

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Е.Д. ЛОМАЧЕВСКАЯ

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Лабораторный практикум

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых»

Оренбург 2009

УДК 556.3 (07)

ББК 26.3 я 7

Л 74

Рецензенты

профессор, доктор геолого-минералогических наук А.Я. Гаев
кандидат геолого-минералогических наук О.М. Севостьянов

Ломачевская Е.Д.

Л 74 Гидрогеология и инженерная геология : лабораторный практикум / Е.Д. Ломачевская. – Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – 147 с: ил.

ISBN

В учебном пособии к лабораторному практикуму описаны современные методы, приборы и оборудование, применяемые для определения основных показателей физико-механических свойств горных пород, рекомендуемые при изучении грунтов в инженерных, а также научно-исследовательских целях.

Лабораторный практикум состоит из 6 лабораторных работ, который позволяет студентам получить навыки организации, последовательности проведения исследований и обработки их результатов. Приведена методика установления обобщенных и расчетных показателей водно-физических, физических и механических свойств горных пород (грунтов).

Каждая работа включает теоретическое изложение материала, цель и методику выполнения, примеры расчета исследуемых показателей, с их последующим обобщением.

Цель настоящего пособия — закрепить теоретические знания по курсу, дать методическую основу и ознакомить студентов с приемами постановки и проведения лабораторных исследований по изучению основных гидрогеологических и инженерно-геологических свойств горных пород и водоносных горизонтов.

Предлагаются контрольные вопросы для усвоения дисциплины.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программе высшего профессионального образования по специальности 130301 «Геологическая съемка, поиск и разведка месторождений полезных ископаемых».

Л 1804080000

ББК 26.3 я 7

ISBN

© Ломачевская Е.Д., 2009

© ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

Введение.....	6
1 Исследование физико-механических свойств горных пород.....	8
1.1 Основные показатели физических свойств горных пород.....	8
2 Лабораторная работа № 1	
Определение плотности горных пород.....	12
2.1 Определение объемной плотности горных пород	12
2.1.1 Метод непосредственных измерений.....	13
2.1.2 Метод режущего кольца.....	13
2.2 Определение плотности минеральной части горных пород (незасоленных грунтов)	17
3 Физические и водно-физические свойства горных пород.....	21
3.1 Лабораторная работа № 2	
Определение влажности горных пород.....	21
3.2 Определение пределов пластичности глинистых пород и консистенции.....	22
3.3 Лабораторная работа № 2.1	
Определение общей влажности (естественной, весовой) и характерных влажностей грунта.....	25
3.3.1 Общая влажность.....	25
3.3.2 Определение пределов пластичности глинистых пород (характерных влажностей - W_t и W_p).....	28
3.3.2.1 Определение влажности на границе текучести стандартным методом.....	28
3.3.2.2 Определение влажности на границе раскатывания стандартным методом.....	30
3.4 Лабораторная работа № 2.2	
Расчет плотности скелета породы, пористости и коэффициента пористости.....	
3.4.1 Плотность скелета породы.....	34
3.4.2 Пористость и коэффициент пористости.....	35
3.5 Водные свойства горных пород.....	37
3.5.1 Лабораторная работа № 2.2 (продолжение)	
Расчет влагоемкости, водоотдачи и коэффициента водоотдачи..	40
3.5.1.1 Влагоемкость.....	40
3.5.1.2 Водоотдача и коэффициент водоотдачи.....	41
3.6 Заключение к лабораторной работе № 2.....	44
4 Лабораторная работа № 3	
Капиллярность, водопроницаемость горных пород. Морозное пучение грунта.....	46
4.1 Капиллярные свойства горных пород.....	46
4.2 Высота и скорость капиллярного поднятия.....	47
4.3 Определение капиллярных свойств рыхлых песчаных грунтов..	50

4.3.1	Лабораторная работа № 3.1 Метод непосредственных наблюдений.....	51
4.3.2	Пример расчета капиллярных свойств рыхлых песчаных грунтов.....	52
4.3.3	Расчет капиллярных свойств рыхлых песчаных грунтов.....	52
4.4	Определение водопроницаемости горных пород.....	54
4.4.1	Физические основы динамики подземных вод. Фильтрация жидкости в пласте.....	54
4.4.2	Определение коэффициента фильтрации.....	60
4.4.3	Лабораторная работа № 3.2 Определение водопроницаемости песчаного грунта с помощью фильтрационного прибора Г.Н. Каменского.....	61
4.5	Заключение к лабораторной работе № 3.2.....	68
4.6	Морозное пучение. Общие сведения.....	70
4.6.1	Определение коэффициента морозного пучения с использованием прибора Знаменского.....	71
4.6.2	Лабораторная работа № 3.3 Определение коэффициента морозного пучения грунта методом непосредственных измерений до и после замораживания.....	72
4.7	Заключение к лабораторной работе № 3.3.....	74
5	Лабораторная работа № 4 Водоустойчивость глинистых грунтов.....	75
5.1	Скорость размокания глинистых пород.....	75
5.1.1	Лабораторная работа № 4.1 Определение скорости и характера размокания глинистых грунтов	75
5.2	Величина и влажность набухания глинистых пород	80
5.2.1	Лабораторная работа № 4.2 Определение величины и влажности набухания глинистых пород.....	82
5.3	Величина и влажность усадки глинистых пород.....	85
5.3.1	Лабораторная работа № 4.3 Определение величины и предела усадки глинистых пород.....	85
5.4	Заключение к лабораторной работе № 4.....	88
6	Механические свойства горных пород.....	90
6.1	Общие положения.....	90
7	Деформационные свойства тонкодисперсных связных грунтов.....	91
7.1	Показатели деформационных свойств пылеватых и глинистых грунтов.....	91
7.2	Лабораторная работа № 5 Компрессионные испытания глинистых грунтов.....	92

7.3	Пример расчета количественных характеристик механических свойств глинистых грунтов по данным компрессионных испытаний.....	95
7.4	Пример определения основных характеристик по данным компрессионных испытаний.....	98
7.5	Расчет количественных характеристик механических свойств глинистых грунтов по данным компрессионных испытаний.....	103
7.6	Заключение к лабораторной работе № 5.....	106
8	Лабораторная работа № 6	
	Прочностные свойства тонкодисперсных связных и несвязных грунтов.....	108
8.1	Показатели прочностных свойств глинистых и песчаных грунтов.....	109
8.2	Лабораторная работа № 6.1	
	Определение прочностных характеристик глинистых грунтов (испытание грунтов на сдвиг).....	110
8.2.1	Пример расчета прочностных характеристик глинистых грунтов по данным испытания грунтов на сдвиг.....	113
8.2.2	Расчет прочностных характеристик глинистых грунтов по данным испытания грунтов на сдвиг.....	119
8.3	Заключение к лабораторной работе № 6.1.....	119
8.4	Устойчивость песчаных грунтов.....	121
8.4.1	Угол естественного откоса.....	121
8.4.2	Лабораторная работа № 6.2	
	Определение угла естественного откоса песков.....	124
8.5	Заключение к лабораторной работе № 6.2.....	126
8.5.1	Упрощенный метод определения угла естественного откоса....	126
8.5.2	Метод определения угла естественного откоса в полевых условиях.....	127
9	Обобщение результатов лабораторных исследований грунтов...	128
10	Контрольные вопросы для самопроверки дисциплины.....	138
10.1	Введение, основные понятия.....	138
10.2	Основы гидрогеологии. Вода в природе и в горных породах....	138
10.3	Физические и химические свойства и состав подземных вод....	139
10.4	Классификации подземных вод. Типы подземных вод.....	139
10.5	Основные законы движения подземных вод.....	140
10.6	Основы инженерной геологии. Минералы и горные породы.....	141
10.7	Массивы горных пород.....	142
10.8	Основы грунтоведения и инженерной петрологии.....	142
10.9	Основы инженерной геодинамики.....	144
10.10	Гидрогеологические и инженерные исследования.....	145
	Список использованных источников.....	146

Введение

Гидрогеология и инженерная геология – научные дисциплины, изучающие взаимодействие подземных вод и горных пород, включая изучение химических и физико-механических свойств подземных вод как сложных растворов и горных пород как многофазовых систем. Кроме этого, дисциплины рассматривают процессы, развивающиеся в толщах (массивах) горных пород при различных видах инженерной деятельности и методы их исследования.

Цель любых инженерно-геологических исследований заключается в получении информации об инженерно-геологических условиях, в том числе о составе и свойствах горных пород и грунтов. Лабораторные занятия являются обязательной и весьма важной составной частью учебного процесса по изучению гидрогеологии и инженерной геологии студентами специальности 130301 «Гидрогеология и инженерная геология».

В первой части курса (гидрогеология) студенты исследуют закономерности движения подземных вод в горных породах с целью количественной оценки этого процесса и управления им в нужном направлении. Изучают процессы взаимодействия подземных вод с горными породами и формирование химического состава подземных вод различного происхождения.

Во второй части курса (инженерная геология, инженерная петрология) студенты исследуют свойства горных пород (грунтов), определяющие их поведение в сфере воздействия инженерных работ и сооружений. В теоретическом плане главная проблема – изучение природы физико-механических свойств горных пород, то есть тех процессов, которые обусловили их физическое состояние, отношение к воде и закономерности изменений прочности и деформируемости. При этом рассматривается влияние на свойства горных пород условий их образования, условий залегания, состава, строения (структуры и текстуры), трещиноватости, выветрелости, напряженного состояния и других факторов.

Данные о составе горных пород, их структуре и текстуре получают в ходе инженерно-геологического опробования. Оно сводится к отбору необходимого количества проб пород из естественных обнажений, горных выработок и буровых скважин в процессе полевых работ. Отбор проб (опробование горных пород) проводится в процессе инженерно-геологической съемки, разведочных и опытных работ на каждой стадии инженерных изысканий.

Образцом грунта следует считать любой объем грунта, отобранный для дальнейшего изучения. В зависимости от цели изучения породы и способа отбора образцов породы, возможно как сохранение ее характеристик, так и их изменение. То есть – это такие показатели как данные о структуре и текстуре горных пород, сведения об объемной плотности и естественной влажности грунта, которые могут быть сохранены относительно массива или изменены при отборе.

Под пробой грунта понимают, объем грунта, отделенный или не отделенный от массива, взаимодействующий в ходе испытаний с лабораторным прибором (оборудованием) или с рабочим устройством полевого прибора (установки). В первом случае пробу строго или приближенно вырезают из образца грунта, такую пробу называют лабораторной (ГОСТ 30416).

При испытании грунтов полевыми методами с рабочим органом полевого прибора взаимодействует некоторая фиксированная область грунта, залегающая в массиве, – это полевая проба. Различают пробы с нарушенной и ненарушенной (монолиты) структурой.

Для успешного освоения теоретического материала о движении подземных вод, о физической сущности природы свойств горных пород, учебным планом и программой предусмотрены самостоятельные занятия студентов в лаборатории. На лабораторных занятиях студенты знакомятся с современными методами, приборами и оборудованием, применяемыми при изучении физико-механических и водных свойств горных пород. При этом большое внимание уделяется организации лабораторных занятий, последовательности проведения исследований, обработке результатов и их оценке. В лабораторный практикум входят работы по изучению фильтрационных процессов, по определению фильтрационных параметров и по исследованию всех основных свойств горных пород, используемых при строительстве (в том числе шахт, карьеров), а также работы по оценке устойчивости горных пород в массиве.

Достоверность и надежность данных лабораторных исследований физико-механических и водных свойств горных пород зависит от способа отбора проб, их упаковки, транспортировки и хранения (ГОСТ 12071). Все пробы, поступившие в лабораторию, регистрируются в специальном журнале, а результаты испытаний заносятся в сводную таблицу.

Завершающей частью лабораторных занятий является знакомство с методами обработки результатов лабораторных исследований, с методами установления обобщенных и расчетных показателей. Сбор, обработка и анализ результатов исследований предполагают использование современной вычислительной техники. Методика и порядок выполнения лабораторных исследований даны в учебном пособии с расчетом на значительное повышение самостоятельности работы каждого студента.

Состав лабораторных работ предусматривает также возможность занятий студентов, обучающихся по заочной форме.

При работе над учебным пособием автором был использован ценный методический опыт ранее издававшихся пособий, таких как:

- методы лабораторных исследований под редакцией Ломтадзе В.Д. [1];
- методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов под редакцией Бирюкова Н.С. и др. [2];
- учебное пособие для лабораторных работ под редакцией Малкиной Г.С. [3];
- а также собственный опыт преподавания в Оренбургском Государственном университете.

1 Исследование физико-механических свойств горных пород

Методы определения основных показателей состава и физико-механических свойств грунтов подробно описаны в следующих пособиях: Ломтадзе В.Д. «Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований», 1990 [1]; Бирюкова Н.С., Казарновского В.Д., Мотылева Ю.Л. «Методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов», 1975 [2] и др.

При составлении настоящего учебного пособия по исследованию физико-механических свойств грунтов автор, прежде всего, ссылался на вышеуказанные пособия с учетом новых стандартов, введенных в период с 1996 по 1997 годы (ГОСТ 25100; ГОСТ 30416; ГОСТ 12248).

1.1 Основные показатели физических свойств горных пород

Согласно Ломтадзе В. Д. [1], главнейшими физическими свойствами горных пород являются, плотность минеральной части, « ρ_s »; плотность породы, « ρ » и плотность скелета породы, « ρ_d »; пористость, « n » и коэффициент пористости, « ϵ »; а для пород полускальных, песчаных и глинистых также и влажность, « W ».

Эти свойства взаимосвязаны и в целом выражают физическое состояние пород, т. е. их качественную определенность, как в условиях естественного залегания, так и в теле сооружений (плотинах, дамбах, насыпях и др.) и отвалах.

Качественная определенность горных пород, проявляясь в их плотности, пористости, влажности, консистенции, а также в степени выветрелости и трещиноватости, составляет их отличительную особенность в отношении сопротивления разрушению и деформациям. Поэтому по основным физическим свойствам можно косвенно судить о прочности, деформируемости и устойчивости горных пород, а также об изменении их под влиянием геологических процессов и искусственных факторов.

Качественная определенность горных пород сохраняется в пределах некоторого интервала количественных (цифровых) изменений их физических свойств. Это позволяет отличать по физическому состоянию одни разновидности пород от других, а в геологическом разрезе характеризовать определенным образом каждую толщу, слой, пачку, а в однородных по петрографическому составу породах выделять зоны и подзоны.

Природа физических свойств горных пород, показатели, их характеризующие, и факторы, влияющие на их величину, известны из теоретической части курса инженерной геологии таких авторов как Ломтадзе В.Д.; Сергеев Е.М. и др. [4, 5, 6].

Сводка основных показателей физических свойств горных пород приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные характеристики физических свойств горных пород для оценки их физического состояния

Количество	Характеристики	Обозначения	Определение характеристики	Формула для вычислений	Единицы измерения
1	2	3	4	5	6
1	Плотность породы	ρ	Плотность - отношение массы грунта (включая массу воды в его порах) к занимаемому этим грунтом объему	$\rho = g/V = (g_1 + g_2) / (V_1 + V_2)$	г/см ³
	Объем образца грунта ненарушенного сложения при естественной влажности	V			
2	Плотность минеральной части породы	ρ_s	Отношение массы сухого грунта к объему его твердой части	$\rho_s = g_s / V_s = \rho_d / (1 - (0,01 \cdot W \cdot \rho_d))$ где $W = W_{max}$	г/см ³
3	Плотность скелета породы при естественной пористости	ρ_d	Отношение массы сухого грунта к объему, занимаемому этим грунтом (включая объем пор)	$\rho_d = g_s / V = \rho / (1 + (0,01 \cdot W))$	г/см ³
				$\rho_d = \rho_s / (1 + (0,01W \cdot \rho_s))$ где $W = W_{max}$	
4	Плотность скелета рыхлой породы	ρ_{dw}			г/см ³
5	Плотность влажного грунта	ρ_c		$\rho_c = \rho_d \cdot (1 + 0,01 \cdot W)$	г/см ³
6	Плотность воды	ρ_w	Плотность пластовой воды изменяется от 1,0 до 1,4 г/см ³		г/см ³
7	Естественная влажность	$W_{ест}$	Влажность грунта в природном состоянии		%

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
8	Влажность весовая	W	Отношение массы воды, содержащейся в грунте, к массе сухого грунта	$W = g_2 / g_1 = g_n / g_s$ $W = [(\rho - \rho_d) / \rho_d] \cdot 100\%$ $W = [(1 - \rho_d / \rho_s) / \rho_d] \cdot 100\%$	%
9	Объемная влажность	W_v	Отношение объема воды, содержащейся в грунте, к общему объему грунта	$W_v = W \cdot \rho_d = W \cdot \rho_d / \rho_w$	%
10	Пористость	n	Отношение объема пор к объему всего грунта, включая поры	$n = V_n / V = (\varepsilon / (1 + \varepsilon)) \cdot 100\%$ $n = [(1 - (\rho_d / \rho_s))] \cdot 100\%$	%
11	Коэффициент пористости	ε, e	Отношение объема пор к объему твердой части (скелета) грунта	$\varepsilon = V_n / V_s = n / (1 - n) = n/m$ $\varepsilon = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$ $\varepsilon = 0,01 \cdot W \cdot \rho_s$, где $W = W_{\max}$	доли единиц
12	Коэффициент водонасыщения (степень влажности)	S_R, G	Отношение объема воды к объему пор грунта - степень заполнения пор водой (ρ_w - плотность воды, г/см ³)	$S_R = W / W_{\max}$ $S_R = (0,01 \cdot W \cdot \rho_s) / (e \cdot \rho_w)$	доли единиц
13	Влажность рыхлого песка	W_{rp}		$W = [(1 - \rho_d / \rho_s) / \rho_d] \cdot 100\%$ $W = [(\rho_s / \rho_d - 1) / \rho_s] \cdot 100\%$	%
14	Полная влагоемкость (влагоемких пород) или водоемкость (невлагоемких)	W_{\max}	Влажность грунта, соответствующая полному заполнению пор водой	$W_{\max} = \varepsilon \cdot \rho_w / \rho_s$ $W_{\max} = [(1 / \rho_d) - (1 / \rho_s)] \cdot \rho_w$	%
15	Гигроскопическая влажность	W_R	Влажность воздушно-сухого грунта		%
16	Максимальная молекулярная влагоемкость	W_m	Влажность грунта при максимальной толщине пленок связанной воды		%

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
17	Коэффициент водоотдачи (для песчаных пород)	K_B, μ	Отношение объема свободно вытекающей (или извлекаемой) из грунта воды (при полном заполнении пор водой) к объему всего грунта	$K_B = (W_{max} - W_m) \cdot 0,01$	доли единиц
				$K_B = (\varepsilon \cdot \rho_w) / \rho_s - (0,01 \cdot W_m)$	
18	Влажность на границе текучести	W_T	Влажность, при которой связный грунт переходит из пластичного состояния в текучее и наоборот		%
19	Влажность на границе пластичности	W_P	Влажность, при которой связный грунт переходит из твердого состояния в пластичное и наоборот		%
20	Число пластичности (по ГОСТ 5180)	I_p	Разность влажностей на границах текучести и пластичности	$I_p = (W_T - W_P)$	%
21	Показатель консистенции (текучести)	B	Показатель состояния грунта нарушенного сложения	$B = (W - W_P) / I_p$ $B = (W - W_P) / (W_T - W_P)$	доли единиц
где:	Масса образца грунта после сушки в термостате (абсолютно сухой грунт)			g_1, g_o, g_s	г
	Масса пор породы с воздухом и с пластовой водой			$g_2, g_{п}$	г
	Масса образца грунта при естественной влажности (ненарушенного или нарушенного сложения)			g	г
	Масса грунта после сушки на воздухе			g_c	г
	Объем минеральной части грунта			V_1, V_s	см ³
	Объем несообщающих пустот грунта, заполненных воздухом и пластовой водой			$V_2, V_{п}$	см ³
	Объем твердой фазы грунта			m	доли единиц

2 Лабораторная работа № 1

Определение плотности горных пород

Плотность горных пород служит показателем разной степени их уплотненности и поэтому используется при расчленении разновозрастных толщ, комплексов и формаций и корреляции разрезов. Она может применяться как показатель вторичных изменений горных пород под влиянием естественных и искусственных факторов. Чем выше плотность, тем выше прочность грунта. Для повышения прочности, грунт уплотняют: уплотнению сухого или слабовлажного грунта мешают прочные структурные связи, а сильновлажного – водные пленки, обволакивающие частицы.

Предметом данной лабораторной работы является определение физических свойств горных пород, таких как: *объемная плотность влажного грунта, и плотность его минеральной части* [1].

2.1 Определение объемной плотности горных пород

Объемная плотность — важный показатель физических свойств грунта, определяющий ряд инженерно-геологических свойств его, а также структурные особенности (плотность расположения слагающих элементов). Плотностью горной породы принято называть ее массу в единице объема при естественном сложении и влажности. Различают объемную плотность влажного грунта и объемную плотность скелета грунта. Объемная плотность грунта « ρ » — это отношение массы влажного образца грунта « g » к его объему « V ». Объемная плотность скелета грунта « ρ_d » — отношение массы сухого образца грунта « g_s » к его объему « V ». Масса влажного и сухого образцов грунта определяется взвешиванием с точностью не менее 0,1 % от массы образца во влажном состоянии. При испытании должны учитываться методы отбора образцов грунтов, их упаковка и хранение, а также положения касающиеся высушивания проб грунта. Объем образца грунта определяется в зависимости от его гранулометрического состава и консистенции чаще всего одним из следующих методов: гидростатического взвешивания образца, покрытого парафином; непосредственного измерения; режущего кольца; радиометрическим; и др.

Лабораторные исследования определения объемной плотности горных пород проведены на глинистых образцах (№ 1.1) и песчаных образцах (№ 2.1) грунта ненарушенного сложения методом режущего кольца. Данные исследования заносятся в журнал 1. В настоящей лабораторной работе описываются: метод непосредственных измерений и метод режущего кольца.

2.1.1 Метод непосредственных измерений

Определение плотности горных пород методом непосредственных измерений производят в тех случаях, когда предоставляется возможность вырезать образцы правильной геометрической формы.

Метод непосредственных измерений применяют для таких грунтов, когда объем и форма отбираемого образца грунта может быть сохранена без помощи жесткой обоймы.

Для определения необходимо иметь:

- 1) весы технические;
- 2) линейку с делениями или штангенциркуль;
- 3) журнал.

Последовательность определения

1. Из монолита горной породы вырезают, выпиливают или выбуривают образец правильной формы в виде куба, прямоугольного параллелепипеда или цилиндра.

2. Образец измеряют линейкой или штангенциркулем и вычисляют объем «V».

3. Взвешивают образец на технических весах с точностью до 0,01 г и получают массу «g».

4. Вычисляют плотность горной породы «ρ» (г/см³) по формуле:

$$\rho = \frac{g}{V_{г.п.}}, \quad (2.1)$$

где ρ – плотность горной породы, г/см³;

g – масса образца породы, г;

V_{г.п.} – объем породы, см³.

4. Для каждой пробы горной породы следует производить два параллельных определения, а затем вычислять среднее значение с точностью до 0,01. Расхождение результатов между параллельными определениями допускается в пределах до 0,02 г/см³.

5. Все данные измерений и вычислений записывают в журнал и сводную таблицу.

6. Определение плотности горных пород этим методом студентами не проводится.

2.1.2 Метод режущего кольца

Метод режущего кольца применяют для связных грунтов, а также в случаях, когда объем и форма отбираемого образца грунта могут быть сохранены только при помощи жесткой обоймы.

