
Лабораторная работа № 23	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБУХАНИЯ ГЛИНИСТЫХ	
ПОРОД	165
Лабораторная работа № 24	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСАДКИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ	169

15. Вегман Е. Ф., Руфанов Ю. Г., Федорченко И. Н. Кристаллография, минералогия, петрография и рентгенография. – М.: Металлургия, 1990. – 263 с.

16. Петрашевский Р. И., Богданович Т. К., Бабаскин Ю. Г., Куприянчик А. А. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Инженерная геология, дорожное грунтоведение и механика грунтов» для студ. спец. 1211 – «Автомобильные дороги» и 1212 – «Мосты и тоннели». – Мн.: БПИ, 1981. – 64 с.

17. Бабаскин Ю. Г., Богданович Т. К., Куприянчик А. А., Петрашевский Р. И. Методическое пособие по проведению учебной практики по дисциплине «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог» для студ. спец. Т.19.03 - «Строительство дорог и транспортных объектов». – Мн.: БГПА, 1999.

18. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

19. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.

20. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава.

21. ГОСТ 22733-77. Грунты. Методы лабораторного определения максимальной плотности.

22. ГОСТ 23740-79. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ.

23. ГОСТ 24143-80. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки.

24. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация.

25. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.

26. СТБ 943-93. Грунты. Классификация.

Содержание

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ.....	5
Лабораторная работа № 2 КЛАССЫ МИНЕРАЛОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ НАЗВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОПРЕДЕЛИТЕЛЯ.....	13
Лабораторная работа № 3 ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА СТРУКТУРЫ СИЛИКАТОВ.....	29
Лабораторная работа № 4 ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД.....	34
Лабораторная работа № 5 ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД.....	41
Лабораторная работа № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД.....	48
Лабораторная работа № 7 ИЗУЧЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ СТБ 943-93.....	55
Лабораторная работа № 8 ОТРАЖЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ КОЛОНК И РАЗРЕЗОВ.....	66
Лабораторная работа № 9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ГРУНТА ВИЗУАЛЬНЫМ МЕТОДОМ.....	73
Лабораторная работа № 10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ГРУНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕТОДА С.И.РУТКОВСКОГО.....	84
Лабораторная работа № 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ГРУНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СИТОВОГО МЕТОДА.....	92

Лабораторная работа № 25 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ ГРУНТОВЫХ РАСТВОРОВ	173
Лабораторная работа № 26 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ГРУНТЕ	176
Лабораторная работа № 27 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ОБЩЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА	180
Лабораторная работа № 28 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ГРУНТА	190
Лабораторная работа № 29 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПРЕССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ	197
Лабораторная работа № 30 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ГРУНТА СДВИГУ	206
Литература	219

Учебное издание

БАБАСКИН Юрий Георгиевич

**ДОРОЖНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИКА
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРОГ**

Учебное пособие

Редактор Т.А.Палилова

Компьютерная верстка М.А.Чувиллина

Подписано в печать 31.01.2001.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура книжно-журнальная.

Усл.печ. л. 13,0. Уч.-изд. л. 10,2. Тираж 300. Заказ 558.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусская государственная политехническая академия.

Лицензия ЛВ № 155 от 30.01.98.

220027, Минск, проспект Ф. Скорины, 65.