Объемную плотность песчаных грунтов ненарушенного сложения и природной влажности определяют на месте отбора образца методом режущего кольца.

Этот метод определения плотности применим для мягких горных пород — глин, суглинков, супесей, песков, из которых можно вырезать образец режущим кольцом (ГОСТ 5180).

При использовании этого метода необходимо иметь:

- 1) режущее кольцо (рисунок 2.1) из некорродирующего металла с заостренным режущим краем, диаметром не менее 50—70 мм, высотой не более диаметра и не менее половины диаметра, с толщиной стенок 1,5—2 мм;
- 2) штангенциркуль;
- 3) нож;
- 4) весы технические;
- 5) журнал № 1.

Последовательность определения

1. Измеряют при помощи штангенциркуля внутренний диаметр и высоту режущего кольца и вычисляют его объем V (формула 2.2):

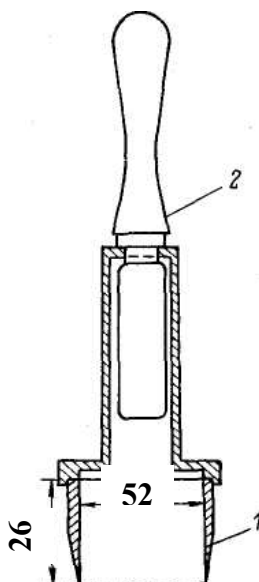
$$V = \frac{3,14 \cdot D^2 \cdot h}{4}, \quad (2.2)$$

где V — объем режущего кольца, см³;

D — внутренний диаметр режущего кольца, 5,2 см²;

h — высота режущего кольца, 2,6 см.

Взвешивают кольцо на технических весах с точностью до 0,01 г и получают массу m_1 .



Условные обозначения: 1 — режущее кольцо; 2 — ручка с упором.

Рисунок 2.1 - Приспособление для вырезания образцов режущим кольцом

2. Кольцо ставят заостренной стороной на зачищенную и выровненную поверхность монолита горной породы. Остро отточенным ножом тонкими срезами вырезают столбик горной породы диаметром на 1 мм больше внутреннего диаметра кольца. По мере вырезания кольцо постепенно надевают на столбик горной породы. Лишняя часть породы срезается при этом острыми краями кольца. При надевании кольца на столбик породы не следует допускать крошения породы по боковым поверхностям столбика. Загрузка кольца простым задавливанием его в монолит нежелательна, так как это нарушает естественное сложение породы и не обеспечивает плотного заполнения кольца. После того, как столбик породы выступит над краями кольца, лишнюю часть породы следует срезать вровень с нижним и верхним его краями.

Обработка результатов

1. Кольцо с породой взвешивают на технических весах и получают массу m_2 .

Определив чистую массу породы g вычисляют ее плотность ρ (г/см³):

$$\rho = \frac{g}{V}, \quad (2.3)$$

где ρ – плотность породы при естественной влажности, г/см³;

g – масса образца породы ($g = m_2 - m_1$), г;

V – объем режущего кольца, см³.

Для каждой пробы горных пород следует производить **два параллельных определения** и затем вычислять среднее значение плотности с точностью до 0,01. Расхождение результатов между параллельными определениями не должно превышать 0,02 г/см³.

2. В журнале 1 приведены данные плотности горных пород, определенные на глинистых образцах (№ 1.1) и песчаных образцах (№ 2.1) грунта при одном определении.

Задание для студентов:

3. Студентам следует самостоятельно провести второе определение на глинистых образцах (№ 1.1) и песчаных образцах (№ 2.1) и затем вычислять среднее значение плотности с точностью до 0,01.

4. Сделать выводы.

Цифровые данные записывают в журнал 1 (таблица 2.1), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 2.1 – Журнал № 1. Определение плотности грунта (ρ) природной влажности методом режущего кольца

Лабораторный номер	Дата	Масса кольца, г		Масса образца породы (g), г, ($m_2 - m_1$)	Объем кольца (V), см^3	Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$		Примечание
		Пустого (m_1)	С породой (m_2)			Отдельного образца (погрешность до 0,02)	Средняя	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1	13.09	51,05	151,14	100,09	55,19	1,814		глины
«»	«»	51,05	150,72		55,19			
2.1	13.09	51,05	146,04	94,99	55,19	1,721		пески рыхлые несвязные
«»	«»	51,05	145,90		55,19			

Примечания

1 Взвешивание образца грунта проводится с точностью до 0,01 г (технические весы).

2 Диаметр режущего кольца, $D = 52,0 \text{ мм} = 5,2 \text{ см}$; $D^2 = 27,04 \text{ см}^2$.

3 Высота режущего кольца, $h = 26,0 \text{ мм} = 2,6 \text{ см}$.

2.2 Определение плотности минеральной части горных пород (незасоленных грунтов)

Плотностью минеральной части горной породы (или удельная масса) называется масса ее минеральной части (скелета) в единице объема. Численно она равна отношению массы твердой минеральной части породы к ее объему:

$$\rho_s = \frac{g_s}{V_s}, \quad (2.4)$$

где ρ_s – плотность минеральной части породы при естественной влажности, г/см³;

g_s - абсолютно сухая масса грунта, которую получают после вышивания его в термостате при температуре 104 °С, г;

V_s - объем, занимаемый этим грунтом (или объем скелета породы), см³.

Плотность минеральной части пород служит для вычисления других показателей, плотность породы в целом характеризует плотность ее сложения и поэтому позволяет косвенно судить о прочности, деформируемости и устойчивости.

У пород, находящихся ниже уровня подземных вод, минеральные частицы испытывают взвешивающее действие воды, и поэтому их плотность соответственно уменьшается.

Плотность минеральной части горных пород определяют главным образом пикнометрическим методом (ГОСТ 5180).

Для ее определения необходимо иметь следующее оборудование:

- 1) пикнометр вместимостью 100 см³ (рисунок 2.2);
- 2) весы технические;
- 3) ступку с пестиком (фарфоровую ступку - для песчаных и глинистых пород, агатовую или яшмовую ступку - для скальных и полускальных);
- 4) сито с диаметром отверстий 2 мм;
- 5) бюксы стеклянные;
- 6) баню песчаную;
- 7) сушильный шкаф;
- 8) термометр;
- 9) дистиллированную воду;
- 10) воронку;
- 11) журнал № 2.

Подготовка грунта

1. Пробу горной породы, находящуюся в воздушно-сухом состоянии, растирают пестиком в фарфоровой (агатовой) ступке и просеивают через сито с

диаметром отверстий 2 мм. Частицы диаметром более 2 мм, оставшиеся на сите, размельчают в ступке и просеивают.

2. Из просеянной и тщательно перемешанной породы берут навеску около 15 г в стеклянный бюкс, который предварительно взвешивают. Затем породу в бюксе высушивают в термостате при температуре $100 \div 105$ °С до постоянной массы и охлаждают в эксикаторе.

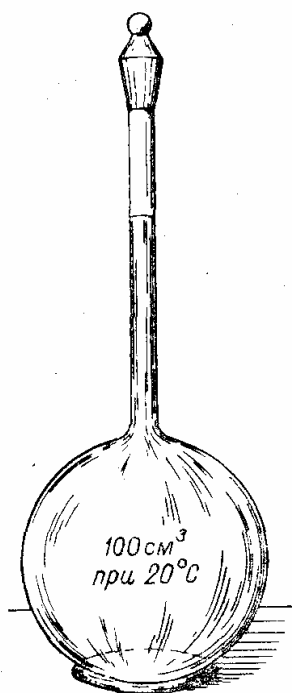


Рисунок 2.2 - Общий вид пикнометра

Последовательность определения

1. Пикнометр наливают дистиллированной водой до метки. Температура воды в нем должна быть 18, 20 или 22 °С. Взвешивают пикнометр на технических весах с точностью до 0,01 г. Получают массу пикнометра с водой g_1 . При выполнении массовых определений плотности минеральной части горных пород рекомендуется заранее составить таблицу массы пикнометров с водой разной температуры, например при 18, 20 и 22 °С.

2. Во взвешенный и протарированный сухой пикнометр (**масса m_0**) осторожно через воронку переносят высушенную навеску грунта. Пикнометр с грунтом взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. (**масса m_1**). Из массы пикнометра с породой вычитают массу пикнометра ($m_1 - m_0$) и получают массу сухой породы g .

3. Для удаления воздуха из породы пикнометр наполняют дистиллированной водой на $0,3 \div 0,5$ его вместимости и кипятят на песчаной бане (не допуская разбрызгивания) в течение 30 минут при исследовании грубозернистых пород и 1 часа при исследовании тонкозернистых и глинистых.

4. После кипячения пикнометр охлаждают в ванне с водой, доливают

до метки дистиллированной водой и измеряют температуру воды, которая должна быть, как и в первом случае, равной 18, 20 или 22 °С. Уровень воды в пикнометре устанавливают строго по нижнему краю мениска, для чего микропипеткой добавляют или удаляют необходимое количество воды. Пикнометр тщательно обтирают и взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г и получают массу пикнометра с водой и породой g_2 .

5. На основании полученных данных вычисляют плотность минеральной части породы ρ_s (г/см³) по следующей формуле (с точностью до 0,001):

$$\rho_s = \frac{g}{(g_1 + g - g_2)} \cdot \rho_{\text{воды}}, \quad (2.5)$$

где ρ_s – плотность минеральной части породы при естественной влажности, г/см³;

g - масса сухой породы, которую получают после высушивания его в термостате при температуре 104 °С, г;

g_1 - масса пикнометра с водой, г;

g_2 - масса пикнометра с водой и породой, г;

$\rho_{\text{воды}}$ - плотность воды, равна 1, г/см³.

Или:

$$\rho_s = \frac{g}{(g + (g_1 - g_2))} \cdot \rho_{\text{воды}} = \frac{g}{(g - g_0)} \cdot \rho_{\text{воды}}, \quad (2.6)$$

где g_0 - масса воздуха в образце породы, г;

$\rho_{\text{воды}}$ - плотность воды, равна 1, г/см³.

6. Для каждой породы следует производить два параллельных определения и затем вычислять среднее значение с точностью до 0,01. Расхождение между результатами определений допускается до 0,02 г/см³.

7. В журнале 2 приведены данные плотности минеральной части горных пород, определенные на глинистых образцах грунта (№ 1.1) и песчаных образцах (№ 2.1) при одном определении.

Задание для студентов:

8. Студентам следует самостоятельно провести второе определение на глинистых образцах (№ 1.1) и песчаных образцах (№ 2.1) и затем вычислять среднее значение плотности с точностью до 0,01.

9. Сделать выводы.

Цифровые данные, получаемые в процессе определения плотности минеральной части пород, записывают в журнал 2 (таблица 2.2), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 2.2 - Журнал № 2. Определение плотности частиц грунта (минеральной части породы - ρ_s) пикнометрическим методом

Лабораторный номер	Дата	Номер пустого бюкса	Масса пустого бюкса, г	Подготовка грунта - навеска, г		Номер пикнометра	Объем пикнометра, см ³	Масса пикнометра, г				Масса сухой породы, г, g	Плотность минеральной части, ρ_s , г/см ³		Температура воды, °С	Примечание
				Масса бюкса с сухой породой	Масса породы для анализа			Пустого, m ₀	Масса с сухой породой, m ₁	С водой до риски, g ₁	С породой и водой до риски, g ₂		Отдельной пробы (погрешность до 0,02)	Средняя		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.1	13.09	129	100,04	113,93	13,89	10	100	140,05	152,13	240,12	247,36	12,08	2,496		20	глина
«»	«»	«»	100,04	113,98	13,94	10	100	140,05	152,17	240,12	247,40					
2.1	13.09	130	100,15	111,86	11,71	9	100	140,00	150,14	250,00	254,96	10,14	1,958		20	пески
«»	«»	«»	100,15	111,88	11,73	9	100	140,00	150,20	250,00	255,00					

3 Лабораторная работа № 2

Физические и водно-физические свойства горных пород

К основным из физических свойств, изучаемых в гидрогеологии и инженерной геологии, относятся плотность (ее виды), пористость и коэффициент пористости для всех классов грунтов, а у грунтов полускальных и дисперсных (рыхлых несвязных и мягких связных) – выделяют еще и влажность. Кроме этого, в настоящем разделе, выделяют такие главные свойства грунтов, определяющие их отношение к воде, как: влагоемкость (водоемкость), водоотдача и коэффициент водоотдачи [1, 2].

3.1 Определение влажности горных пород

В природных условиях в грунтах всегда содержится вода, но ее количество, т.е. влажность (W), может изменяться в широких пределах.

Влажность грунта характеризуется количеством воды, которая удаляется из него вследствие высушивания при температуре $100 \div 105$ °С до его постоянного веса [1].

Естественная, или природная, влажность грунта — влажность его в условиях естественного залегания. В зависимости от способа выражения влажности грунта и принятых единиц измерения различают весовую W , объемную W_v и относительную G влажность.

Весовая влажность грунта — отношение массы воды, удаленной из образца высушиванием его при $100 \div 105$ °С, к массе образца грунта в сухом состоянии, выраженное в долях единицы или процентах – формула 3.1:

$$W = \frac{g_n}{g_s}, \quad (3.1)$$

$$\text{откуда } g = g_n + g_s, \quad (3.2)$$

где W — весовая влажность, доли единицы или %;

g — масса образца грунта при естественной или весовой влажности, г;

g_s — масса образца грунта после сушки в термостате, г;

g_n — масса пор породы с воздухом и с пластовой водой, г.

Если влажность определена по естественным образцам породы, она называется естественной – $W_{\text{ест}}$.

Объемная влажность грунта — отношение объема воды, содержащейся в грунте, к объему всего грунта, выраженное в долях единицы или процентах.

Объемную влажность W_v можно рассчитывать по значениям весовой влажности W и объемной плотности скелета ρ_d грунта, пользуясь формулой 3.3:

$$W_v = W \cdot \rho_d = W \frac{\rho_d}{\rho_w}, \quad (3.3)$$

где W_v — объемная влажность, доли единиц или %;
 W — весовая влажность, доли единиц или %;
 ρ_d — объемной плотности скелета грунта, г/см³;
 ρ_w — плотность воды, г/см³.

Относительная влажность грунта G — отношение массы воды в грунте к объему пор, выраженное в долях единицы.

Относительная влажность называется также коэффициентом водонасыщения, или степенью водонасыщения, так как она характеризует степень заполнения пор грунта водой. Величина относительной влажности обычно изменяется от нуля (сухой грунт) до единицы (полностью водонасыщенный грунт), хотя иногда может быть больше единицы вследствие того, что при нагревании некоторых грунтов до 100 ÷ 105 °С удаляется часть воды, входящей в их кристаллическую решетку.

Относительная влажность грунта G рассчитывается по одному из следующих отношений:

$$G = \frac{W}{W_{\max}} = \frac{W \cdot \rho_d}{n} = \frac{W \cdot \rho_s}{\varepsilon}, \quad (3.4)$$

где W — весовая влажность, доли единиц или %;
 W_{\max} — полная влагоемкость, доли единиц или %;
 n — пористость, доли единиц или %;
 ε — коэффициент пористости, доли единиц;
 ρ_d — объемная плотность скелета, г/см³;
 ρ_s — удельная плотность грунта (плотность минеральной части горной породы), г/см³.

Установление влажности необходимо наряду с другими видами испытания грунтов для их характеристики при установлении пределов пластичности, объемной плотности, пористости и т. д., а также для суждения об уплотняемости грунтов, зависящей от определенного диапазона их влажности, о физическом состоянии грунтов, обуславливающих их прочность и деформируемость.

3.2 Определение пределов пластичности глинистых пород и консистенции

Глинистые породы под действием внешних усилий — нагрузки одинаковой стандартной величины, но при разной влажности — могут быть текучими, пластичными или твердыми. Характерные значения влажности, при

которых изменяется консистенция — физическое состояние глинистых пород, принято называть пределами пластичности. Наиболее важными из них являются предел текучести и предел пластичности [1, 2].

Пластичность грунта — это способность его изменять свою форму (деформироваться) без разрыва сплошности под воздействием внешних сил и сохранять приданную ему форму после прекращения воздействия внешних сил.

Пластичность грунтов обуславливается содержанием в них глинисто-пылеватых частиц, а также их минеральным составом, и поэтому она характерна для связных грунтов.

Пластичные свойства этих грунтов тесно связаны с влажностью — в зависимости от степени увлажнения они могут находиться в твердом, полутвердом, пластичном и текучем состоянии.

Переход глинистого грунта из одного состояния в другое с изменением влажности довольно резкий, при этом изменяется степень устойчивости или прочности грунта под нагрузкой.

Поэтому влажности, соответствующие резким переходам грунта из одного состояния (консистенции) в другое (критические влажности), в инженерно-геологической практике используют в качестве наиболее важных его характеристик.

При инженерно-геологических исследованиях пластичность грунта выражают двумя показателями — **верхним и нижним пределами пластичности**.

Верхний предел пластичности (граница текучести, W_T) грунта соответствует его влажности, определенной испытанием, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее.

Нижний предел пластичности (граница раскатывания, W_P) грунта соответствует его влажности, определенной испытанием, при которой грунт переходит из пластичного состояния в полутвердое.

Интервал влажности, в пределах которого грунт находится в пластичном состоянии, определяемый как разность между значениями влажности, соответствующими верхнему и нижнему пределам пластичности, называется числом пластичности грунта I_p и используется как классификационный показатель грунта – формула 3.5:

$$I_p = W_T - W_P, \quad (3.5)$$

где I_p — число пластичности грунта, доли единиц или %;

W_T — граница текучести, доли единиц или %;

W_P — граница раскатывания, доли единиц или %.

Число пластичности больше у грунтов, содержащих монтмориллонит, и тем больше, чем больше в грунте глинистых частиц. Это число в значительной мере характеризует степень глинистости породы. Поэтому его используют для ориентировочной классификации глинистых отложений главным образом четвертичного возраста.

Если число пластичности > 17 %, то порода высоко-пластичная и ее классифицируют как глину; при числе пластичности $7 \div 17$ % порода средне-пластичная – суглинок; при числе пластичности $1 \div 7$ % порода слабо-пластичная – супесь.

По пределам пластичности, числу пластичности и естественной влажности (или весовой влажности $W_{есм.}$) судят о естественной (природной) консистенции грунта, которая выражается показателем консистенции $B(I_p)$:

$$B(I_p) = \frac{W - W_p}{W_T - W_p}, \quad (3.6)$$

где $B(I_p)$ - показатель текучести, доли единиц;

W – весовая влажность, доли единиц или %;

W_p - влажность на границе раскатывания, доли единиц или %;

W_T - влажность на границе текучести, доли единиц или %.

Показатель консистенции грунта широко применяется при классификации связных грунтов.

Определение этих пределов обычно производят по образцам глинистых пород **нарушенного сложения**.

Поэтому они имеют явно условный характер и позволяют в большинстве случаев только грубо приближенно характеризовать и оценивать физическое состояние глинистых пород четвертичного возраста, т. е. пород, не претерпевших значительных изменений при литификации.

Однако простота и доступность методов определения пределов пластичности позволяют широко ими пользоваться для предварительной характеристики и оценки консистенции глинистых пород на разных стадиях инженерных изысканий. Так, например, если « $W > W_T$ », то глинистая порода после нарушения естественного сложения должна стать текучей, если « $W_p < W < W_T$ » – пластичной и если « $W < W_p$ » – твердой.

Следовательно, глинистые породы в условиях естественного залегания и сложения могут существенно отличаться от тех же пород нарушенного сложения или от глинистых паст, приготовленных в лабораторных условиях растиранием глинистой породы с водой.

Поэтому при оценке консистенции глинистых пород в условиях естественного залегания это обстоятельство следует учитывать.

Удобной характеристикой состояния глинистых пород является показатель их относительной консистенции (D_k), который связан с показателем консистенции следующим уравнением – формула 3.7:

$$D_k = \frac{W_T - W}{W_T - W_p} = 1 - B(I_p), \quad (3.7)$$

где D_k – относительная консистенция, доли единиц;

- W – весовая влажность, доли единиц;
 W_p - влажность на границе раскатывания, доли единиц;
 W_T - влажность на границе текучести, доли единиц;
 $B (I_p)$ – консистенция, доли единиц.

Однако критерии для классификации и оценки консистенции глинистых пород естественного сложения пока не установлены.

Ниже приводится описание термостатного метода определения влажности грунтов и методы определения пределов пластичности грунтов.

Число пластичности глинистой породы (образец грунта № 1.1) определяется по разности между влажностями, соответствующими пределу текучести и пределу пластичности согласно формуле 3.5.

Показатель консистенции - показатель состояния грунта нарушенного сложения для образца грунта № 1.1 определяется по формуле 3.6 и относительную консистенцию глины рассчитывают по формуле 3.7.

3.3 Лабораторная работа № 2.1

Определение общей влажности (естественной, весовой) и характерных влажностей грунта

3.3.1 Общая влажность

Для определения влажности горных пород, в том числе естественной, необходимо иметь следующее оборудование (ГОСТ 5180):

- 1) технические весы;
- 2) бюксы стеклянные или алюминиевые;
- 3) эксикаторы с обезвоженным хлористым кальцием или другим веществом, поглощающим пары воды;
- 4) сушильный шкаф (предпочтительно с циркуляцией воздуха) с автоматическим терморегулятором и выверенным контрольным термометром;
- 5) щипцы для тиглей, шпатель;
- 6) журнал 3.

Последовательность определения

1. Бюкс с крышкой взвешивают на технических весах и получают массу m_1 .

2. Из середины пробы, доставленной в лабораторию, берут навеску горной породы не менее 15 г в ранее взвешенный бюкс, плотно закрывают его крышкой и взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г, получают массу m_2 .

Отбирать пробы грунта для взвешивания следует возможно быстрее, чтобы пробы до определения их массы во влажном состоянии не смогли отдавать воду в воздушную среду или поглощать из нее пары воды.

3. После взвешивания бюкс с приоткрытой крышкой ставят в

сушильный шкаф для высушивания породы. Температура в нем должна быть равной $100 \div 105$ °С.

4. Высушивание породы производят до постоянной массы, которую устанавливают периодическими взвешиваниями: первое взвешивание производят через $4 \div 5$ часа, второе и последующие через $1 \div 2$ часа.

Перед каждым взвешиванием бюкс с породой, вынутый из сушильного шкафа, помещают в эксикатор для охлаждения. В результате взвешивания получают массу m_3 .

Примечание – Высушивание торфов осуществляют при температуре $60 \div 80$ °С.

5. Разность масс породы до высушивания и после, отнесенная к массе абсолютно-сухой породы и умноженная на 100, составляет влажность в процентах. Вычисление влажности породы производят с точностью до 0,1 %, с последующим округлением результата до 1 %, по формуле 3.8:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100 \% = \frac{g_n}{g_s}, \quad (3.8)$$

где W – общая (весовая) влажность, %;

m_1 . – масса пустого бюкса с крышкой, г;

m_2 . – масса бюкса с крышкой и навеской горной породы, г;

m_3 . – масса бюкса с крышкой и высушенной навеской горной породы при температуре 104 °С, г;

g_n – масса пор породы с воздухом и с пластовой водой, г;

g_s – абсолютно сухая масса грунта, которую получают после высушивания его в термостате при температуре 104 °С, г.

Для каждого образца производят два определения влажности. Расхождение между параллельными определениями допускается до 2 %.

По двум определениям выводят среднее значение влажности породы с точностью 1 %.

5. В журнале 3 приведены данные влажности горных пород, определенные на глинистых образцах (№ 1.1) и песчаных образцах (№ 2.1) грунта при одном определении.

Задание для студентов:

6. Студентам следует самостоятельно провести второе определение и затем вычислять среднее значение влажности породы с точностью 1 %.

7. Сделать выводы.

Цифровые данные, полученные в процессе определения влажности породы, записывают в журнал 3 (таблица 3.1), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 3.1 - Журнал № 3. Определение общей (естественной – $W_{\text{ест.}}$) влажности горной породы

Лабораторный номер	Дата	Номер бюкса	Масса бюкса, г					Масса, г		Влажность, %		Примечание
			Пустого (m_1)	С влажной породой (m_2)	С сухой породой			Выпаренной воды, $g_p = (m_2 - m_3)$	Сухой породы, $g_s = (m_3 - m_1)$	Отдельной пробы	Средняя	
					1 (через 4-5 ч.)	2 (через 1-2 ч.)	постоянная, (m_3)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Определение общей влажности												
1.1	27.09	129	100,04	199,54	178,00	177,78	177,78	21,76	77,74	27,99		слабо-влагоемкие несвязные пески
«»	«»	«»	100,04	199,83	178,10	177,95	177,95					
2.1	27.09	129	100,04	187,61	182,21	181,13	181,13	6,48	81,09	7,99		связные влагоемкие глины
«»	«»	«»	100,04	187,68	182,28	181,18	181,18					

Примечания

1 Необходимую величину навески пробы грунта для определения влажности устанавливают с учетом вида испытываемого грунта, а также содержания в нем зерен крупнее (или мельче) размеров зерен фракций, принятых для подразделения и наименования грунтов.

2 Для грунтов, не содержащих зерен крупнее 2 мм, навески пробы должны быть не менее 10 г для торфов, глин, суглинков и супесей и 25 г для песков, а для грунтов, содержащих отдельные зерна размером 2—20 мм, навески должны быть не менее 200 г.

3 При крупнообломочных грунтах навески должны быть не менее 1000 г для гравия с размером зерен 2—20 мм, 2000 и 3000 г для гальки с размером зерен соответственно 20—40 и 40—70 мм.

3.3.2 Определение пределов пластичности глинистых пород (характерных влажностей - W_T и W_p)

Наиболее распространенными методами определения пределов пластичности грунтов являются:

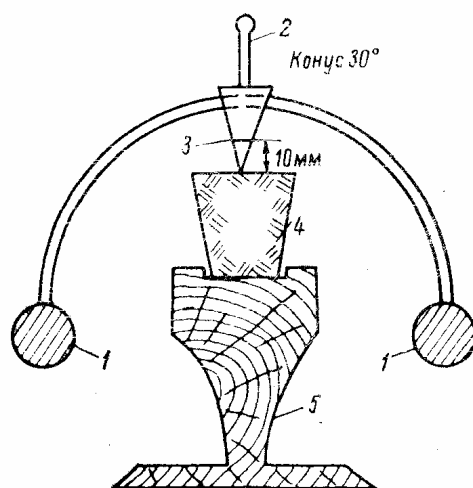
1. *Стандартный метод* (ГОСТ 5180). Метод включают испытание пасты, приготовленной из грунта и воды, для определения верхнего предела пластичности с помощью конуса и нижнего предела пластичности путем раскатывания пасты в шнур.

2. Методы определения влажности на границе текучести в полевых условиях.

3. Ускоренный метод определения границы раскатывания.

3.3.2.1 Определение влажности на границе текучести стандартным методом

Стандартный метод определения предела текучести (ГОСТ 5180) применяется для мягких нецементированных глинистых пород, состоящих преимущественно из частиц размером менее 1 мм. Этот метод неприменим для глинистых пород, которые содержат значительное количество растительных остатков (почвы, заторфованные породы, торф). Согласно этому методу за предел текучести (W_T) принимается влажность глинистой породы нарушенного сложения, при которой специальный балансирный конус Васильева (рисунок 3.1) массой 76 г под действием собственного веса погружается в специально приготовленное грунтовое тесто на глубину 10 мм.



Условные обозначения: 1 — балансирный конус; 2 — ручка; 3 — круговая метка; 4 — стаканчик с подготовленной для испытания породой; 5 — подставка.

Рисунок 3.1 - Балансирный конус А.М. Васильева для определения предела текучести грунта глинистых пород стандартным методом

Балансирный полированный конус изготавливается из нержавеющей стали или латуни с углом при вершине 30 градусов и высотой 25 мм.

На расстоянии 10 мм от вершины на конусе вырезана круговая метка. Балансирное устройство состоит из двух металлических шаров, укрепленных на концах проволочного прута, согнутого в полуокружность и проходящего внутри верхней части конуса. Общая масса конуса 76 г (с погрешностью $\pm 0,2$ г). Для испытания породы необходима специальная подставка.

Для определения предела текучести стандартным методом необходимо иметь:

- 1) стандартный балансирный конус;
- 2) стаканчик диаметром не менее 4 см и высотой не менее 2 см;
- 3) весы технические;
- 4) бюксы стеклянные или алюминиевые;
- 5) эксикатор;
- 6) сушильный шкаф;
- 7) сито с диаметром отверстий 1 мм;
- 8) ступку с резиновым пестиком;
- 9) чашку фарфоровую диаметром 10—15 см;
- 10) шпатель;
- 11) журнал 3.1.

Последовательность определения

1. Предел текучести по возможности следует определять только по образцам естественной влажности. Берут кусок породы массой примерно 100 г, разминают шпателем, одновременно удаляя крупные включения, в том числе растительные остатки, и затем протирают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Если природная влажность породы мала, породу предварительно растирают в фарфоровой ступке резиновым пестиком, удаляя при этом крупные включения, и пропускают через сито с отверстиями 1 мм.

2. Породу помещают в фарфоровую чашку, замачивают ее дистиллированной водой, если она имеет незначительную влажность, тщательно размешивают шпателем до образования однородной сравнительно густой массы и оставляют на сутки для размокания. Чтобы порода в чашке не высохла, ее помещают в эксикатор с водой. Такая подготовка породы для определения предела текучести в настоящее время принята как стандартная. Если влажность породы достаточно высокая, к определению предела текучести приступают сразу после указанной выше подготовки породы к испытанию. Если в лабораторию доставлены образцы породы, не сохранившие естественную влажность (сухие), то подготовка их к испытанию должна быть такой же, как и природно-сухих пород.

3. Подготовленную массу породы после размокания еще раз тщательно перемешивают и переносят в стаканчик прибора вровень с его краями. Поверхность породы заглаживают шпателем.

4. На поверхность породы устанавливают конус, предварительно

смазав его тонким слоем вазелина, который погружается в породу под влиянием собственного веса. Если конус за 5 секунд погрузится в породу на глубину 10 мм, считается, что влажность ее равна пределу текучести.

5. Если конус за 5 секунд погружается в породу на глубину менее 10 мм, то влажность ее ниже предела текучести. В этом случае породу перекалывают из стаканчика обратно в фарфоровую чашку, добавляют немного воды, тщательно перемешивают, затем наполняют стаканчик и повторяют испытание. Если конус за 5 секунд погружается на глубину более 10 мм, это указывает на избыток воды в породе. В этом случае породу подсушивают на воздухе, непрерывно или часто перемешивая шпателем. После подсушивания повторяют испытание.

6. Когда требуемая консистенция породы будет достигнута, из стаканчика берут навеску породы (не менее 15 г) и помещают в заранее взвешенный бюкс. Далее определяют ее влажность согласно указаниям раздела 3.3.1, которая будет соответствовать пределу текучести (W_T).

7. Для расчета используют формулу 3.8 и для каждой пробы производят не менее двух параллельных определений. Расхождения в результатах параллельных определений влажности более 2 % не допускаются. По двум определениям устанавливают значение влажности породы с точностью 1 %, которое и принимается равным пределу текучести.

8. В журнале 3.1 приведены данные предел текучести горных пород, определенные на глинистых образцах (№ 1.1) грунта при одном определении.

Задание для студентов:

9. Студентам следует самостоятельно провести второе определение и затем вычислять среднее значение влажности породы с точностью 1 %.

10. Сделать выводы.

Цифровые данные, полученные в процессе определения влажности породы, записывают в журнал 3.1, а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

3.3.2.2 Определение влажности на границе раскатывания стандартным методом

Стандартным методом определения предела пластичности глинистых пород является метод раскатывания породы в шнур. При определении предела пластичности этим методом обычно используют массу породы, оставшуюся в чашке после определения (W_T) предела текучести.

Для определения предела пластичности (раскатывания, W_P) стандартным методом необходимо дополнительно иметь:

- 1) стекло размером 10x15 см или 15 x 20 см;
- 2) журнал 3.1.

Последовательность определения

1. Массу глинистой породы доводят до пластичного состояния, переминая ее в руках и подсушивая на воздухе.

2. Далее берут часть приготовленной породы и раскатывают ее на стекле в шнур диаметром 3 мм. Раскатывание ведут, слегка нажимая на шнур, длина шнура не должна превышать ширины ладони. Если при этой толщине шнур сохраняет связность и пластичность, его собирают в комочек и вновь раскатывают до шнура указанного диаметра. Операцию повторяют до тех пор, пока шнур при указанной толщине (3 мм) начнет делиться по всей длине поперечными трещинами на кусочки длиной примерно 10 мм. Такое состояние породы указывает на то, что ее предел пластичности достигнут.

Если из приготовленного глинистого теста невозможно раскатать шнур, диаметром 3 мм (порода рассыпается), то считают, что данная порода не имеет границы раскатывания, т. е. она не обладает пластичностью.

3. Кусочки породы (не менее 15 г) помещают в заранее взвешенный бюкс, плотно закрывают его крышкой для предотвращения высыхания содержимого. Далее определяют ее влажность согласно указаниям раздела 3.3.1, которая будет соответствовать пределу пластичности (раскатывания, W_p).

4. Для расчета используют формулу 3.8, а для каждой пробы рекомендуется производить два параллельных определения. Расхождения между параллельными определениями влажности более 2 % не допускаются. В противном случае испытание повторяют. По двум определениям выводят среднее значение с точностью до 1 %.

5. За нижний предел пластичности грунта принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений, выраженное в процентах с точностью до единицы.

6. Наряду с результатами определения нижнего предела пластичности грунта следует указывать процентное содержание (по массе) растительных остатков, если количество их превышает 5 % от массы сухой минеральной части грунта.

7. В журнале 3.1 приведены данные предел пластичности горных пород, определенные на глинистых образцах (№ 1.1) грунта при одном определении.

Задание для студентов:

8. Студентам следует самостоятельно провести второе определение и затем вычислять среднее значение влажности породы с точностью 1 %.

9. Сделать выводы.

Цифровые данные, полученные в процессе определения влажности породы, записывают в журнал 3.1, а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

После занесения в таблицу 3.2 (журнал 3.1) студентами средних данных влажностей на границе текучести и на границе раскатывания, следует провести расчет таких значений как число пластичности и показатель консистенции глинистых пород, а затем уточнить физическое состояние глинистых пород после нарушения их естественного сложения и определить форму консистенции по соотношению влажностей.

Физические свойства глинистых пород нарушенного сложения показаны в нижеследующей таблице 3.3.

Таблицы 3.2 - Журнал № 3.1. Определение характерных влажностей (W_T и W_P) горной породы

Лабораторный номер	Дата	Номер бюкса	Масса бюкса, г					Масса, г		Влажность, %		Примечание
			Пустого (m_1)	С влажной породой (m_2)	С сухой породой			Выпаренной воды, $g_p = (m_2 - m_3)$	Сухой породы, $g_s = (m_3 - m_1)$	Отдельной пробы	Средняя	
					1 (через 4-5 ч.)	2 (через 1-2 ч.)	постоянная, (m_3)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Определение влажности на границе текучести (W_T)												
1.1	27.09	129	100,04	205,18	180,12	177,86	177,86	27,32	77,82	35,11		связные влагоемкие глины
«»	«»	«»	100,04	205,37	180,22	177,96	177,96					
Определение влажности на границе раскатывания (W_P)												
1.1	27.09	129	100,04	189,15	181,22	177,54	177,54	11,61	77,50	14,98		связные влагоемкие глины
«»	«»	«»	100,04	189,52	182,05	177,80	177,80					
Число пластичности (I_P), %, $I_P = (W_T - W_P)$												пылеватые глины
Показатель консистенции (текучести), $B(I_P)$, доли единиц: $B(I_P) = (W - W_P) / I_P = (W - W_P) / (W_T - W_P)$												

Примечание – Верхний и нижний пределы пластичности определяют для несцементированных связных грунтов, состоящих преимущественно из частиц менее 1 мм. Перед испытанием высушивание грунта путем нагревания не допускается.

Если сравнить естественную влажность породы с характерными влажностями, соответствующими пределам консистенции, то можно получить приближенное представление о ее состоянии, как это показано в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Физические свойства глинистых пород нарушенного сложения

Пример значений		Физическое состояние глинистых пород после нарушения естественного сложения		
Консистенция (показатель текучести)	Относительная консистенция	Физическое состояние после нарушения естественного сложения	Консистенция (форма)	Соотношение влажностей
$V(I_p)$	D_k			
1	2	3	4	5
1,700	-0,700	текущее	жидкотекучая	$W > W_T$
1,040	-0,040	текущее	вязкотекучая	$W \geq W_T$
0,950	0,050	переход от текучей к пластичной	липко-пластичная	$W \leq W_T$
0,600	0,400	пластичное	вязко-пластичная	$W_p < W < W_T$
0,000	1,000	полутвердое	полутвердая	$W = W_p$
-0,260	1,260	переход от полутвердой к твердой	полутвердая	$W \leq W_p$
-1,800	2,800	твердое	твердая	$W < W_p$

3.4 Лабораторная работа № 2.2

Расчет плотности скелета породы, пористости и коэффициента пористости

Дано: плотность и влажность породы (см. журналы №№ 1, 2, 3 и 3.1).

Для определения величин плотности скелета породы, пористости и коэффициента пористости, необходимо иметь журнал № 4.

Для характеристики и оценки плотности горных пород используют три показателя плотности: плотность породы (ρ), плотность скелета породы при естественной пористости (ρ_d) и плотность минеральной части породы (ρ_s). Каждый тип породы может иметь некоторые пределы изменения плотности, при следующем соотношении плотностей: « ρ_s » больше « ρ », а « ρ », больше « ρ_d ».

Плотность горных пород определяется плотностью их минеральной части (ρ_s), следовательно, минеральным составом, пористостью (n) и влажностью (W). Зная плотность породы, плотность минеральной части породы и ее влажность, можно вычислить другие показатели косвенным методом.

Методы расчетов плотности скелета породы, пористости и коэффициента пористости приведены ниже.

3.4.1 Плотность скелета породы

Плотность скелета породы при естественной влажности - это отношение массы сухого грунта к объему, занимаемому этим грунтом (включая объем пор) – формула 3.9:

$$\rho_d = \frac{g_s}{V}, \quad (3.9)$$

где ρ_d – плотность скелета породы при естественной влажности, г/см³;
 g_s – абсолютно сухая масса грунта, которую получают после вышивания его в термостате при температуре 104 °С, г;
 V – объем, занимаемый этим грунтом (включая объем пор), см³.

Плотность скелета породы определяется расчетом через показатель плотности и влажности породы по формулам:

Учитывая, что плотность породы равна – формула 3.10:

$$\rho = \frac{g}{V}, \quad (3.10)$$

где ρ – плотность породы при естественной влажности, г/см³;
 g – масса образца грунта при естественной влажности, г;
 V – объем, занимаемый этим грунтом (включая объем пор), см³.

Получим составляющие массы и объема образца грунта:

$$g = g_n + g_s, \quad (3.11)$$

$$V = V_n + V_s, \quad (3.12)$$

где g_n , g_s – масса пор породы с воздухом и с пластовой водой и абсолютно сухая масса грунта, соответственно, г;

V_n , V_s – объем несообщающихся пустот грунта, заполненный воздухом и пластовой водой и объем минеральной части грунта, соответственно, см³.

Количественно весовая влажность равна отношению массы воды, содержащейся в грунте, к массе сухого грунта или – процентное содержание воды в породе – формула 3.13:

$$W = \frac{g_n}{g_s} \cdot 100\%, \quad (3.13)$$

где g_n , g_s – масса пор породы с воздухом и с пластовой водой и абсолютно сухая масса грунта, соответственно, г;

W – влажность весовая или естественная, %.

Откуда:

$$g_n = W \cdot g_s. \quad (3.14)$$

Преобразуем, формулу 3.14:

$$(g - g_s) = W \cdot g_s. \quad (3.15)$$

Получим зависимость:

$$g = W \cdot g_s + g_s = g_s \cdot (W + 1). \quad (3.16)$$

Далее получим взаимосвязь влажности с плотностью породы:

$$\rho \cdot V = g_s \cdot (W + 1). \quad (3.17)$$

Преобразуя формулу 3.17, получим косвенное выражение плотности породы от влажности, из которой следует – чем выше влажность, тем больше плотность породы:

$$\rho = \frac{g_s}{V} \cdot (1 + 0,01 \cdot W), \text{ или } \rho = \rho_d \cdot (1 + 0,01 \cdot W), \quad (3.18)$$

где W – влажность весовая или естественная, доли единиц.

Преобразуем, формулу 3.18 получим косвенный показатель плотности скелета породы, прямо пропорциональный плотности породы и обратно пропорциональный ее влажности – формула 3.19:

$$\rho_d = \frac{\rho}{(1 + 0,01 \cdot W)}. \quad (3.19)$$

3.4.2 Пористость и коэффициент пористости

Пористость – это отношение объема всех мелких и не сообщающихся пустот в данном образце породы ко всему объему образца, определяется по формуле 3.20:

$$n = \frac{V_n}{V}, \quad (3.20)$$

где n – пористость породы доли единиц или %;

V_n – объем не сообщающихся пустот грунта, заполненный воздухом и пластовой водой, см^3 ;

V – объем, занимаемый этим грунтом (включая объем пор), см^3 .

Откуда объем не сообщающихся пустот грунта равен:

$$V_n = n \cdot V. \quad (3.21)$$

Пористость выражается в долях единиц или в процентах от полного объема породы.

Пористость скальных горных пород незначительна, а в полускальных достигает 15÷20 %.

Пористость песчаных и глинистых пород изменяется в широких пределах в зависимости от формы и размера слагающих их частиц, а именно: от их дисперсности, степени отсортированности и однородности, плотности сложения, степени и характера цементации.

Итак, пористость рыхлых несвязных пород зависит от размеров и формы частиц в рыхлых зернистых породах и характера их сложения.

Пористость грунтов определяется расчетом, так как лабораторные методы непригодны в связи с тем, что при заполнении пор водой породы набухают, и тем самым их пористость возрастает, и уже не будет соответствовать естественной пористости грунтов.

Пористость определяется через показатель плотности минеральной части породы.

Плотность минеральной части породы (или удельная масса) – это отношение массы сухого грунта к объему его твердой части – формула 3.22:

$$\rho_s = \frac{g_s}{V_s}, \quad (3.22)$$

где ρ_s – плотность минеральной части породы при естественной влажности, $\text{г}/\text{см}^3$;

g_s – абсолютно сухая масса грунта, которую получают после вышивания его в термостате при температуре 104 °С, г;

V_s – объем минеральной части грунта, см^3 .

Преобразуем формулу 3.22:

$$\rho_s = \frac{g_s}{V - V_n} = \frac{\rho_d \cdot V}{V - (n \cdot V)} = \frac{\rho_d \cdot V}{V \cdot (1 - n)} = \frac{\rho_d}{1 - n}, \quad (3.23)$$

где V – объем, занимаемый этим грунтом (включая объем пор), см^3 ;
 V_n – объем несообщающихся пустот грунта, заполненный воздухом и пластовой водой, см^3 ;
 ρ_d – плотность скелета породы при естественной влажности, г/см^3 ;
 n – пористость породы доли единиц или %.

Из формулы 3.23 получим выражение пористости породы через показатели плотности скелета породы и ее минеральной части – формула 3.24:

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}. \quad (3.24)$$

Коэффициент пористости – это отношение объема пор к объему твердой части (скелета) грунта – формула 3.25:

$$\varepsilon = \frac{V_n}{V_s} = \frac{n}{1 - n}, \quad (3.25)$$

где ε – коэффициент пористости породы доли единиц.

Пористость и коэффициент пористости связаны следующей формулой:

$$n = \frac{V_n}{V} = \frac{V_n}{V_s + V_n} = \frac{V_n}{V_s \cdot (1 + \frac{V_n}{V_s})} = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}. \quad (3.26)$$

Или коэффициент пористости равен – формула 3.27:

$$\varepsilon = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}. \quad (3.27)$$

Коэффициент пористости (ε) песчаных и глинистых пород – это одна из основных характеристик, используемых при расчетах осадок сооружений.

3.5 Водные свойства горных пород

Вода в грунтах может находиться в жидком, твердом (в виде льда) или газообразном (в виде пара) состоянии. В настоящее время, учитывая степень подвижности воды, различают несколько форм связей воды в грунтах

(физически и химически связанной и свободной – гравитационной): Обычно в грунте вода находится одновременно в нескольких состояниях. В природной обстановке возможен переход одной формы воды в другую.

Важнейшими свойствами, определяющими отношение горных пород к воде, являются их влагоемкость, капиллярность, водопроницаемость и водоустойчивость. При инженерно-геологической оценке горных пород водные свойства имеют исключительно важное значение. Однако роль каждого из них при этом неодинакова, что зависит от принадлежности горных пород к той или иной группе по инженерно-геологической классификации; неодинаково их значение и при решении различных практических задач.

Детальное рассмотрение природы водных свойств горных пород и факторов, влияющих на их изменение, приведено в теоретической части курса инженерной геологии – Ломтадзе В.Д [4]. Сводка основных показателей водных свойств горных пород дана в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Основные показатели водных свойств горных пород

Свойства, характеризующие отношение горных пород к воде	Показатели, характеризующие водные свойства горных пород	Горные породы, для которых определение этих показателей имеет большое значение	Важнейшее практическое применение этих показателей	
1	2	3	4	
Влагоемкость (водоемкость)	Полная влагоемкость (водоемкость)	Любые	Оценка степени увлажнения горных пород. У водоемких пород — для оценки статических запасов воды	
	Максимальная молекулярная влагоемкость	Глинистые	Оценка гидрофильности пород	
	Водоотдача. Коэффициент водоотдачи		Песчаные мелкозернистые и тонкозернистые	При решении вопросов осушения
			Скальные, полускальные, галечники, пески и др.	При решении вопросов осушения, оценке возможных притоков воды в котлованы, подземные выработки и др.

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4
Капиллярность	Высота капиллярного поднятия	Пески мелко- и тонкозернистые. Глинистые породы	Выяснение возможного чрезмерного увлажнения пород при неглубоком залегании уровня подземных вод или при его повышении. Оценка воздействия воды на подземные части сооружений
Водопроницаемость	Коэффициент фильтрации. Удельное водопоглощение Коэффициент проницаемости. Коэффициент водопроводимости	Любые	При расчетах притока воды к котлованам, подземным выработкам, потерь воды на фильтрацию. При расчетах дренажей, водопонижения и др.
		Глинистые	При расчете осадок сооружений во времени
Водоустойчивость	Скорость и характер размокания	Глинистые	Оценка устойчивости и деформируемости оснований сооружений, откосов, подземных сооружений, земляного полотна дорог. Использование пород как материала для плотин, насыпей, дамб и др.
	Величина, сила и влажность набухания	Глинистые	
	Величина и влажность усадки	Глинистые и некоторые полускальные	
	Содержание водорастворимых соединений и их состав	Глинистые и некоторые полускальные	
	Размягчаемость	Скальные и полускальные	Прогноз изменения прочности и устойчивости оснований сооружений, откосов, подземных сооружений и др.

3.5.1 Лабораторная работа № 2.2 (продолжение)

Расчет влагоемкости, водоотдачи и коэффициента водоотдачи

В данном разделе рассматриваются влагоемкие свойства горных пород.

Дано: Для определения величин влагоемкости, водоотдачи и коэффициента водоотдачи необходимо иметь журнал № 4.

Методы расчетов влагоемкости, водоотдачи и коэффициента водоотдачи приведены ниже.

3.5.1.1 Влагоемкость

Влагоемкость (водоемкость) горных пород

Под влагоемкостью породы принято понимать ее способность вмещать и удерживать определенное количество воды. В соответствии с этим различают породы влагоемкие (глины, суглинки), средневлагоемкие (супеси, пески мелко-и тонкозернистые, пылеватые) и невлагоемкие (пески средне-, крупно- и грубозернистые, гравелистые и щебенистые породы и галечники). Применительно к породам невлагоемким следует говорить об их **водоемкости**, т. е. о способности вмещать определенное количество воды [1, 4].

У влагоемких пород различают влагоемкость полную, капиллярную и молекулярную.

Полной влагоемкости соответствует полное насыщение породы водой, т. е. заполнение всех ее пор. Сравнивая естественную влажность породы с влажностью, соответствующей полной влагоемкости, судят о степени ее водонасыщения. У пород невлагоемких (например, песков, гравия, галечников, трещиноватых скальных и полускальных пород) влажность при полном их насыщении характеризует их водоемкость.

Полная влагоемкость (водоемкость), как известно, может быть вычислена по данным плотности скелета пород ρ_d и плотности их минеральной части ρ_s по следующей формуле 3.28:

$$W_{\max} = \left(\frac{1}{\rho_d} - \frac{1}{\rho_s} \right) \cdot \rho_w, \quad (3.28)$$

где W_{\max} – полная влагоемкости (водоемкости), доли единиц или %;
 ρ_d – плотность скелета породы при естественной влажности, г/см³;
 ρ_s – плотность минеральной части породы при естественной влажности, г/см³;
 ρ_w – плотность пластовой воды, г/см³.

Если выразить плотность скелета породы через плотность минеральной части ρ_s и коэффициент пористости породы ε , формула для вычисления полной влагоемкости (водоемкости) примет вид – формула 3.29:

$$W_{\max} = \frac{\varepsilon}{\rho_s} \cdot \rho_w. \quad (3.29)$$

Итак, полная влагоемкость (водоемкость) мягких глинистых и рыхлых песчаных горных пород в лабораторных условиях определяется обычно только расчетом по данным указанных простейших показателей их свойств (ρ_s , ρ_d , ε).

Капиллярной влагоемкости соответствует не полное насыщение породы водой, а такое, когда водой заполнены только капиллярные поры. Так как у глинистых пород поры преимущественно капиллярные, то для них капиллярная влагоемкость равна или близка полной влагоемкости.

Под молекулярной влагоемкостью (или наименьшей) понимают способность пород удерживать определенное количество физически связанной воды, т. е. воды, не заполняющей пустоты и поры, а лишь находящейся на поверхности или в межпакетных пространствах частиц породы в виде гидратных или сольватных оболочек.

При молекулярной влагоемкостью максимальное количество физически связанной, воды, которое может удержать порода на поверхности своих частиц, определяет ее максимальную молекулярную влагоемкость. Физически связанная вода связана с частицами породы значительными поверхностными сорбционными силами. Поэтому при свободном стоке воды из насыщенных песчаных пород некоторое количество ее остается и определяет их максимальную молекулярную влагоемкость.

3.5.1.2 Водоотдача и коэффициент водоотдачи

Водоотдача и коэффициент водоотдачи песчаных пород

Из песчаной породы, насыщенной водой, не вся вода может вытекать свободно, а только та часть, которая подчиняется силе тяжести, не связана поверхностными силами с частицами породы и не удерживается капиллярными силами [4].

Способность песчаных, гравийных, дресвяных и других обломочных пород, насыщенных водой, отдавать ее путем свободного стекания, **характеризует их водоотдачу**. Очевидно, что такой способностью обладают только невлагоемкие или слабовлагоемкие породы.

Следовательно, для определения водоотдачи таких пород необходимо знать их полную водоемкость W_{\max} и максимальную молекулярную влагоемкость W_m . Разность между ними и будет равняться водоотдаче пород:

$$W_B = W_{\max} - W_m, \quad (3.30)$$

где W_B – водоотдача рыхлых пород, %;

W_{\max} – полная влагоемкости (водоемкости), %;

W_m – максимальная молекулярная влагоемкость, %.

Она характеризует, какая часть воды (%) от общего ее содержания в породе свободно стекает.

Для количественной характеристики водоотдачи служит также **коэффициент водоотдачи K_B** , равный отношению объема стекающей воды к объему породы, выраженный в долях единицы.

Преобразуем формулу 3.30 и получим выражение для вычисления коэффициента водоотдачи – формула 3.31:

$$K_B = \frac{\varepsilon}{\rho_s} \cdot \rho_w - 0,01 \cdot W_m, \quad (3.31)$$

где K_B – коэффициент водоотдачи рыхлых пород, доли единиц;

ε – коэффициент пористости породы доли единиц;

ρ_s – плотность минеральной части породы при естественной влажности, г/см³;

ρ_w – плотность пластовой воды, г/см³.

W_m – максимальная молекулярная влагоемкость, доли единиц.

Водоотдачей обладают в основном неглинистые песчаные, гравийные, щебенистые породы и галечники. Она зависит главным образом от состава пород и продолжительности их дренирования. Некоторое влияние оказывает также температура воды, определяющая ее вязкость.

Характеристика водоотдачи пород имеет большое значение при установлении возможности и оценке интенсивности осушения пород при строительстве дренажей, расчете притока воды и т. д.

При расчете коэффициента водоотдачи значение полной водоемкости песков (образца грунта № 2.1) определяется расчетом (см. формулу 3.29), максимальная молекулярная влагоемкость – дается для мелкозернистого песка средней водоемкости (таблица. 3.5).

Задание для студентов:

1. Показатели объемной плотности и плотности минеральной части породы, включая ее влажность, определенные для образцов №№ 1.1 и 2.1, следует занести в журнал 4 (раздел – лабораторные данные).

2. Показатели плотности скелета породы, пористости и коэффициента пористости, влагоемкости и коэффициента водоотдачи рассчитываются студентами по результатам предыдущих лабораторных исследований (см. журналы №№ 1, 2 и 3), проведенных на глинистых образцах грунта (№ 1.1) и песчаных образцах (№ 2.1).

Цифровые данные записывают в журнал 4 (таблица 3.5), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 3.5 – Журнал № 4. Расчет плотности скелета грунта, пористости и коэффициента пористости, влагоемкости и коэффициента водоотдачи

Лабораторный номер	Дата	Лабораторные данные					Расчетные данные						Примечание
		Плотность (объемная), г/см ³	Плотность минеральной части, г/см ³	Влажность, %	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	Плотность воды, г/см ³	Плотность скелета, г/см ³	Пористость, %	Коэффициент пористости, доли единиц	Полная влагоемкость или полная водоємкость, %		Коэффициент водоотдачи (для песчаных пород), доли единиц	
										влагоемких глинистых пород	невлагоемких песчаных пород		
ρ	ρ_s	$W_{ест}$	W_m	ρ_w	ρ_d	n	ϵ	W_{max}		K_v			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.1	11.10				-	1,0					-	-	глина влагоемкая
2.1	«»				6,0	1,0				-			песок мелкозернистый средней водоемкости

3.6 Заключение к лабораторной работе № 2

При уплотнении глинистой породы малой степени литификации, насыщенной водой, определенное количество воды из нее выжимается вначале сравнительно быстро и легко, соответственно и процесс уплотнения имеет свободный характер. При влажности породы, равной максимальной молекулярной влагоемкости, скорость и характер ее уплотнения резко изменяются, так как отжатие физически связанной воды сопряжено с затратой больших усилий.

Следовательно, влажность при максимальной молекулярной влагоемкости отражает такое состояние глинистой породы, при котором резко изменяются ее свойства, ее деформируемость. На основании многочисленных исследований можно утверждать, что максимальная молекулярная влагоемкость — это один из важных показателей свойств глинистых пород, служащий мерой изменения их качеств в процессе уменьшения влажности при уплотнении. Замечено, что для многих глинистых пород она равна или близка влажности на пределе пластичности.

Таким образом, согласно ранее выполненным работам [1, 2, 4], для оценки водоемкости песчаных пород необходимо знать их полную водоемкость, максимальную молекулярную влагоемкость и водоотдачу. Показатели полной и максимальной молекулярной влагоемкости в известной мере зависят от вещественного состава пород и характеризуют их гидрофильность (таблицы 3.6, 3.7).

Сопоставляя значения названных показателей с естественной влажностью глинистых пород, можно судить не только о степени насыщения их водой, но и о преобладающей категории воды (свободной иммобилизованной или физически связанной).

Таблица 3.6 - Максимальная молекулярная и полная влагоемкость пород различного минерального состава

Породы	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	Полная влагоемкость, %
Монтмориллонитовая глина (бентонит огланлинский)	44	71
Гидролюдистая глина (глина кембрийская)	14	29
Каолинитовая глина (каолин глуховский)	22	43
Маршаллит (тонкозернистый кварцевый песок)	2	25

Таблица 3.7 - Максимальная молекулярная влагоемкость фракций разной крупности (по А. Ф. Лебедеву (1927 г.)

Фракции	Размер фракций, мм	Максимальная молекулярная влагоемкость, %
<i>Песчаные:</i>		
крупнозернистые	1—0,5	1,6
среднезернистые	0,5—0,25	1,6
мелкозернистые	0,25—0,10	2,7
тонкозернистые	0,10—0,05	9,8
<i>Пылеватые (алевритовые)</i>	0,05—0,002	10,2
<i>Глинистые</i>	<0,002	44,2

Водопоглощение и водонасыщение скальных и полускальных горных пород

При исследовании влагоемкости скальных и полускальных горных пород определяют их водопоглощение, водонасыщение и коэффициент водонасыщения. Водопоглощение характеризуется влажностью породы при свободном насыщении ее водой, а водонасыщение — при насыщении ее водой в особых условиях, т. е. при принудительном насыщении. Для определения водопоглощения и водонасыщения необходимо иметь то же оборудование, что и при определении влажности пород, а также банки или кристаллизаторы и вакуум-эксикаторы, в которых осуществляют свободное и принудительное насыщение образцов водой.

Водоотдача песков и других рыхлых обломочных пород

Полная водоемкость песков может определяться расчетом или, как и для других обломочных пород, методом насыщения. В этом случае количество воды, которое пошло на насыщение породы при данной ее плотности, отнесенное к массе сухой породы и выраженное в процентах, будет равно полной водоемкости породы.

Максимальная гигроскопическая влажность дисперсных пород

Максимальную гигроскопическую влажность горные породы приобретают путем поглощения (сорбции) влаги из воздуха, почти полностью насыщенного водяным паром (относительная влажность 95—98 %). Эта влажность близка или практически равна максимально возможному содержанию физически связанной, адсорбированной воды в породе. Для определения такой влажности обычно применяют метод Митчерлиха, основанный на установлении равновесного состояния влажности породы в воздухе, почти полностью насыщенном водяным паром, при температуре 20 °С.

4 Лабораторная работа № 3

Капиллярность, водопроницаемость горных пород. Морозное пучение грунта

Данная лабораторная работа состоит из трех частей, в которой изучаются такие водные свойства как капиллярность, водопроницаемость горных пород и морозное пучение грунта.

4.1 Капиллярные свойства горных пород

Капиллярность, как и влагоемкость пород (см. подраздел 3.5), является главным свойством, определяющим отношение пород к воде, что подробно отражено в ранее выполненных работах [4, 7].

При значительном повышении влажности песчаных и особенно глинистых пород понижаются их строительные качества. Увлажнение пород может быть обусловлено проникновением (инфильтрацией) воды с поверхности земли или поступлением ее снизу из какого-либо водоносного горизонта под влиянием гидростатического или гидродинамического напора и капиллярных сил. Последние, как известно, всегда над водоносным горизонтом образуют капиллярную зону, в пределах которой наблюдается повышенное увлажнение или насыщение пород. Мелкозернистые, тонкозернистые и глинистые породы в зоне капиллярного увлажнения обычно полностью насыщены, следовательно, эту зону можно называть *зоной капиллярного насыщения*. Если она достигает поверхности земли, то происходит заболачивание местности. При интенсивном испарении капиллярных вод, поднимающихся к поверхности земли, в засушливых районах обычно происходит засоление почв и подстилающих их пород, образование солончаков и так далее. То есть, капиллярные свойства обусловлены наличием в грунте сложной системы капиллярных пор различных диаметров и формы.

В грунтах капиллярные свойства определяют водоподъемную способность грунта. Эта способность подчиняется законам физики:

- 1) передвижение воды по капиллярам не зависит от влияния силы тяжести;
- 2) движение воды по капиллярам происходит в направлении, противоположном уровню свободной поверхности воды;
- 3) высота капиллярного поднятия воды обратно пропорциональна диаметру капилляра - чем меньше диаметр, тем больше высота капиллярного поднятия;
- 4) перемещение воды по капиллярам происходит тем медленнее, чем меньше диаметр капилляра;
- 5) капиллярное поднятие воды зависит от ее вязкости, поэтому с повышением температуры воды высота капиллярного поднятия уменьшается, а скорость капиллярного поднятия увеличивается.

4.2 Высота и скорость капиллярного поднятия

Если передвижение воды по капиллярам не зависит от влияния силы тяжести, то высота капиллярного поднятия воды (H_k) или мощность капиллярной зоны, тем больше, чем больше поверхностное натяжение воды и чем меньше радиус капилляров (r , см) и плотность воды (ρ_w , г/см³).

Высота капиллярного поднятия при полном смачивании и плотности воды, равной единице, согласно закону Жюрена, определяется формулой 4.1:

$$H_k = \frac{2 \cdot a^2}{r \cdot \rho_w \cdot g}, \quad (4.1)$$

где H_k – высота капиллярного поднятия (примерно равна $30/r$), см;
 $2a^2$ – капиллярная постоянная;
 r – радиус капилляра, см;
 ρ_w (или $\gamma_{\text{воды}}$) – плотность воды, г/см³;
 g , – ускорение свободного падения, см/с².

Согласно выводу Ломтадзе В.Д. [4], поднятие воды в капиллярах происходит за счет энергии взаимодействия молекул воды с молекулами пограничной поверхности, разделяющей воду и частицы породы, в результате смачивающего эффекта или так называемого поверхностного натяжения воды. Поэтому в капиллярах между частицами породы поверхность воды приобретает вид менисков вогнутой формы (рисунок 4.1). Силы поверхностного натяжения направлены по касательным к вогнутым поверхностям менисков. Вертикальные составляющие этих сил « P_k » суммируются в одну общую подъемную силу: « $P_k^1 + P_k^2 + \dots + P_k^n = P_k$ ». Под влиянием этой силы вода по капиллярам поднимается до высоты « H_k », которая и называется высотой капиллярного поднятия и служит мерой капиллярности породы. Сила капиллярного поднятия или подъемная сила мениска воды, отнесенная к единице круглого поперечного сечения капилляра, приближенно определяется по формуле Лапласа – 4.2:

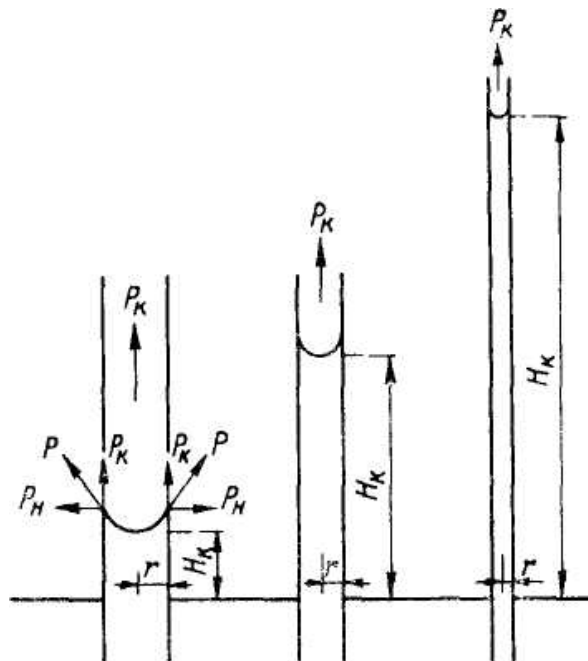
$$P_k = \frac{2 \cdot \delta}{r}, \quad (4.2)$$

где δ – поверхностное натяжение воды, равное 7,5 Па;
 r – радиус капилляра, см.

Если бы суммарная сила « P_k » была меньше веса воды в капилляре, то подъема воды в нем не произошло бы. Следовательно, при сферической поверхности мениска в воде под мениском должен возникнуть перепад давлений ($P_2 - P_1$), равный подъемной силе менисков, т. е. силе капиллярного поднятия « P_k », но направлено в противоположную сторону (имеет обратный знак), согласно формуле 4.3:

$$P_2 - P_1 = -\Delta P = P_{\kappa} = \frac{2\delta}{r}. \quad (4.3)$$

В этом случае P_2 — давление в среде, находящейся ближе к центру сферы (в атмосфере) и P_1 — давление в среде, находящейся дальше от центра сферы (в воде). Перепад давления « ΔP » под мениском, т. е. ниже границы раздела фаз воздух — вода, вызванный поверхностным натяжением воды, называют **капиллярным давлением**. Оно создает давление на стенки капилляров, на частицы породы, прижимает их друг к другу, и вызывает временную связность в песчаных породах. Подъемные силы являются растягивающими по отношению к воде, а капиллярное давление — сжимающим по отношению к частицам, слагающим породу. При испарении влаги из песков или при полном их погружении в воду капиллярное давление исчезает, и пески теряют связность.



Условные обозначения: P_{κ} — сила капиллярного поднятия; H_{κ} — высота капиллярного поднятия.

Рисунок 4.1 – Схема капиллярного поднятия воды в капиллярах разного диаметра

Таким образом, в соответствии с рисунком 4.2, показанном ниже, под вогнутыми менисками давление в воде, заполняющей капилляры, меньше атмосферного « P_0 » на значение « P_{κ} », а в водоносном горизонте, т. е. ниже уровня грунтовых вод, выше атмосферного и распределяется по закону гидростатики.

Из сказанного видно, какой практический смысл имеет изучение капиллярных свойств песчаных и глинистых пород, особенно высоты

капиллярного поднятия.

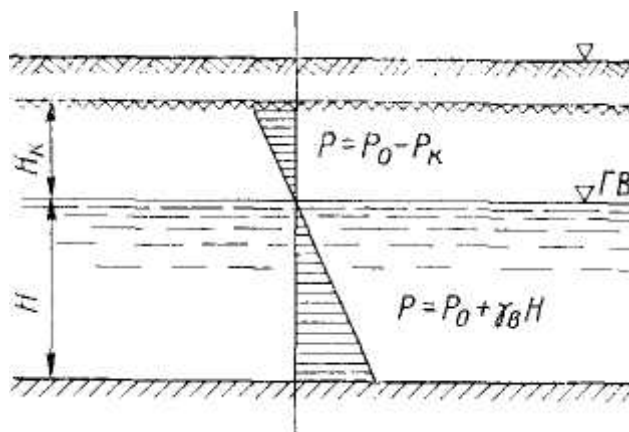


Рисунок 4.2 – Распределение гидростатического давления в зоне капиллярного поднятия и в водоносном горизонте

Результаты фактических наблюдений за высотой капиллярного поднятия в породах различного состава показаны в таблицах 4.1 ÷ 4.3 [4, 7].

Таблица 4.1 – Высота капиллярного поднятия в однородных песках (по Аттербергу) [4]

Породы	Размер частиц, слагающих породу,	Высота капиллярного поднятия, см
Гравий мелкий	5-2	2,5
грубозернистый	2—1	6,5
крупнозернистый	1—0,5	13,1
среднезернистый	0,5—0,2	26,4
мелкозернистый	0,2—0,1	42,8
тонкозернистый	0,1—0,05	105,5
Алеврит	0,05—0,02	200,0

Таблица 4.2 – Высота капиллярного поднятия для некоторых разностей глинистых пород (по Ф. П. Саваренскому) [4]

Породы	Достигнутая высота, см	Число дней	Скорость, см/сут	
			в первые сутки	в последующие
Суглинок	160,6	85	73,0	0,2
Глина	90,7	25	27,0	2,5
»	99,5	25	64,0	0,5
»	153,6	114	59,3	0,2
»	125,0	207	74,3	0,05
Суглинок легкий	196,0	207	73,0	0,1

Известно, что максимальная высота капиллярного поднятия в тонкозернистых и мелкозернистых песках может достигать 1,5—2 м, а в глинистых породах 3—4 м. В грубозернистых породах она мала и практического значения не имеет (таблицы 4.1). Скорость капиллярного поднятия в начальный момент максимальная, но затем постепенно уменьшается и при наибольшей высоте становится ничтожно малой.

Сравнительно малая высота капиллярного поднятия по Ф.П. Саваренскому (таблицы 4.2) наблюдается в глинах и объясняется их способностью набухать, в результате чего тонкие поры заполняются пленками прочносвязанной воды.

Таблица 4.3 – Средняя высота капиллярного поднятия различных пород [7]

Порода	Высота капиллярного поднятия H_k , см	Число дней, необходимое для достижения максимального поднятия
Песок: крупнозернистый	3,0—12,0	80
среднезернистый	12,0—35,0	180—188
мелкозернистый	35,0—120,0	188—160
Супесь	120—350	160—475
Суглинок	350—650	-
Легкая глина	650—1200	-

4.3 Определение капиллярных свойств рыхлых песчаных грунтов

Согласно вышеизложенного, высота капиллярного поднятия воды в грунте зависит от его гранулометрического состава и пористости — чем мелкозернистее грунт и чем меньше его поры, тем больше высота капиллярного поднятия.

Высота капиллярного поднятия, H_k может быть определена в шурфах, обнажениях, путем непосредственного замера мощности капиллярной каймы или определения распределения влажности в грунтовой толще.

Кроме этого – методами определения капиллярного поднятия на образцах ненарушенного или нарушенного сложения (в капилляриметрах, трубках, на монолитах и т. д.).

Выделяют две группы методов **изучения капиллярных свойств**:

- 1) лабораторные, использующие специальные приборы;
- 2) полевые, предусматривающие визуальное описание стенок шурфов и проведение специальных опытно-фильтрационных и других работ.

Ниже, согласно учебному пособию Ломтадзе В.Д. [1] приводится описание определения высоты капиллярного поднятия воды грунтами методом непосредственного наблюдения.

4.3.1 Лабораторная работа № 3.1

Метод непосредственных наблюдений

Высота капиллярного поднятия воды в песках определяется методом непосредственных наблюдений. Этот метод определения высоты капиллярного поднятия применим главным образом для песков.

Для глинистых пород он рекомендован быть не может, так как высота капиллярного поднятия воды в них измеряется метрами, а время, необходимое для установления этой высоты, исчисляется месяцами.

Для определения высоты капиллярного поднятия этим методом необходимо следующее:

1) установка для определения высоты капиллярного поднятия, которая включает: стеклянную трубку диаметром 2—3 см, длиной 80—100 см, подвязанную с одного конца марлей или сеткой; стеклянную банку или кристаллизатор; штатив; (рисунок 4.3);

2) воронка;

3) журнал № 5.

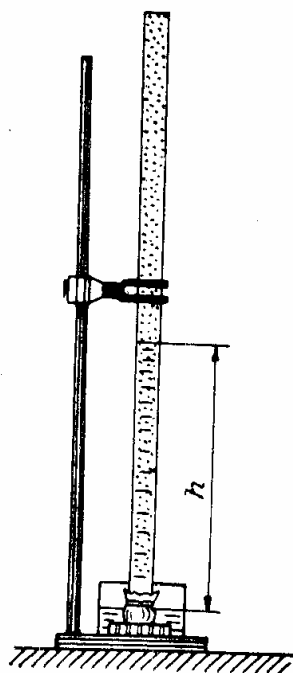


Рисунок 4.3 – Установка для определения высоты капиллярного поднятия воды путем естественного наблюдения

Последовательность определения

1. Стеклянную трубку наполняют через воронку испытуемым песком. Наполнение производят небольшими порциями с легкой трамбовкой.

2. Трубку с песком ставят в стеклянную банку или кристаллизатор на специальную подставку или на две спички. Банка (кристаллизатор) в свою очередь должна быть установлена на подставке штатива. В таком положении трубку укрепляют в штативе (рисунок 4.3).

3. В банку приливают воды на $0,5 \div 1$ см выше нижнего конца трубки и наблюдают за высотой капиллярного поднятия воды в песке по изменению его окраски (потемнению). Уровень воды в банке в течение опыта следует поддерживать постоянным.

4. Высоту капиллярного поднятия воды в песках фиксируют в журнале через 5, 20, 30 минут и через часовые и суточные промежутки до окончания поднятия. Установившийся в песке уровень считают максимальной высотой капиллярного поднятия – H_K , на рисунке 4.3 « $H_K=h$ ».

5. Время опытных работ фиксируется как суммарно (т.е. с начала опыта) так и поэтапно. Высоту капиллярного поднятия определяют также с начала опыта и поэтапно. Опыт можно проводить одновременно на 3-4 трубках, заполнив их грунтом разного гранулометрического состава.

6. Скорость капиллярного поднятия рассчитывают вначале опыта в (см/мин) и в конце опыта – в (см/ч), по формуле 4.4:

$$V = \frac{H_K}{t}, \quad (4.4)$$

где H_K – высота капиллярного поднятия, см;
 t – время, минуты, часы.

Скорость капиллярного поднятия рассчитывают от начала опыта по нарастающей величине поднятия и для поэтапного наблюдения.

Ниже приводится пример расчета и задание для расчета.

4.3.2 Пример расчета капиллярных свойств рыхлых песчаных грунтов

Пример оформления расчета по определению капиллярных свойств песчаного грунта приводится в таблице 4.4.

Характеристика исследуемого грунта: лабораторный номер 2.2;
Дата опыта – 11.10. Время опыта – 24 часа; высота слоя грунта, 26,4 см;

Вывод: грунт – среднезернистый песок (см. таблицу 4.1).

4.3.3 Расчет капиллярных свойств рыхлых песчаных грунтов

Время и высота капиллярного поднятия приводятся в таблице 4.5.

Характеристика исследуемого грунта: лабораторный номер 2.2

Дата опыта – 11.10. Время опыта – 24 часа; высота слоя грунта, 42,8 см.

Задание для студентов:

Провести расчеты и определить характеристику исследуемого грунта. Цифровые данные, полученные в процессе определения высоты и скорости капиллярного поднятия, записывают в журнал 5 (таблица 4.5), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 4.4 – Пример определения капиллярных свойств грунта

Этапы	Время, (t), минуты, часы		Высота, (H _к), см		Скорость, (V), см/мин и см/ч	
	от начала опыта	поэтап- ного наблю- дения	капиллярного поднятия от начала опыта	поэтапного капиллярног о поднятия	от начала опыта	поэтап- ного наблю- дения
1	5 минут	5 минут	10	10	2	2
2	10 минут	5 минут	15	5	1,5	1
3	20 минут	10 минут	18	3	0,9	0,3
4	30 минут	10 минут	21	3	0,7	0,3
5	60 минут	30 минут	23	2	0,38	0,07
6	120 минут	60 минут	24,8	1,8	0,21	0,03
7	24 часа и т.д.	22 часа	26,4	1,6	1,1 см/ч	0,07 см/ч

Таблица 4.5 – Журнал № 5. Определения капиллярных свойств грунта

Этапы	Время, (t), минуты, часы		Высота, (H _к), см		Скорость, (V), см/мин и см/ч	
	от начала опыта	поэтап- ного наблю- дения	капиллярного поднятия от начала опыта	поэтапного капиллярног о поднятия	от начала опыта	поэтап- ного наблю- дения
1	5 минут	5 минут	8			
2	10 минут	5 минут	18			
3	20 минут	10 минут	25			
4	30 минут	10 минут	31			
5	60 минут	30 минут	36			
6	120 минут	60 минут	40			
7	24 часа	22 часа	42,8			

Вывод: грунт – песок (см. таблицу 4.1)

4.4 Определение водопроницаемости горных пород

4.4.1 Физические основы динамики подземных вод. Фильтрация жидкости в пласте

В природных условиях горные породы всегда содержат то или иное количество воды. При этом в почвах и породах, залегающих выше зеркала подземных вод, содержание воды резко меняется в течение года в зависимости от сезонного изменения температуры, давления и влажности воздуха, испарения, осадков и т.д.

Ниже зеркала подземных вод влажность горных пород практически остается постоянной и является максимально возможной для этих пород, обладающих соответствующей пористостью. При движении подземных вод в порах и трещинах горных пород часть напора расходуется на трение, что создает уклон поверхности подземных вод в сторону их движения. Понижение напора в водоносных горизонтах со свободной поверхностью образует в разрезе кривую депрессии, а в напорных водах – пьезометрическую кривую.

Действительное значение уклона в любой точке кривой характеризует напорный градиент, равный – формула 4.5:

$$I = \lim \cdot \frac{\Delta H}{\Delta L} = - \frac{\Delta H}{\Delta L}, \quad (4.5)$$

где I – напорный градиент в любой точке кривой, доли единиц;
 ΔH – разность напоров ($H_1 - H_2$), м;
 ΔL – путь фильтрации, м.

Грунтовый поток понижается к месту разгрузки – реке (рисунок 4.4).

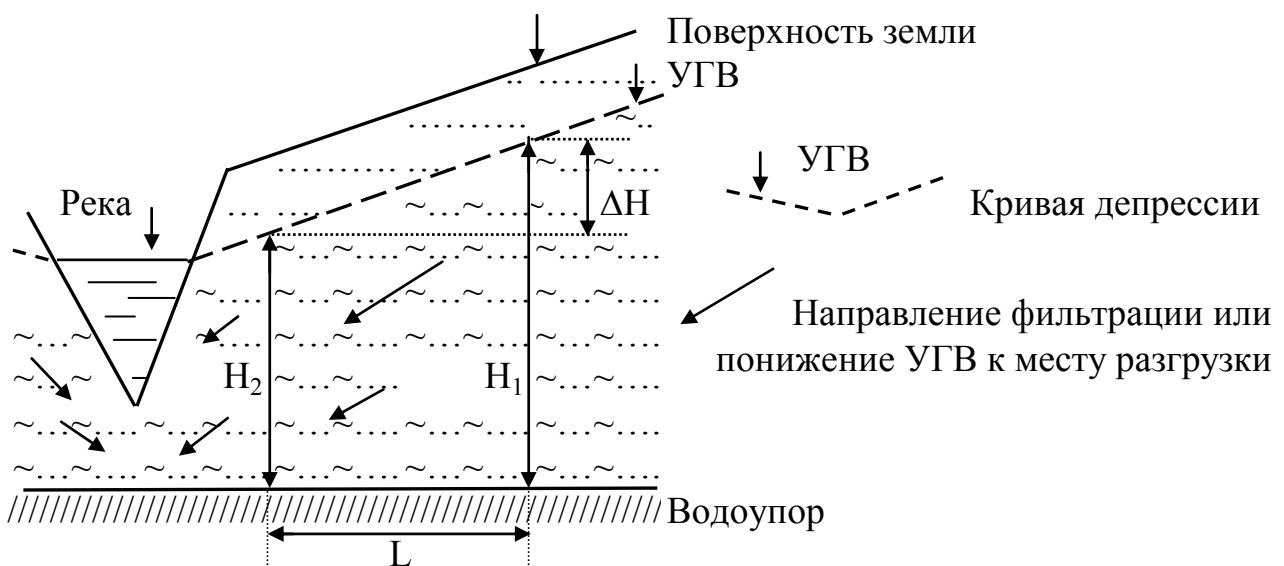


Рисунок 4.4 – Схема безнапорной фильтрации грунтовой воды

На рисунке 4.4 также показана схема безнапорной фильтрации грунтовой воды, где L – линия пути фильтрации, ΔH – разность напоров.

В зависимости от скорости движения воды различают два режима течения: ламинарный и турбулентный.

Ламинарный (слоистый) режим образуется при малых скоростях потока, когда в нем преобладают силы вязкости, при этом отдельные струи воды перемещаются независимо друг от друга. Турбулентный (беспорядочный) режим характерен для больших скоростей потока, – в потоке образуются завихрения, частицы воды перемещаются в поперечном направлении.

Фильтрация горных пород может иметь установившийся и неустановившийся характер.

Движение подземных вод, в той или иной мере, является неустановившимся, т.е. является переменным во времени. Это проявляется в изменениях уровня подземных вод, что обусловлено изменениями градиента, скорости и расходов подземных потоков. Изменения вызваны естественными или искусственными факторами, которые определяют условия питания, движения и разгрузки подземных вод. В том числе, неравномерным выпадением осадков и их инфильтрацией, колебанием горизонтов поверхностных водоемов, откачками подземных вод и др.

Если условия питания и разгрузки изменяются во времени незначительно, то фильтрация подземных вод имеет установившийся характер – это свойственно подземным водам с ламинарным режимом течения.

При движении воды в горных породах, наряду с гравитационными силами, возникают гидродинамические силы. Гидродинамическое давление, действующее на единицу объема горных пород, оказывает максимальное влияние на напряженное состояние глинистых слабопроницаемых пород, в которых наблюдаются максимальные градиенты напора. В пластах песчаных пород гидродинамическое давление ($P_{гд}$) может вызвать фильтрационные деформации (например: суффозию).

Для количественной оценки водоносных горизонтов составляют карты гидроизогипс и гидроизопьез, используя для этого результаты изменения уровней (напоров) воды в скважинах, расположенных в пределах водоносного горизонта (рассмотрим в следующем разделе).

Законы фильтрации. Коэффициент фильтрации горных пород

Ламинарное движение подчиняется закону фильтрации Дарси – формула 4.6:

$$Q = K_{\phi} \cdot I \cdot F = K_{\phi} \cdot \frac{\Delta H}{L} \cdot F, \quad (4.6)$$

где Q – расход воды или количество фильтрующейся воды в единицу времени, $\text{см}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{сут}$;

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, $\text{см}/\text{с}$, $\text{м}/\text{сут}$;

$I = \Delta H/L$ – гидравлический уклон или гидравлический (напорный) градиент, доли единиц;

F – площадь поперечного сечения потока воды, см^2 , м^2 ;

ΔH – разность напоров, см, м;

L – длина пути фильтрации, см, м.

Дарси установил, что количество воды, просачивающееся в единицу времени, пропорционально коэффициенту фильтрации, зависящему от физических свойств породы и фильтрующейся жидкости, падению напора, площади поперечного сечения породы и обратно пропорционально пути фильтрации (L), измеренного по направлению движения воды.

Скорость фильтрации (V) можно выразить зависимостью 4.7:

$$V = \frac{Q}{F}, \quad (4.7)$$

где V – скорость фильтрации, $\text{см}/\text{с}$, $\text{м}/\text{сут}$;

Q – количество фильтрующейся воды, $\text{см}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{сут}$;

F – площадь поперечного сечения потока воды, см^2 , м^2 .

Откуда:

$$Q = V \cdot F, \quad (4.8)$$

$$V = K_{\phi} \cdot I, \quad (4.9)$$

где Q – количество воды протекающее с определенной скоростью через площадь поперечного сечения образца породы (F , м^2), $\text{м}^3/\text{сут}$;

V – скорость фиктивная, $\text{м}/\text{сут}$; $\text{см}/\text{с}$.

То есть эта скорость относится только к той части поперечного сечения потока, равного площади пор породы, а остальная часть занята частицами породы.

Действительная скорость движения воды в порах зависит от минерального состава породы, от структуры и характера пор и должна относиться к движению водного потока через поры и определяться по нижеприведенной формуле 4.10:

$$V_{\text{д}} = \frac{Q}{F \cdot n_a}, \quad (4.10)$$

где $V_{\text{д}}$ – действительная скорость, $\text{м}/\text{сут}$, $\text{см}/\text{с}$;

n_a – активная пористость, доли единиц.

Преобразуем действительную скорость – V_d – формула 4.11:

$$V_d = \frac{V \cdot F}{F \cdot n_a} = \frac{V}{n_a}. \quad (4.11)$$

Откуда фиктивная скорость равна:

$$V = n \cdot V_d. \quad (4.12)$$

При напорном градиенте (I) равном единице скорость равна:

$$V = K_\phi = n \cdot V_d. \quad (4.13)$$

То есть коэффициент фильтрации характеризует водопроницаемость пород. Величина водопроницаемости зависит от размеров межпоровых промежутков в зернистых породах и ширины трещин в скальных горных породах.

Итак, при условии, если напорный градиент равен 1,0 – коэффициент фильтрации характеризуется скоростным показателем (уравнение 4.12), а при условии, что площадь поперечного сечения потока равна 1,0 – коэффициент фильтрации характеризуется объемным показателем, уравнение 4.14:

$$Q = K_\phi. \quad (4.14)$$

Коллекторы. Коллекторские свойства гидрогеологической системы

Коллекторами называют толщи горных пород, которые хорошо пропускают через себя воду и хорошо ее отдают в результате гравитационного вытекания или под действием упругих сил пласта. Выделяют коллекторы: поровые, трещинные и порово-трещинные, по происхождению – терригенные, хемогенные и др.

Коллекторские свойства характеризуют одновременно фильтрационные и емкостные свойства пласта. Рассматривается пропускная и емкостная способность пласта в целом как гидрогеологической системы.

Прямым показателем ее коллекторских свойств является коэффициент водопроводимости – T и коэффициент пьзопроводимости – χ .

Водопроводимость – свойство достаточно выраженного по разрезу слоя горных пород пропускать через себя некоторое количество свободной воды при полном насыщении и характеризующее систему в целом.

Величина водопроводимости характеризуется показателем « T », равным:

$$T = K_\phi \cdot H, \quad (4.15)$$

$$T = -K_{\phi} \cdot m, \quad (4.16)$$

где T – величина водопроницаемости в ненапорном горизонте и напорном горизонте, ($\text{м}^2/\text{сут}$);

H – мощность водоносного слоя в ненапорном горизонте, м;

m – мощность водоносного слоя в напорном горизонте, м;

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации ($\text{см}/\text{с}$, $\text{м}/\text{сут}$).

Пьезопроводимость, в свою очередь, характеризует способность пласта как системы проводить с той или иной скоростью созданные в нем изменения пьезометрического уровня или давления.

Иначе, перераспределение пластового давления ($P_{пл}$) в горизонте характеризуется коэффициентом пьезопроводности – формула 4.17:

$$\chi = \frac{K_{п}}{\mu \cdot \beta^*}, \quad (4.17)$$

где χ – коэффициент пьезопроводности, $\text{см}^2/\text{с}$ или $10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$

$K_{п}$ – коэффициент проницаемости, см^2 , м^2 , мкм^2 , 10^{-3} мкм^2 ;

β^* – упругий запас жидкости, $1/10^5 \text{ Па}$;

μ – динамическая вязкость, $10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ (вязкость среды, при ламинарном течении которой, в слоях, находящихся на расстоянии 1 м в направлении перпендикулярном течению, под действием давления сдвига 1 Паскаль возникает разность скоростей течения 1 м/с).

Упругий запас жидкости зависит от коэффициента упругоэластичности, он равен изменению упругого запаса жидкости в единице объема пласта при изменении пластового давления на 10^5 Па – формула 4.18:

$$\beta^* = n \cdot \beta_{ж} + \beta_{с}, \quad (4.18)$$

где β^* – упругий запас жидкости, $1/10^5 \text{ Па}$;

n – пористость (активная) водовмещающих пород, доли единиц;

$\beta_{ж}$ – коэффициент сжимаемости жидкости, $1/10^5 \text{ Па}$;

$\beta_{с}$ – коэффициент объемной упругости пласта, $1/10^5 \text{ Па}$.

Проницаемость горных пород

При фильтрации вод различной температуры, рассолов, нефти, газа через одни и те же породы значение коэффициента фильтрации меняется, что создает неудобство при расчетах. Поэтому вводится понятие проницаемость, означающее способность горных пород пропускать через себя различные жидкости или газы при наличии градиента давления. Численно она

характеризуется величиной коэффициента проницаемости (K_n). Он зависит только от величины и структуры порового пространства.

Коэффициента проницаемости (K_n) и коэффициента фильтрации (K_ϕ) находятся в следующей зависимости – формулы 4.19 и 4.20:

$$K_\phi = K_n \cdot \frac{\rho_w}{\mu}, \quad (4.19)$$

$$K_n = \frac{K_\phi \cdot \mu}{\rho_w}, \quad (4.20)$$

где K_ϕ – коэффициент фильтрации (см/с, м/сут);
 K_n – коэффициент проницаемости, см², м², мкм², 10⁻³ мкм²;
 ρ_w – плотность пластовой воды, г/см³;
 μ – динамическая вязкость, 10⁻³ Па·с.

Преобразуем, коэффициент фильтрации и определим единицу проницаемости – Дарси (Д) – формулы 4.21 и 4.22:

$$K_\phi = \frac{V}{I} = \frac{\frac{Q}{F}}{\frac{H_2 - H_1}{L}} = \frac{Q \cdot L}{\Delta H \cdot F} = \frac{Q \cdot L}{F \cdot \frac{P}{\rho_w}}, \quad (4.21)$$

$$K_n = \frac{Q \cdot L \cdot \mu}{F \cdot \Delta P} = \frac{\text{см}^3 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} \cdot \text{см}}{\text{с} \cdot \text{см}^2 \cdot 10^5 \text{ Па}} = 10^{-8} \text{ см}^2 = 10^{-12} \text{ м}^2 = 1 \text{ мкм}^2 = 1 \text{ Дарси}, \quad (4.22)$$

где Q – расход жидкости, см³/с;
 μ – динамическая вязкость, 10⁻³ Па·с;
 L – путь фильтрации, см;
 ΔP – перепад давлений, 10⁵ Па, (1 атм = 1 кгс/см² = 10⁵ Па = 0,1 МПа) численно равный произведению мощности (Н) водонасыщенного горизонта и его плотности (ρ_w);
 F – площадь фильтрации, см².

Итак: за единицу проницаемости принимается ДАРСИ, которая в 10¹² раз меньше, чем проницаемость 1 м².

За 1 м² принимается проницаемость такой среды, при фильтрацию через образец которой площадью 1 м², длиной 1 м и при перепаде давлений в 1 Па расход жидкости вязкостью 1 Па·с составляет 1 м³/сут.

Для пресной воды при температуре 20 °С (поверхностные условия) $K_n \approx K_\phi$, т.е. коэффициенты имеют приближенное численное равенство: 1 Д ≈ 1 м/сут.

4.4.2 Определение коэффициента фильтрации

Важнейшей характеристикой водоносного горизонта является коэффициент фильтрации, его нахождение представляет количественную оценку водопроницаемости горных пород.

Оценка фильтрационных способностей некоторых горных пород приведена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Коэффициент фильтрации некоторых горных пород

Характеристика грунтов (по Маслову)		
Коэффициент фильтрации, K_f , м/сут	Водопроницаемость	Грунты
< 0,001	водоупорные	глины
до 0,5	слабо водопроницаемые	супеси, слаботрещиноватые глинистые сланцы, песчаники, известняки
до 5	водопроницаемые	тонко-, мелкозернистые пески и трещиноватые скальные породы
до 50	хорошо водопроницаемые	среднезернистые пески и с повышенной трещиноватостью скальные породы
> 50	сильно водопроницаемые	галечники, гравелистые пески, сильнотрещиноватые скальные породы

Коэффициент фильтрации является основным расчетным показателем при решении всех гидрогеологических задач: определения фильтрационных потерь из водохранилища, количества воды, протекающей в единицу времени в основании и в береговых перемыканиях плотин; расчета дебита скважин в целях водоснабжения; притока воды в строительстве котлованов и др.

Существует несколько методов определения коэффициента фильтрации: лабораторный метод, посредством приборов различной конструкции; полевой метод – пользуются способом откачек и нагнетаний; расчетный метод, основанный на характеристике гранулометрического состава пород; геофизический метод.

В лабораторных условиях коэффициент фильтрации определяют главным образом для пород рыхлых несвязных — песчаных и для пород мягких связных — глинистых. Для грубообломочных пород, а также для скальных и полускальных, водопроницаемость которых зависит преимущественно от их скважности и трещиноватости, коэффициент фильтрации определяют только полевыми методами. Коэффициент проницаемости любых горных пород можно определять лабораторными и полевыми методами, а удельное водопоглощение — только полевыми.

Коэффициент фильтрации в лабораторных условиях определяется с помощью специальных приборов на образцах естественного и нарушенного сложения и косвенным путем по гранулометрическому составу и пористости пород или по времени, необходимому для уплотнения породы заданной нагрузкой.

Все лабораторные методы определения коэффициента фильтрации являются менее точными по сравнению с полевыми. Эти методы основаны на исследовании свойств отдельных образцов, взятых из толщи пород.

При полевых же методах (откачках, нагнетаниях) исследуют не отдельные образцы, а целые комплексы отложений, находящихся в условиях естественного залегания. Опытные откачки – более надежны, определяют коэффициент фильтрации (K_f) в пределах водоносного горизонта.

Поэтому в тех случаях, когда по лабораторным определениям должна быть дана средняя характеристика целого комплекса отложений, исследованиям должно быть подвергнуто достаточное количество образцов, взятых через небольшие интервалы из этого комплекса отложений. Иногда бывает необходимо выяснить фильтрационные свойства маломощных слоев, прослоек или линз пород иного состава, чем вмещающая их толща пород. В этих случаях лабораторные методы наиболее удобны, так как позволяют производить исследования пород выборочно, из отдельных горизонтов.

Наиболее точные результаты дают приборы, позволяющие определять коэффициент фильтрации по образцам естественного сложения (приборы Н. Н. Маслова, Г. Н. Каменского и др.).

Наименее точным является определение коэффициента фильтрации путем расчета по гранулометрическому составу и пористости пород. Этот метод применим главным образом для песчаных пород. Для глинистых пород он рекомендован быть не может, так как их фильтрационные свойства зависят не только от гранулометрического состава, но и от их сложения.

Описание лабораторного метода определения коэффициента фильтрации, согласно учебному пособию Ломтадзе В.Д. [1], приводится ниже.

4.4.3 Лабораторная работа № 3.2

Определение водопроницаемости песчаного грунта с помощью фильтрационного прибора Г.Н. Каменского

Лабораторные определения коэффициента фильтрации (K_f) проводятся, в частности, в приборе Г.Н. Каменского. Они сводятся к определению расхода воды, протекающей через исследуемый образец породы при установившемся напоре. Прибор Г.Н. Каменского для определения коэффициента фильтрации рыхлых пород наиболее распространен в лабораторной практике. Он применим для испытания пород нарушенного и естественного сложения (ГОСТ 25584).

Прибор Г.Н. Каменского (рисунок 4.5) состоит из цилиндра 1 и распределительного резервуара 9, присоединенного к цилиндру болтами и фланцем 8. Цилиндр отделен от распределительного резервуара металлическим

диск 6, который вместе с резиновыми прокладками зажимается между фланцами. На диске 6 с верхней стороны напаяно кольцо 5, внутри которого имеется дырчатая решетка 7. Напаянное кольцо 5 имеет болты с резьбой. При испытаниях в кольцо 5 на решетку 7 устанавливают режущий цилиндр 4 с породой. Диаметр цилиндра 10 см, высота 15 см.

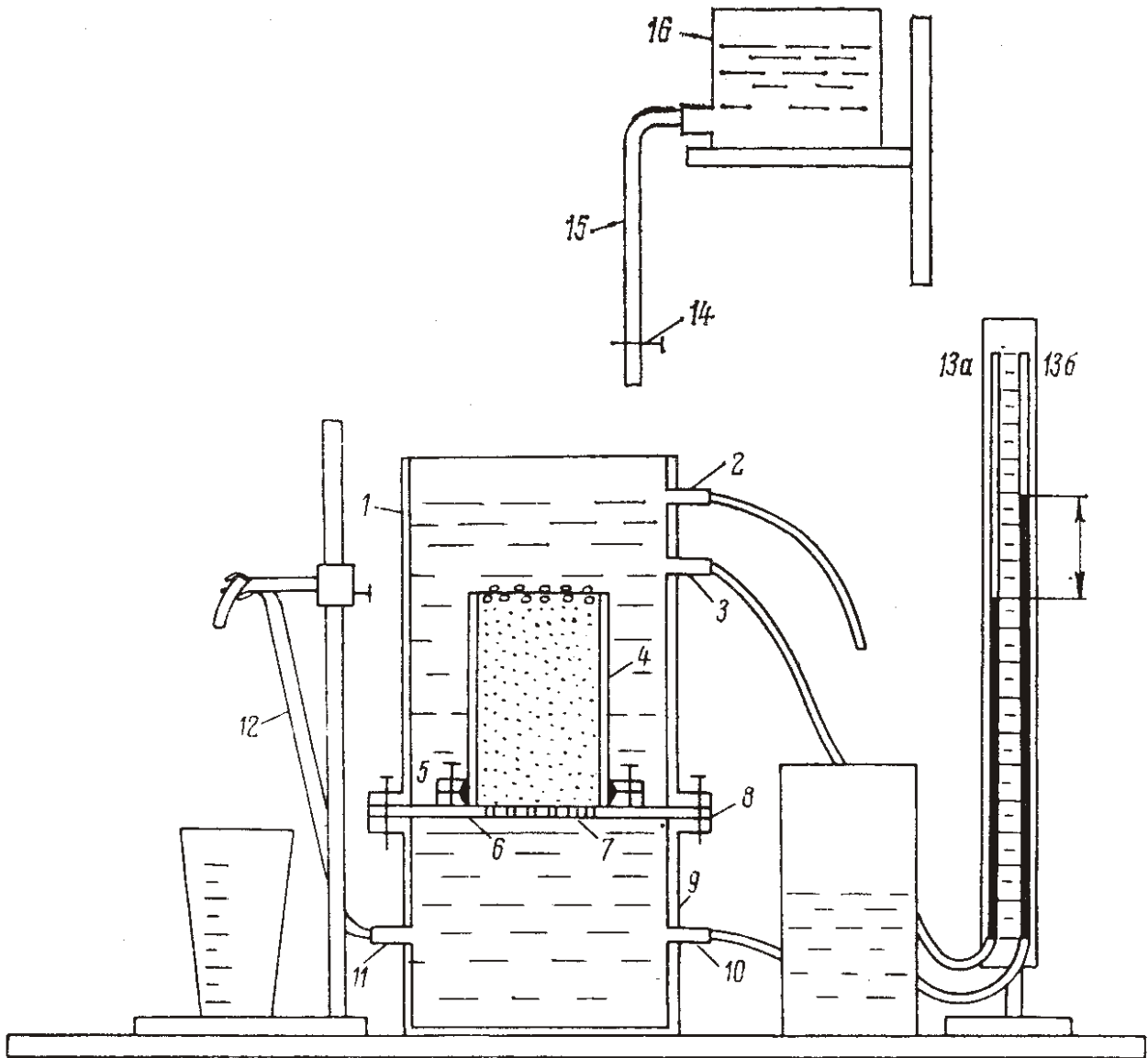


Рисунок 4.5 – Прибор Г.Н. Каменского для определения коэффициента фильтрации песчаных и глинистых пород

После установки режущего цилиндра 4 на него надевают второе кольцо, имеющее отверстия, в которые пропускают болты с резьбой. На болты навинчивают гайки, которые стягивают кольца и зажимают находящуюся между ними круглую резиновую прокладку и режущий цилиндр.

Цилиндр 1 сбоку имеет два отверстия, в которые впаяны штуцера 2 и 3. Нижний штуцер 3 через резиновую трубку присоединен к стеклянному

пъезометру 13а, а верхний 2 служит для поддержания постоянного уровня воды в приборе. Распределительный резервуар 9 имеет два отверстия со штуцерами 10 и 11. К одному штуцеру (10) через резиновую трубку присоединен второй стеклянный пъезометр 13б, а к другому (11) присоединена резиновая регулирующая трубка 12, служащая для насыщения породы водой при загрузке прибора и для регулирования напора и стока фильтрующейся воды во время опыта.

Стеклянные пъезометры 13а и 13б укреплены на деревянной панели с миллиметровой шкалой. Нуль шкалы должен находиться в нижней части панели. Прибор устанавливают на столе; выше на специальной подставке или полке устанавливают бутылку с тубусом 16, от которого отходит подводная трубка 15 с зажимом 14. Резиновую регулирующую трубку 12 прибора укрепляют на штативе.

При определении коэффициента фильтрации кроме прибора необходимо иметь следующее оборудование:

- 1) бутылку стеклянную с тубусом объемом 5÷8 л;
- 2) мерный цилиндр объемом 500 см³;
- 3) часы или секундомер;
- 4) термометр;
- 5) журнал б.

Последовательность определения

1. Установив прибор на столе, нижнюю часть его до решетки 7 заливают водой через резиновую регулирующую трубку 12, которую для этой цели присоединяют к подводной трубке 15 бутылки с водой.

2. Из монолита с помощью режущего цилиндра 4 вырезают образец режущим кольцом (*песок среднезернистый, № 3.1*). Режущим цилиндром 4 монолит может быть также вырезан непосредственно в полевых условиях в той или иной горной выработке. Монолит помещают внутрь цилиндра 1 на решетку 7, на которую положена мелкая металлическая сетка или марля.

При испытании породы нарушенного сложения загружают прибор породой с трамбовкой и насыщением водой. Насыщение производят снизу периодическим открыванием зажима 14 у подводной трубки. Загружать прибор необходимо до уровня верхнего края режущего цилиндра 4.

Зная объем режущего цилиндра и массу породы (например, песка), загруженной в цилиндр, вычисляют плотность или плотность скелета породы, т. е. плотность, при которой она будет испытываться на водопроницаемость.

При отсутствии специального задания коэффициент фильтрации песков следует определять при их рыхлом и плотном сложении. Испытуемую породу в приборе следует прикрыть слоем гравия толщиной 2—3 см, чтобы предохранить его от размыва при поступлении воды в прибор сверху.

3. По окончании загрузки прибора породой подачу воды снизу прекращают. Регулирующую трубку 12 отсоединяют от подводной трубки 15 и закрепляют на штативе на уровне верхнего бокового отверстия штуцером 2.

Подводящую трубку 15 переводят наверх прибора и, приоткрыв зажим 14, заполняют прибор водой до верхнего бокового отверстия со штуцером 2.

4. Подготовив прибор к опыту, производят проверку работы пьезометров. Если регулирующая резиновая трубка 12 закреплена на уровне верхнего бокового отверстия со штуцером 2, движения воды через породу не должно происходить, поэтому уровень воды в обоих пьезометрах (13а, 13б) должен находиться на одной и той же высоте.

Если уровень воды в пьезометрах не устанавливается на одной высоте, то это означает, что один из них неисправен: он или пропускает воду, или засорился, или в нем имеются пузырьки воздуха. Неисправности пьезометров необходимо устранить.

5. Проверив работу пьезометров, приступают к опыту, для чего регулируемую резиновую трубку 12 устанавливают на высоте половины верхней трети испытываемого столба породы, загруженного в прибор. При таком положении регулирующей трубки 12 в приборе создается напорный градиент, под влиянием которого вода начнет фильтроваться через породу и стекать через регулируемую трубку 12.

6. Для поддержания постоянного уровня воды в приборе и, следовательно, постоянного напорного градиента открывают зажим 14 у подводящей трубки 15, через которую из бутылки вода поступает в прибор. Поступление воды в прибор стараются отрегулировать зажимом так, чтобы ее было достаточно на фильтрацию, через породу и уровень ее в приборе держался постоянным. Последнее достигается, если вода одновременно с фильтрацией через породу будет также каплями или слабой струйкой стекать через верхнее боковое отверстие прибора со штуцером 2.

7. После установления постоянного положения уровня воды в пьезометрах при фильтрации воды через породу производят:

а) отсчеты показаний по пьезометрам и вычисления разности уровней воды в пьезометрах;

б) измерение расхода воды, стекающей из регулирующей трубки 12, за время t (с), необходимое для наполнения мерного цилиндра объемом V (см³), подставляемого под регулируемую трубку; отсюда расход Q (см³/с) равен:

$$Q = \frac{V}{t}. \quad (4.23)$$

в) измерение температуры воды в приборе.

8. По полученным данным вычисляют коэффициент фильтрации по следующей формуле 4.24:

$$K_{\phi} = \frac{Q \cdot 864}{F \cdot I}, \quad (4.24)$$

где K_{ϕ} — коэффициент фильтрации, м/сут;
 864 — переходный коэффициент, см/с в м/сут;
 Q — расход воды, фильтрующейся через площадь поперечного сечения F в единицу времени, замеренный в процессе опыта, см³/с;
 F — площадь поперечного сечения режущего цилиндра прибора, равная площади сечения породы, через которую фильтруется вода, см²;
 I — напорный градиент, равный отношению среднего напора к длине пути фильтрации, доли единиц – формула 4.25:

$$I = \frac{\Delta h}{l}, \quad (4.25)$$

где Δh – разница уровней в пьезометрах, см;
 l – высота режущего цилиндра 4 , см.

9. Для приведения результатов опыта к постоянной температуре, например к 10 °С или какой-либо другой, вычисляют и учитывают температурную поправку ТП по формуле 4.26 – Пуазейля:

$$ТП = 1 + 0,0337 \cdot t + 0.000221 \cdot t^2. \quad (4.26)$$

Для приведения результатов опыта к необходимой температуре полученный коэффициент фильтрации умножают на поправку, соответствующую той температуре воды, к которой нужно привести полученный коэффициент, и делят на поправку, отвечающую температуре, при которой было произведено определение коэффициента фильтрации – формула 4.27:

$$K_{\phi.исх.} = \frac{K_{\phi.факт.} \cdot ТП_{исх.}}{ТП_{факт.}}. \quad (4.27)$$

Для лучшего пояснения правила пользования температурной поправкой по формуле Пуазейля рассмотрим следующий пример:

В результате опыта получили значение $K_{\phi} = 8$ м/сут при $t = 17$ °С.

Требуется определить K_{ϕ} при $t = 10$ °С.

Поправка ТП для 10 °С, равна 1,36, и для 17 °С, равна 1,64.

Вычисляем K_{ϕ} при 10 °С по приведенной формуле 4.28:

$$K_{\phi.10} = \frac{8 \cdot 1,36}{1,64} = 6,63 \text{ м / сут}. \quad (4.28)$$

Ниже в таблице 4.7 приведены значения температурных поправок по Пуазейлю.

Таблица 4.7 – Таблица температурных поправок (ТП) по Пуазейлю для определения коэффициента фильтрации (K_{ϕ})

T, °C	ТП		T, °C	ТП		T, °C	ТП		T, °C	ТП
1	2		1	2		1	2		1	2
10	1,36		14	1,52		18	1,68		22	1,84
10,5	1,38		14,5	1,55		18,5	1,7		22,5	1,86
11	1,4		15	1,56		19	1,72		23	1,88
11,5	1,42		15,5	1,58		19,5	1,74		24	1,92
12	1,44		16	1,6		20	1,76		25	1,96
12,5	1,46		16,5	1,62		20,5	1,78		26	2
13	1,48		17	1,64		21	1,8		27	2,04
13,5	1,5		17,5	1,66		21,5	1,82		28	2,08

10. Вычислив коэффициент фильтрации после первого опыта, испытания **студенты самостоятельно** повторяют еще при двух различных напорных градиентах. Для этого регулируемую резиновую трубку 12 при втором опыте устанавливают на высоте половины, а при третьем опыте – на высоте половины нижней трети испытуемого столба породы, загруженной в прибор. При испытании породы нарушенного сложения опыты повторяют в той же последовательности, но породу в прибор загружают при другой или заданной плотности.

11. *Дано:*

- Значение коэффициента фильтрации для образца № 3.1 (песок среднезернистый) после первого опыта.
- Показания пьезометров при двух различных напорных градиентах.

Задание для студентов:

12. Студентам следует самостоятельно провести второе и третье исследование. Вычислить коэффициент фильтрации при втором и третьем опыте и определить среднее значение коэффициента фильтрации.

13. Сделать выводы.

Все измерения и расчеты, сделанные в процессе опыта и вычисления коэффициента фильтрации **студенты** записывают в рабочий журнал № 6 (таблица 4.8), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 4.8 – Журнал № 6. Определения коэффициента фильтрации с помощью прибора Г.Н. Каменского

№ прибора __ 17 __ Внутренний диаметр режущего кольца или цилиндра прибора, __ d __ 10,0 см Площадь поперечного сечения образца, __ F __ 78,5 см ² Длина пути фильтрации, __ l __ 15,0 см														
Лабораторный номер	Дата	Номер опыта	Плотность скелета породы, г/см ³	Количество профильтровавшейся воды V , см ³	Время t , с	Расход $Q = V/t$, см ³ /с	Показатели пьезометров, см		Разница уровней в пьезометрах, h , см	Напорный градиент $I = h / l$	Коэффициент фильтрации $K_{\phi} = Q/(F \cdot I) \cdot 864$, м/сут	Температура t , °С	Температурная поправка $ТП_t = 1 + 0.0337 \cdot t + 0.000221 \cdot t^2$	Коэффициент фильтрации при 10°С; $K_{\phi 10} = K_{\phi} \cdot ТП_{10} / ТП_t$
							1	2						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3.1	25.10	3	1,67	22,0	30	0,733	73,5	59,5	14	0,933	8,648	20	1,76	6,682
«»	«»	«»	«»	22,7	30		71,5	57,7						
«»	«»	«»	«»	23,2	30		69,5	55,4						
среднее значение K_{ϕ}														

4.5 Заключение к лабораторной работе № 3.2

Данные, характеризующие водопроницаемость рыхлых обломочных и глинистых пород, имеют весьма широкое применение в практике. Они необходимы для определения притока воды к строительным котлованам, подземным выработкам, для оценки потерь воды на фильтрацию, решения вопроса о способах их осушения, оценки скорости осадки сооружений и др.

Водопроницаемость песков, галечников и других рыхлых обломочных пород зависит от их пористости и скважности.

Водопроницаемость любых горных пород тем больше, чем больше их скважность, т. е. чем больше размер пор, пустот и трещин. Она зависит также от напора, под влиянием которого движется вода. Например, глинистые породы при небольших напорах могут не пропускать через себя воду, а при больших становятся водопроницаемыми.

Водопроницаемыми следует считать такие породы, которые при реально существующих или проектируемых напорах пропускают или будут пропускать воду. К водонепроницаемым породам относят такие, которые при действующих напорах не пропускают воду.

На водопроницаемость песчаных и других обломочных пород большое влияние оказывают степень однородности их гранулометрического состава, а также примеси глинистых частиц и хорошо разложившегося органического вещества. Так, например, чистые галечники могут быть очень сильноводопроницаемыми, а те же галечники с песчаным мелкозернистым и тонкозернистым заполнителем будут слабоводопроницаемыми.

Водопроницаемость песка быстро уменьшается по мере увеличения примеси глинистых частиц. Если к чистому песку прибавить лишь 10 % глинистых частиц, то водопроницаемость его уменьшится на 73,6 %. Известно, что при добавлении к кварцевому песку 10 % бентонита водопроницаемость его уменьшается в 10 000 раз.

Неоднородность гранулометрического состава и особенно минеральный состав оказывают большое влияние на водопроницаемость глинистых пород. Так, например, монтмориллонитовые глинистые породы обычно в сотни и тысячи раз менее водопроницаемы, чем каолинитовые.

Весьма значительно на водопроницаемости глинистых пород сказывается состав обменных катионов.

Снижение водопроницаемости глинистых пород от присутствия обменного Na^+ объясняется его диспергирующим действием, в результате чего уменьшается размер пор. Кроме того, обменный Na^+ увеличивает гидрофильность пород, т. е. содержание физически связанной воды, и существенно уменьшает эффективную пористость, что еще больше уменьшает их водопроницаемость.

Существенно изменяется водопроницаемость пород при их уплотнении под влиянием давления вышележащих масс горных пород или сооружений, а также при разуплотнении и высыхании. Многие глинистые породы при

высыхании дают большую усадку, растрескиваются, отчего водопроницаемость их сильно повышается.

Водопроницаемость глинистых пород может увеличиваться в десятки раз при растворении и выщелачивании содержащихся в их составе солей или цементирующего вещества, а также при вытаивании льда из мерзлых пород. Следует заметить, что некоторые глинистые породы в отношении водопроницаемости обладают ярко выраженной анизотропностью. Так, например, ленточные глины в горизонтальном направлении водопроницаемы, а в вертикальном — практически водоупорны. Лёссовые породы, наоборот, в вертикальном направлении сравнительно сильноводопроницаемы, а в горизонтальном слабопроницаемы.

Скорость движения воды через горные породы, и в том числе через песчаные и глинистые, в некоторой степени зависит также от ее температуры, с повышением которой уменьшается вязкость воды и повышается подвижность. Поэтому при оценке проницаемости таких пород для нефти и некоторых других жидкостей, а также при оценке скорости выжимания воды из глинистых пород при уплотнении необходимо учитывать ее вязкость.

Таким образом, водопроницаемость песчаных и других обломочных, а также глинистых пород (как и любых других) зависит от их гранулометрического и минерального состава, его однородности, состава обменных катионов, степени уплотненности, скважности и размера пор, гидродинамических условий (действующий напор) и свойств воды (вязкость).

Как известно, движение воды в песчаных и глинистых породах происходит главным образом под действием напора.

Однако необходимо учитывать, что движение воды в песчаных и глинистых породах может происходить также под влиянием ряда факторов, а именно: капиллярных сил; сорбционных сил; осмотических сил; электроосмотических сил; температурных градиентов; промерзания пород; испарения воды и разности упругости пара; давления, создаваемого газами и парами воды, и т. д.

Из изложенного следует, что условия движения воды в песчано-глинистых породах могут быть сложными, зависящими от влияния разных сил. Если градиенты этих сил имеют одинаковое направление, то интенсивность и скорость передвижения воды могут увеличиваться, а при противоположном направлении ослабляться или даже прекращаться. Здесь важно отметить, что когда в породе все поры заполнены водой или содержат относительно небольшое количество воздуха и газов, движение воды в такой породе принято называть фильтрацией, а когда поры лишь частично заполнены водой, ее передвижение называют миграцией. Миграция воды в породе может происходить как в жидком, так и в парообразном состоянии. Изучение и оценка фильтрации и миграции воды в песчаных и глинистых породах имеют очень большое значение. Они характеризуют водопроницаемость, т. е. важнейшее водное свойство пород, влияющее на изменение других свойств (прочность, деформируемость и др.), а также вызывают развитие различных процессов и явлений.

4.6 Морозное пучение. Общие сведения

Пучение – процесс увеличения объема промерзающего грунта, – отмечает Седенко М.В. [8], – происходящий вследствие как увеличения объема замерзающей влаги, так и главным образом образования в промерзающих грунтах прослоек и линз льда, что особенно интенсивно происходит в условиях миграционного подтока воды извне к фронту промерзания. Особенно мощные прослойки и линзы льда в промерзающих грунтах образуются при длительной задержке границы промерзания на некоторой глубине и близком положении к той границе зеркала грунтовых вод. Если же промерзание идет интенсивно (при сильных морозах), то вода в дисперсных грунтах *не успевает подтягиваться к фронту промерзания* и линзы и прослойки льда при этом не образуются, а возникают лишь отдельные кристаллы льда, рассеянные во всей массе грунта и прочно цементирующие его частицы.

В процессе промерзания грунтов в них формируется своеобразная текстура массивная, слоистая и сетчатая, во многом определяющая механические свойства грунтов, – отмечает Скабалланович И.А. [9]. Массивная текстура не содержит обособленных ледяных включений и образуется в раздельнозернистых грунтах (песчаных, гравелистых и т. п.); объем пор при этом остается почти неизменным, что и является причиной отсутствия пучин на участках дорог, сложенных раздельнозернистыми породами. Слоистая текстура характеризуется наличием ледяных включений, расположенных в виде более или менее параллельных прослоек и линз. Сетчатая текстура характеризуется хаотическим расположением ледяных включений, образующих более или менее непрерывную пространственную решетку (сетку). Слоистая и сетчатая текстуры возникают в связных грунтах, особенно пылеватых, что и обуславливает их наибольшую пучинистость. При оттаивании пучинистых грунтов их механическая прочность резко падает, что обычно и является причиной деформации дорожного полотна и других сооружений, воздвигнутых на подобных грунтах.

Морозным пучением грунта называется увеличение объема водонасыщенного грунта при воздействии на него отрицательной температуры.

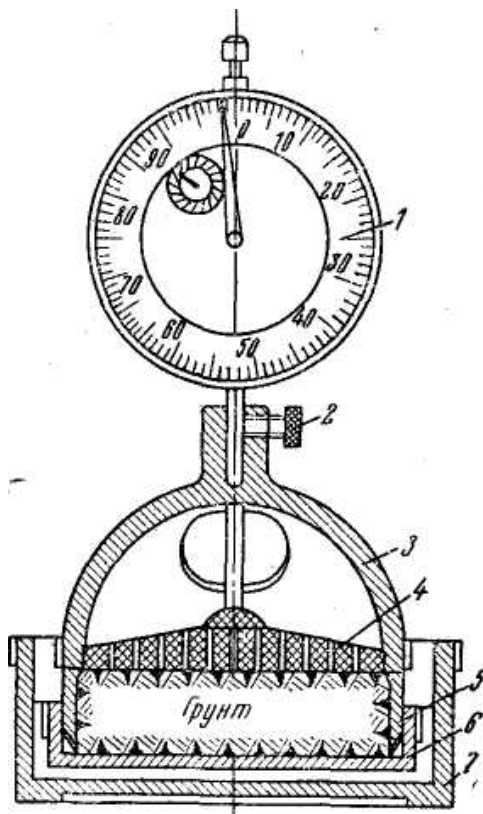
Морозное пучение грунта характеризуют коэффициентом морозного пучения – $K_{м.пуч.}$, представляющим собой отношение вертикальной деформации пучения при промораживании образца к его первоначальной высоте, выраженное в процентах.

Лабораторные исследования определения коэффициента морозного пучения горных пород проведены на глинистых образцах (№ 1.2 – супесь) и песчаных образцах (№ 2.2) грунта ненарушенного сложения методом непосредственных измерений до и после замораживания.

В настоящей лабораторной работе описываются: метод испытания грунта на морозное пучение с использованием прибора Д.И. Знаменского описанного в пособии Бирюкова Н.С. [2] и метод непосредственных измерений до и после замораживания грунтов – пособие Малкиной Г.С. [3].

4.6.1 Определение коэффициента морозного пучения с использованием прибора Знаменского

Для испытания грунтов на морозное пучение применяется измененный (в отношении размеров) прибор Д.И. Знаменского для определения набухания грунтов (рисунок 4.6).



Условные обозначения. Размеры: кольцо 5 — внутренний диаметр 50,4 мм, высота 50 мм; обойма 3 — внутренний диаметр 55 мм, высота 110 мм; поршень 4 — диаметр 49,3 мм, высота 13,6 мм; поддон 6 — внутренний диаметр 60,4 мм, высота 18 мм; ванночка 7 — внутренний диаметр 88 мм, высота 75 мм.

Рисунок 4.6 – Прибор ПНЗ для испытания грунтов на морозное пучение

В ванночке просверлены четыре отверстия (под бортиком по концам диаметров, пересекающихся взаимно перпендикулярно) для закрепления проволочек.

Подготовка грунта ненарушенного сложения осуществляют следующим образом

1. Взвешивают режущее кольцо с точностью до 0,01 г (масса g_1).
2. Острым режущим торцом кольцо ставят на зачищенную горизонтальную поверхность монолита грунта; вырезают целик грунта, обрезают его ножом по внешней образующей кольца и одновременно насаживают кольцо на целик грунта. При этом следят, чтобы кольцо погружалось вертикально.

Насаживают кольцо до выступания целика грунта из него на $1 \div 2$ мм, затем отделяют кольцо от монолита осторожным подрезанием грунта ножом с режущего торца кольца. Взятый в кольцо грунт осторожно срезают по плоскостям вровень с торцами кольца. Тщательно очищают кольцо от приставших частиц грунта.

3. Кольцо с грунтом взвешивают с точностью до 0,01 г (масса g_2).

Ход определения

1. Подготовленные приборы помещают в холодильную камеру и включают ее в электросеть. Испытание ведут при температуре воздуха в камере -5 °С. В процессе испытания деформация морозного пучения измеряется с помощью индикатора. Опыт продолжают, пока показание индикаторов перестанет изменяться, что укажет на окончание промерзания образцов. Как показывает опыт, окончание процесса промерзания происходит через 2 суток после помещения образцов в холодильную камеру.

2. По окончании испытания на основании установленных величин деформации морозного пучения вычисляют величину относительного морозного пучения. $K_{м.пуч.}$ испытуемого грунта, пользуясь формулой 4.29:

$$K_{м.пуч.} = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100\%, \quad (4.29)$$

где $K_{м.пуч.}$ – коэффициентом морозного пучения, %;

Δh - приращение высоты образца грунта по показаниям индикатора (разность между последним и первым отсчетами), мм;

h — начальная высота образца, мм.

За величину морозного пучения грунта принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных испытаний.

3 Определение величины морозного пучения грунта этим методом студентами не проводится.

4.6.2 Лабораторная работа № 3.3

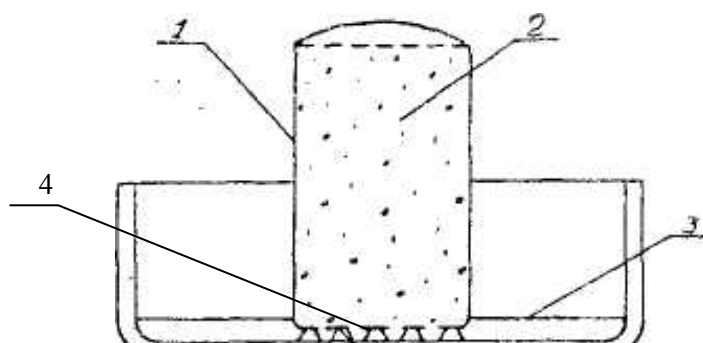
Определение коэффициента морозного пучения грунта методом непосредственных измерений до и после замораживания

Оборудование

Холодильная камера, бюксы с отверстиями в днище (рисунок 4.7), ванночки для воды, штангенциркуль, грунтонос.

Подготовка пробы для образцов ненарушенной структуры

Образец вырезается грунтоносом из монолита, помещается в бюкс, излишек грунта срезается ножом.



Условные обозначения: 1 - бюкс, 2 - образец грунта, 3 - ванночка с водой, 4 - отверстия в дне сосуда для подтока воды.

Рисунок 4.7 - Бюкс и ванночка для определения морозного пучения,

Ход работы

Для нескольких образцов (3-4) замеряют штангенциркулем высоту (она соответствует высоте бюкса минус толщина дна). Затем образцы ставят в ванночки с водой и помещают в холодильную камеру. Замораживание грунтов производится при постоянной температуре в течение суток.

После замораживания вновь измеряют штангенциркулем высоту образца. Замеры делают в трех различных направлениях и берут средний результат. Толщина стенок бюкса (и днища) замеряется штангенциркулем до начала испытания. Вычисляют величину относительного морозного пучения по формуле 4.30:

$$K_{\text{м.пуч.}} = \frac{h_2 - h_1}{h_1} \cdot 100\%, \quad (4.30)$$

где $K_{\text{м.пуч.}}$ – коэффициентом морозного пучения, %;

h_1 — начальная высота образца, мм;

h_2 — высота образца после замерзания, мм.

В таблице 4.9 показаны различие группы грунтов по степени пучинистости

Таблица 4.9 – Различие грунтов по степени пучинистости

По степени пучинистости грунты различают:		$K_{\text{м.пуч.}}$, %		
1	непучинистые		0	
2	малопучинистые	1,5	$< K_{\text{м.пуч.}} <$	3,5
3	среднепучинистые	5	$< K_{\text{м.пуч.}} <$	10
4	очень пучинистые	15	$< K_{\text{м.пуч.}} <$	25

Задание для студентов:

Результаты испытаний студенты записывают в журнал 7 (таблица 4.10). Делают выводы. Окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 4.10 – Журнал № 7. Определение коэффициента морозного пучения грунта

Лабораторный номер	Номер бюкса	Наименование грунта	Толщина стенок бюкса, мм	Высота бюкса, мм		Высота образца грунта, мм		Коэф-т морозного пучения
						до замерзания	после замерзания	
						$h_1 = L^1_1 - h$	$h_2 = L^1_2 - h$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.2	115	супесь	0,80	38,0	39,0	37,20	38,2	
2.2	116	песок	0,80	38,0	38,0	37,20	37,2	

Выводы (см. таблицу 4.9):

- для песков – $K_{м.пуч} = \dots\dots\dots$ (.....),
- для глинистых пород – $K_{м.пуч} = \dots\dots\dots$ (.....),
- то есть в супеси размер частиц меньше, чем у песков, а водоподъемные свойства выше (H капиллярного поднятия выше).

4.7 Заключение к лабораторной работе № 3.3

Согласно Седенко М.В. [8], замерзание и оттаивание горных пород влекут за собой ряд физико-геологических явлений, которые могут влиять на различные сооружения. Вне области распространения многолетней мерзлоты замерзающий в зимнее время слой грунта принято называть *сезонной мерзлотой*. Сезонное промерзание и оттаивание грунтов оказывают вредное воздействие на части инженерных сооружений, находящихся в этом слое (фундаменты, водопроводы и т. п.). Поэтому, чтобы предотвратить это отрицательное воздействие, объекты возводят ниже слоя сезонного промерзания. Пучение мерзлых грунтов, в свою очередь, оказывает отрицательное воздействие на различные сооружения, но наибольшие осложнения приносит полотну автомобильных и железных дорог и аэродромным покрытиям. Обычно поднятие грунта неравномерное, что изменяет профиль дорожного пути или покрытия. Весной при оттаивании грунт пучинистых мест разжижается и теряет способность поддерживать одежду дорог. Пучение на дорогах и аэродромах имеет место не только в области распространения многолетней мерзлоты, но и в районах сезонной мерзлоты, хотя проявляется здесь менее интенсивно.

5 Лабораторная работа № 4

Водоустойчивость глинистых грунтов

Водоустойчивость, т. е. способность горных пород сохранять свое физическое состояние и прочность при увлажнении или изменении влажностного режима, имеет особенно большое значение для мягких связных пород – глинистых. Данная лабораторная работа состоит из трех частей, в которой, согласно учебным пособиям [1, 2], изучаются скорость и характер размокания пород в воде, их набухание и усадка.

5.1 Скорость размокания глинистых пород

Одним из показателей водоустойчивости глинистых пород являются скорость и характер их размокания в воде.

Глинистые и пылеватые тонкодисперсные грунты, взаимодействуя с водой, теряют связность и распадаются на агрегаты, форма и размеры которых бывают различными. Свойство грунтов терять связность в стоячей, спокойной воде называется *размокаемостью*. Характер и скорость размокания грунтов зависят от их минералогического состава, содержания глинистых частиц и степени засоленности. Размокаемость грунтов - отрицательное свойство. Поэтому при строительстве предусматриваются и проводятся мероприятия по защите поверхности грунтов водонепроницаемыми покрытиями или путем укрепления грунтов различными водостойкими добавками.

В зависимости от целей исследования скорость и характер размокания пород определяют на образцах естественного сложения и влажности или на образцах нарушенного сложения, но затем уплотненных до определенного состояния при соответствующей влажности.

5.1.1 Лабораторная работа № 4.1

Определение скорости и характера размокания супеси

Для этих исследований необходимо иметь:

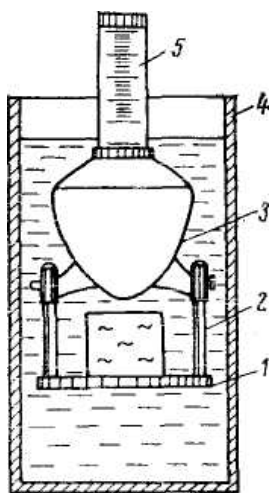
- 1) большую стеклянную банку или кристаллизатор с установленной в них сеткой с квадратными отверстиями $1,0 \text{ см}^2$ либо специальный прибор для исследования пород на размокание (рисунок 5.1);
- 2) режущие кольца или формы для вырезания образцов (рисунок 5.2);
- 3) журнал № 8.

Последовательность определения

1. Из монолита горной породы вырезают образец кубической формы размером $5 \times 5 \times 5 \text{ см}$ или $7 \times 7 \times 7 \text{ см}$. Образец можно вырезать также с помощью режущего кольца или формы способом, описанным выше. Вырезав из монолита образец породы, его осторожно выдавливают из режущего кольца или формы поршнем (рисунок 5.2). Одновременно из «монолита» отбирают пробу для

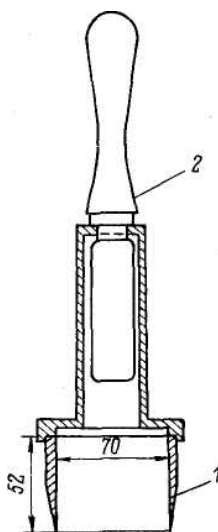
определения естественной влажности породы.

2. Кубик или цилиндр породы устанавливают на сетку с отверстиями $1,0 \text{ см}^2$, которая в свою очередь должна быть установлена или подвешена в банке (или кристаллизаторе) с водой, и записывают время и дату начала испытания. Воду при испытаниях применяют дистиллированную или близкую по составу к той, воздействию которой порода будет подвергаться в природных условиях. При применении специального прибора для исследования пород на размокание вырезанный образец ставят на сетку прибора и опускают его в банку с водой. При этом записывают время и дату начала испытания.



Условные обозначения: 1 — сетка с установленным на ней образцом; 2 — кронштейн; 3 — металлический поплавок; 4 — банка с водой; 5 — шкала для определения скорости размокания (в процентах).

Рисунок 5.1 - Прибор для определения скорости размокания глинистых пород



Условные обозначения: 1 — режущее кольцо; 2 — ручка с упором.

Рисунок 5.2 - Приспособление для вырезания образцов

Помещенные в воду образцы начинают размокать. Характер и скорость размокания у разных пород различны. Одни распадаются сначала на более или менее крупные куски или комки (рисунок 5.3), другие сразу же на мелкие частицы и проваливаются через сетку. Некоторые образцы вначале набухают, затем разваливаются на крупные комки. Образцы водоустойчивых пород в воде обычно сохраняют свою форму и объем без изменений продолжительное время. Все изменения образцов пород, наблюдающиеся в процессе размокания, фиксируют в журнале вначале через интервалы 5—10 мин, затем через 30 мин, через 1 ч и т. д. По мере замедления изменений состояния образцов интервалы между наблюдениями увеличивают до 1 раза в сутки. Общая продолжительность наблюдений иногда достигает 10—15 суток.

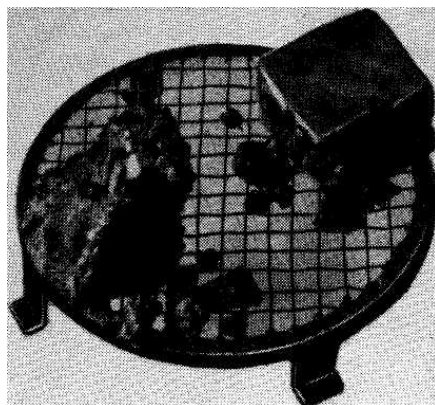


Рисунок 5.3 - Образцы породы на сетке после испытания их на размокание

Опыт считают законченным, когда образец породы размокнет и провалится через сетку на дно банки или когда процесс размокания приостанавливается и образец сохраняет свое состояние без изменения продолжительное время. Результаты опыта выражают в виде интервала времени, требующегося для полного размокания образца породы (скорость размокания), кроме того, дают описание характера размокания. Если образец породы не размокает, необходимо дать подробное описание его поведения в воде.

3. Числовые отметки фиксируют через определенное время (промежутки). Всего проводят 3-4 испытания. Процент распада определяют для каждой числовой оценки по формуле:

$$П = \frac{Г - Р}{Г}, \quad (5.1)$$

где П – процент распада грунта, %;

Г – начальная числовая отметка (для примера равная 20) на шкале прибора;

Р – числовая отметка в процессе размокания.

Все наблюдения, произведенные в процессе испытания, записывают в журнал № 8 (пример оформления - таблица 5.1), а окончательный результат заносят в сводную таблицу.

4. По результатам проведения опыта (рисунок 5.4) строят кривую зависимости величины распада (Π – размокания) грунта во времени (t).

На рисунке 5.4 и в таблице 5.1 показаны результаты скорости и характера размокания грунта (супеси) во времени (*пример*).

В течение 15 минут супесь размокает медленно на мелкие фракции ($\Pi=55\%$), через 25 минут характер распада убыстряется – отделяются крупные частицы и через 60 минут наступает полный распад.

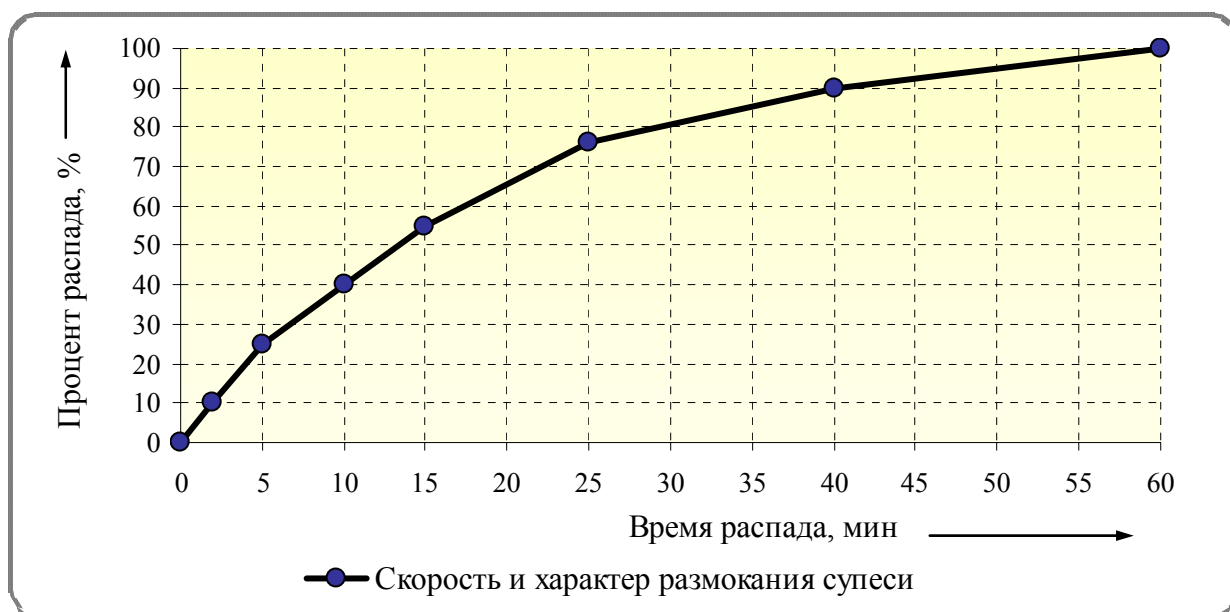


Рисунок 5.4 – Пример динамики распада грунта (супеси) во времени

Примечание – Водоустойчивость скальных и полускальных горных пород характеризуется коэффициентом размягчаемости K_p , численно равным отношению временного сопротивления сжатию образца породы, насыщенного водой, $R_{сж.в.}$, к временному сопротивлению сжатию образца породы в воздушно-сухом состоянии $R_{сж.с.}$:

$$K_p = \frac{R_{сж.в.}}{R_{сж.с.}}, \quad (5.2)$$

где K_p – коэффициент размягчаемости, доли единиц;

$R_{сж.в.}$ – временное сопротивление сжатию образца породы, насыщенного водой, МПа;

$R_{сж.с.}$ – временное сопротивление сжатию образца породы в воздушно-сухом состоянии, МПа.

Таблица 5.1 – Пример заполнения журнала № 8 для определения скорости размокания глинистых пород

Лабораторный номер	Дата наблюдения	Время наблюдения, мин.	Скорость и характер размокания супеси				Примечание
			начальная числовая отметка на шкале прибора	числовая отметка в процессе размокания	разница отметок	процент распада грунта, %	
		t	Г	Р	Г-Р	П	
1.2	08.11.08	0	20	20	0	0	Медленный распад (мелкие фракции)
		2	20	18	2	10	
		5	20	15	5	25	
		10	20	12	8	40	
		15	20	9	11	55	
		25	20	5	15	76	Быстрый распад (крупные частицы)
		40	20	2	18	90	
		60	20	0	20	100	

Задание для студентов:

Провести повторное испытание грунта (образец № 1.2 - супесь), оформить журнал 8 (таблица 5.2), построить график распада грунта по данным таблицы 5.2 и сделать выводы. Окончательный результат заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 5.2 - Журнал № 8. Определение скорости размокания глинистых пород

Лабораторный номер	Дата наблюдения	Время наблюдения, мин.	Скорость и характер размокания супеси				Примечание
			начальная числовая отметка на шкале прибора	числовая отметка в процессе размокания	разница отметок	процент распада грунта, %	
		t	Г	Р	Г-Р	П	
1.2	08.11.2008	0	22	22			
		2	22	20			
		5	22	17			
		10	22	13			
		15	22	10			
		25	22	6			
		40	22	3			
		60	22	0			

5.2 Величина и влажность набухания глинистых пород

Способность пород при увлажнении увеличивать свой объем называется **набуханием**. Согласно учебному пособию Ломтадзе В.Д. [1], набухание, свойственное главным образом глинистым породам, характеризует их водоустойчивость (ГОСТ 24143).

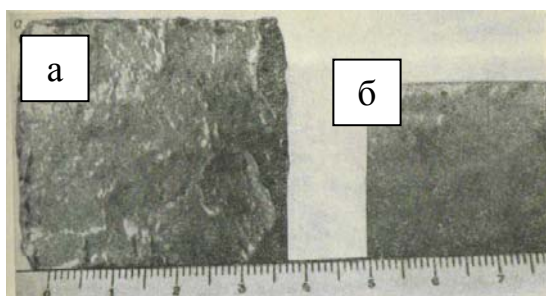
Показателями набухания являются:

- величина набухания, выражаемая обычно в процентах от первоначального объема породы;
- влажность набухания, т. е. влажность породы, соответствующая максимальной величине набухания;
- относительное набухание, показывающее развитие относительных деформаций породы при увлажнении;
- сила набухания, т. е. напряжение, развивающееся в породе в результате ее набухания при увлажнении, которую выражают в единицах килограмм-сила на квадратный сантиметр или паскаль ($1 \text{ кгс/см}^2 \approx 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па} \approx 0,1 \text{ МПа}$).

Методика определения первых трех показателей изложена в настоящей работе, а определение силы набухания будут определяться в механике грунта.

Набухание пород, т. е. увеличение объема, связано с их гидрофильностью, коллоидной активностью, со способностью активно сорбировать влагу. Замечено, что чем меньше в составе пород песчаных фракций и больше пылеватых, тем сильнее они набухают.

Некоторые разности глинистых пород при увлажнении сильно набухают, причем объем их увеличивается на 25—30 % (рисунок 5.5).



Условные обозначения: а — образец после набухания; б — то же, до набухания.

Рисунок 5.5 – Набухание бентонита

Набухание обычно происходит до определенного значения влажности, выше которого приращение объема породы прекращается. Как показывают наблюдения, влажность набухания, т.е. влажность, соответствующая моменту полной стабилизации процесса набухания породы, имеет определенную связь с влажностью, соответствующей пределу ее пластичности. Так как интенсивное набухание глинистых пород происходит только в начальный момент увлажнения, то по пределу пластичности (W_p) можно оценить склонность

пород к набуханию. Если естественная влажность породы ($W_{ест.}$) больше предела пластичности (влажности на границе раскатывания W_p), или влажности набухания (W_H), то нет основания ожидать значительного набухания.

Набухание выражают в долях единицы или в процентах от начального объема образца породы по приращению высоты образца в результате набухания:

$$\delta_n = \frac{h_K - h_H}{h_H}, \quad \text{или} \quad H_H = \left(\frac{h_K - h_H}{h_H} \right) \cdot 100 \%, \quad (5.3)$$

где h_K — высота образца глинистой породы в кольце прибора после набухания, мм;

h_H — высота образца породы в кольце прибора до увлажнения и набухания, мм;

δ_n — относительное набухание в долях единицы;

H_H — величина набухания в процентах от первоначальной высоты образца, %.

Развитие деформаций набухания во времени некоторых глинистых грунтов и кварцевого песка изображается в виде графика (рисунок 5.6).

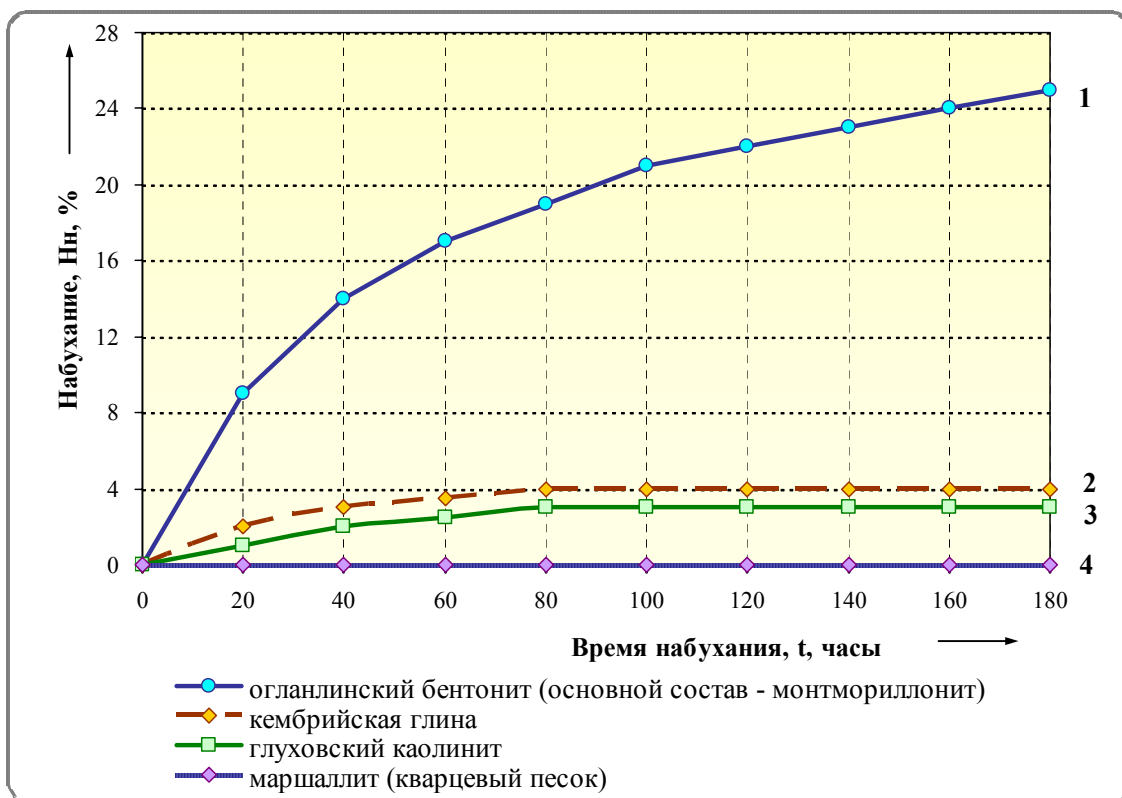


Рисунок 5.6 - Набухание некоторых глинистых грунтов и кварцевого песка (Ломтадзе В.Д. "Инженерная петрология", 1978г.)

В частности, на рисунке 5.6 показано несколько кривых, характеризующих набухание глинистых грунтов во времени, а именно: кривая

1 – набухание бентонита, кривая 2 – кембрийской глины, кривая 3 – каолинита.

По строительным нормам и правилам (СНиП II-15-74) к набухающим относятся глинистые породы с относительным набуханием $\delta \geq 0,4$.

Сила набухания глинистых пород при увлажнении – это давление набухания. Эта величина определяется напряжением, развивающимся в результате набухания породы при увлажнении. Например, при набухании некоторых глинистых пород объем увеличивается до 25-30 %, а нагрузка, сдерживающая набухание может достигнуть 0,1÷1,1 МПа.

Следовательно, величина набухания глинистых пород, влажность и сила набухания характеризуют их отношение к воде, т.е. водоустойчивости.

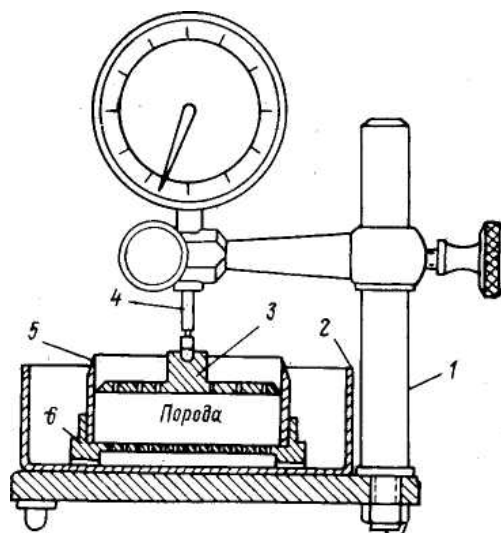
5.2.1 Лабораторная работа № 4.2

Определение величины и влажности набухания глинистых пород

Из всех известных методов определения величины и влажности набухания глинистых пород может быть рекомендован метод А. М. Васильева, который применим для испытания пород естественного и нарушенного сложения и влажности.

Для определения величины и влажности набухания необходимо иметь:

- 1) прибор А. М. Васильева (рисунок 5.7);
- 2) нож и фильтровальную бумагу;
- 3) журнал № 9.



Условные обозначения: 1 – штатив; 2 – ванночка; 3 – поршень, на который опирается ножка индикатора; 4 – индикатор для измерения деформаций пород при набухании; 5 – рабочее кольцо с одним режущим краем высотой 25 мм, внутренним диаметром 58 мм, толщиной стенок 1,5 мм; 6 – донце, которое плотно надевается на торцевую часть рабочего кольца и закрепляется винтами (донце имеет решетку для беспрепятственного увлажнения образца породы).

Рисунок 5.7 - Прибор А. М. Васильева для определения величины набухания глинистых пород

Последовательность определения

1. Из монолита породы вырезают образец режущим кольцом 5, масса которого m_1 известна. Избыток породы со стороны режущего края кольца обрезают ножом. Затем с этой стороны в кольцо вводят деревянный или металлический вкладыш, диаметр которого равен внутреннему диаметру кольца. Этим вкладышем вытесняют часть породы, которую срезают ножом вровень с торцевой частью кольца. В результате в кольце остается образец породы высотой 10—15 мм. Кольцо с породой взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г, получают массу m_2 .

2. На породу в торцевой части кольца кладут лист фильтровальной бумаги и надевают донце 6. Внутри кольца вкладывают поршень 3. В таком виде кольцо устанавливают на дно ванночки, которое предварительно покрывают пористой пластинкой или тонким слоем отсортированного песка. Ванночку устанавливают на штатив прибора. Индикатор 4 на штативе с помощью кронштейна укрепляют так, чтобы его ножка опустилась на поршень 3 прибора. Этим заканчиваются сборка прибора и подготовка породы к испытанию.

3. Записывают показания индикатора. В ванночку, где установлено кольцо с породой, наливают немного воды, так чтобы пористая пластинка или слой песка, на котором установлено кольцо, оказались затопленными. При данном положении уровень воды в ванночке будет капиллярно увлажнять образец породы, находящийся в кольце прибора. Необходимо поддерживать постоянный уровень воды в ванночке в течение всего опыта.

4. Отмечают время заливки воды в ванночку и следят за показаниями индикатора, записывая их через определенные интервалы времени (через 2, 5, 10, 20, 30 минут и далее через каждый час до конца рабочего дня, затем через сутки) до тех пор, пока набухание породы не прекратится. После этого кольцо извлекают из ванночки и насухо вытирают, предварительно сняв с кольца донце, фильтровальную бумагу и поршень. Кольцо с породой взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г (получают массу m_3) и помещают в термостат, где породу высушивают при температуре 105 °С до постоянной массы. Охладив кольцо с породой в эксикаторе, его взвешивают, получают массу m_4 и вычисляют начальную и конечную влажность по формуле:

$$W_{\text{нач.}} = \frac{m_2 - m_4}{m_4 - m_1} \cdot 100\%, \quad W_{\text{кон.}} = \frac{m_3 - m_4}{m_4 - m_1} \cdot 100\%, \quad (5.4)$$

где $W_{\text{нач.}}$ – начальная влажность, %;

$W_{\text{кон.}}$ – конечная влажность, %;

m_1 – масса кольца, г;

m_2 и m_3 – масса кольца с породой до и после набухания, г;

m_4 – масса кольца с породой, высушенной после испытания до постоянной массы, г.

Конечная влажность породы и будет влажностью набухания - $W_{наб}$.

5. Величину набухания выражают обычно в долях единицы или в процентах от начального объема образца породы по приращению высоты образца в результате набухания и определяют по формуле 5.3.

6. Развитие деформаций набухания во времени изображают в виде графика изменения величины набухания во времени (см. рисунок 5.6 - пример) или развития деформаций набухания породы под различными нагрузками.

7. Для набухающих глинистых пород **по специальному заданию** исследуют изменение их прочности испытанием на сдвиг и определяют деформируемость испытанием на компрессию в результате увлажнения — набухания (см. далее лабораторные работы № 5 и № 6).

8. При необходимости определения величины и влажности набухания пород нарушенного сложения приготавливают образцы заданной влажности — плотности и подвергают их испытаниям на набухание так же, как и образцы естественного сложения и влажности.

Задание для студентов:

9. Для пробы горной породы (образец № 1.1 - глина) следует провести два параллельных определения влажности породы (начальной и конечной) с выводом их средних значений и величины набухания. Сделать выводы.

Все данные, полученные в процессе опытов, студенты записывают в журнал № 9 (таблица 5.3), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 5.3 - Журнал № 9. Определение величины и влажности набухания глинистых пород

Начальная высота кольца, мм						h_n	25		
Приращенная высота кольца, мм						h_k	31		
Лабораторный номер	Дата	Масса кольца, г				Влажность пробы, %		Величина набухания, %	Заключение
		Пустого (m_1)	С породой (m_2)	С набухшей породой (m_3)	С высушенной породой (m_4)	начальная, $((m_2 - m_1) - (m_4 - m_1)) / (m_4 - m_1)$	набухания, $((m_3 - m_1) - (m_4 - m_1)) / (m_4 - m_1)$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.1	08.11	50,05	149,67	157,55	128,1	27,64	37,73		глины - сильная набухаемость
«»	«»	50,05	149,79	157,68	128,17				
Средние величины									

5.3 Величина и влажность усадки глинистых пород

Изменение свойств глинистых пород происходит не только при увлажнении. Высыхание влажных глинистых пород иногда сопровождается их растрескиванием, изменением монолитности, шелушением и, следовательно, изменением прочности, деформируемости, устойчивости и водопроницаемости. В результате этих явлений в основании крутых склонов, сложенных глинистыми породами, образуются осыпи и конусы осыпей. В подземных выработках и котлованах такие изменения свойств глинистых пород происходят в связи с уменьшением их объема при высыхании (усадка) и возникновением вследствие этого внутренних напряжений.

Наибольшей усадкой обладают породы гидрофильные, активные в физико-химическом отношении. Изменение объема пород при усадке происходит до определенного предела влажности, ниже которого объем пород не изменяется. Чем ниже влажность при пределе усадки, тем больше изменяется объем породы, т. е. тем больше усадка. Согласно учебным пособиям [1, 2], все это характеризует изменение состояния и свойств глинистых пород при изменении их влажностного режима, т. е. водостойчивость (ГОСТ 24143).

Усадкой глинистых пород называется уменьшение их объема при высыхании. Свойством усадки обладают главным образом глинистые породы, так как они особенно чувствительны к изменениям влажностного режима. *Показателями, характеризующими усадку, являются величина и предел усадки.* Под *пределом усадки* обычно понимают влажность породы, при уменьшении которой дальнейшего изменения объема породы не происходит.

5.3.1 Лабораторная работа № 4.3

Определение величины и предела усадки глинистых пород

Предел усадки определяется для связных грунтов, как на образцах ненарушенного сложения, так и на образцах нарушенного сложения. В последнем случае определение производят на части пробы грунта, прошедшей через сито с ячейками 1 мм. Высушивание грунта перед испытанием не допускается.

Для определения величины и предела усадки необходимы:

- 1) режущие цилиндры;
- 2) оборудование для определения влажности породы;
- 3) журнал № 10.

Последовательность определения

1. Из монолита естественного сложения и влажности вырезают образец с помощью режущего цилиндра. Внутреннюю часть цилиндра предварительно следует смазать вазелином. Одновременно с вырезыванием образца породы отбирают пробу для определения ее начальной влажности.

2. Вырезанный образец породы, не вынимая из цилиндра, высушивают на воздухе в течение 1—2 сут. По мере подсыпания образец дает усадку и

отходит от стенок. При достижении этой стадии усадки образец породы вынимают из цилиндра и продолжают сушить на воздухе 1—2 сут. Подсохший образец сушат в термостате при температуре 105 °С до постоянной массы.

Обработка результатов

1. Для каждой стадии высушивания вычисляют объем грунта, пересчитанный по массе сухого образца грунта на 100 г сухого грунта $V_{100,n}$:

$$V_{100,n} = \frac{100 * V_n}{g} \cdot 100\%, \quad (5.5)$$

где V_n — объем образца при соответствующей стадии высушивания (влажности), см^3 ;

g — масса сухого грунта, г.

2. По вычисленным данным (объем на 100 г сухого грунта) для каждой стадии высушивания строят в линейном масштабе график зависимости объема грунта от влажности: по оси абсцисс откладывают влажность, а по оси ординат - соответствующий влажности вычисленный объем на 100 г сухого грунта (рисунок 5.8).

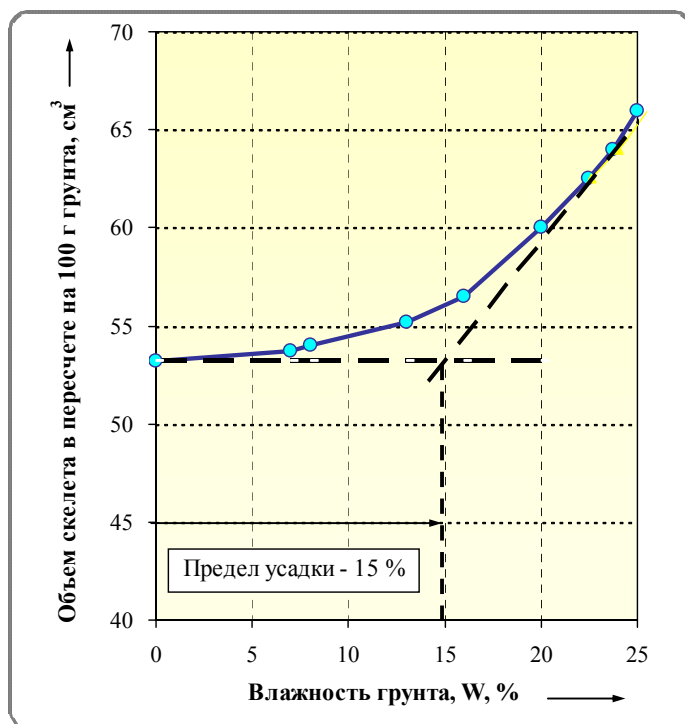


Рисунок 5.8 – Зависимость объема образца грунта от его влажности при высушивании

По такому графику определяют предел усадки и величину влажности, с уменьшением которой прекращается уменьшение объема грунта. Для этого из

точки пересечения кривой с осью ординат проводят прямую линию параллельно оси абсцисс. Продолжив прямолинейный участок кривой (первого периода уменьшения объема с изменением влажности) до пересечения с первой прямой, получают точку, абсцисса которой будет соответствовать влажности предела усадки.

3. Определяют объем высушенного образца методом непосредственных измерений или методом парафинирования. Затем вычисляют величину усадки:

$$V_y = \frac{V - V_0}{V} \cdot 100\%, \quad (5.6)$$

где V_y — объемная усадка, %;

V — объем режущего цилиндра, см³;

V_0 — объем высушенного образца, см³.

4. Влажность (предел) усадки вычисляется и расчетным методом:

$$W_y = W_H - \frac{V - V_0}{g} \cdot 100\%, \quad (5.7)$$

где W_y — предел усадки, %;

W_H — начальная влажность породы, %;

g — масса сухого образца породы после усадки, г.

5. При определении величины и влажности усадки пород нарушенного сложения готовят образцы заданной влажности — плотности и подвергают их испытаниям на усадку, как и образцы естественного сложения и влажности.

Задание для студентов:

6. Для пробы горной породы (образец глины № 1.1) следует провести два параллельных определения начальной влажности породы (W_H) и объема высушенной породы (таблица 5.4).

7. Определить значения величины усадки методом непосредственных измерений, рассчитать значения предела усадки. Затем определить среднее значение массы сухого образца после усадки с точностью до 0,01 и средние значения величины усадки и предела усадки с точностью до 0,1.

8. Сравнить значение влажности на границе пластичности (раскатывания - W_p), полученное в лабораторной работе № 3 для образца глины № 1.1 и значение влажности (предела) усадки (W_y), полученное в данной лабораторной работе № 4.3 для того же образца породы – № 1.1.

9. Сделать выводы.

Данные испытаний студенты записывают в журнал № 10 (таблица 5.5), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 5.4 – Данные для определения средних значений величины усадки и предела усадки методом непосредственных измерений

Характеристики	Обозначения	Данные
Влажность пробы, начальная, (два определения)	$W_{н1}, \%$	27,64
	$W_{н2}, \%$	27,68
Диаметр высушенной породы, (два определения)	$\hat{O}_1, \text{см}^2$	4,652
	$\hat{O}_2, \text{см}^2$	4,655
Высота высушенной породы, (два определения)	$h_1, \text{см}$	2,35
	$h_2, \text{см}$	2,36
Объем высушенной породы, (два определения)	$V_{o1}, \text{см}^3$	39,92
	$V_{o2}, \text{см}^3$	40,14

Таблица 5.5 – Журнал № 10. Определение величины и влажности усадки глинистых грунтов методом непосредственных измерений

Лабораторный номер	Дата	Объем режущего кольца, см^3		Масса сухого образца после усадки г, г	Величина усадки (формула 5.6) $V_y, \%$	Предел усадки (формула 5.7) $W_y, \%$	Заключение
		Пустого (V)	С высушенной породой (V_0)				
1	2	3	4	5	6	7	9
1.1	22.11	50	39,92	78,05	20,2	14,7	глины - сильная набухаемость
«»	«»	50	40,14	78,12			
Средние величины							

5.4 Заключение к лабораторной работе № 4

Определение водоустойчивости наиболее важно при оценке глинистых пород, которые под воздействием воды теряют связность и изменяют консистенцию или размокают и распадаются на отдельные куски, обломки или бесформенную песчано-глинистую массу, – отмечает Ломтадзе В.Д. [4]. Скорость и характер размокания характеризуют их водоустойчивость. Породы

водонеустойчивые размокают быстро, в течение минут или десятков минут, и превращаются в песчано-глинистую массу. Типичным примером таких пород являются лёссовые, которые легко и быстро размокают, размываются, часто катастрофически быстро и сильно уплотняются и деформируются при увлажнении без увеличения внешних усилий. Породы мало- или средне-водоустойчивые разрушаются в воде в течение нескольких часов или первых суток. Породы водоустойчивые сохраняются в воде десятки суток и даже месяцы, не обнаруживая значительных разрушений.

Интересным характером значительной водоустойчивости глинистых пород, – описанным Ломтадзе В.Д. в своей работе [4], – является следующий пример. В начале Великой Отечественной войны на одном из строительных объектов работы были прекращены, а подземные выработки затоплены. После войны, когда снова были начаты строительные работы, оказалось, что глины в открытых забоях подверглись размоканию на глубину лишь 3—6 мм. Более значительное проникновение влаги в толщу глин наблюдалось лишь по трещинам, которые оказались заполненными разбухшей глиной. Многочисленные наблюдения показывают, что если глины были подсушены на воздухе, они быстро и значительно разрушаются в воде, тогда как эти же глины естественного сложения и влажности довольно водоустойчивы. Особенно понижается водоустойчивость глинистых пород при многократном подсушивании и увлажнении (влага проникает в толщу глин по трещинам, которые заполняются разбухшей глиной, когда та подвергается размоканию), что связано с необратимым нарушением в них структурных связей и, соответственно, с изменением их монолитности. На водонеустойчивых породах на склонах и откосах обычно образуется мощная элювиально-делювиальная зона, которая способствует развитию оползневых явлений.

Вода, воздействуя на породы, может также растворять, выщелачивать водорастворимые части и тем самым изменять их свойства. Так как легкорастворимые соли в глинистых породах встречаются чаще, чем во многих других осадочных породах, то и в этом отношении изучение и оценка их водоустойчивости имеют большое значение.

Из выше изложенного следует, что при изучении и оценке свойств глинистых пород необходимо учитывать данные об их водоустойчивости. Это особенно важно при определении их несущих способностей, устойчивости в подземных выработках, на склонах и откосах, при развитии явлений пучения, оценке проходимости местности, а также при организации производства строительных работ. Например, строительные котлованы в водонеустойчивых породах надо доводить до проектных отметок только непосредственно перед укладкой бетона, не допуская при этом изменения влажностного режима пород.

Итак: водоустойчивость глинистых пород может быть охарактеризована скоростью и характером размокания в воде, процентным содержанием легкорастворимых соединений и их составом, значением, силой и влажностью набухания, влажностью усадки.

6 Механические свойства горных пород

6.1 Общие положения

Механические свойства горных пород всецело обуславливаются всей совокупностью их физических свойств и должны изучаться и оцениваться в комплексе с их физическими свойствами и с учетом требований, предъявляемым к грунтам при проектировании и строительстве конкретного объекта.

Механические свойства горных пород определяют их поведение под воздействием внешних усилий – нагрузки и проявляются в сопротивлении разрушению и деформации, ГОСТ 12248.

Если при действии внешних нагрузок структурные сцепления между минеральными частицами не будут разрушены, то грунты будут деформироваться как сплошные тела, минеральные частицы будут только сближаться, уплотняться без взаимного перемещения, что обусловит изменение объема грунта, поэтому эти деформации называются объемными. Если же структурное сцепление будет разрушено, то деформации в грунтах будут определяться перемещением отдельных минеральных частиц или их агрегатов. Такие деформации называются сдвигом.

Свойство горных пород сопротивляться разрушению и образованию больших остаточных деформаций под действием нагрузки, или точнее, воспринимать, не разрушаясь в определенных пределах и условиях те или иные нагрузки называется прочностью, а свойство их изменять под нагрузкой форму сложения и объем – деформацией.

Когда под влиянием внешних усилий в породах возникают касательные силы, превышающие силы сопротивления сдвигу, породы начинают разрушаться, наступает потеря прочности.

Следовательно, механические свойства горных пород – это **деформируемость и прочность**.

Их выражают и оценивают деформационными (сжимаемости) и прочностными (сопротивлением сдвигу) показателями. Они позволяют прогнозировать осадки сооружений, определять устойчивость пород в их основании, а при конструировании фундаментов предельно использовать несущие способности пород и т.д.

Показатели, выражающие сопротивление сдвигу, дают возможность проектировать заложение откосов плотин, насыпей, дамб, выемок, бортов карьеров с минимальными земляными работами, определять устойчивость склонов и оползней, давление на ограждения и крепи подземных выработок, определять рациональное сечение и устойчивость подпорных стенок, бетонных плотин, подземных и многих других сооружений. Поэтому при проектировании сооружений изучению деформационных и прочностных свойств песчаных и глинистых пород необходимо уделять особенно большое влияние.

7 Деформационные свойства тонкодисперсных связных грунтов

В песчаных и других обломочных грунтах, а также глинистых породах при нагрузке на них происходит изменение внутреннего сложения и объема (уплотнения), т.е. уменьшение пористости и увеличение концентрации минеральных частиц в единице объема. Чем значительнее эти изменения пород под воздействием определенной нагрузки, тем большей деформируемостью они обладают.

7.1 Показатели деформационных свойств пылеватых и глинистых грунтов

Для оценки сжимаемости (деформируемости) песчаных и глинистых пород принято исследовать влияние внешнего давления на изменение их пористости или коэффициента пористости.

Глинистые и пылеватые грунты обладают значительной сжимаемостью, т.е. способностью уменьшать свой объем под влиянием нагрузки, ГОСТ 12248.

Сжимаемость грунтов зависит от двух факторов: способности к упругой сжимаемости кристаллической решетки минеральной составляющей грунта и способности частиц грунта к уплотнению за счет сокращения размеров и количества пор и отжатия из них воды и воздуха.

При работе грунта, т.е. при передаче на поверхность массива грунта внешней нагрузки, происходит смещение частиц грунта, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Различают при этом общее уплотнение грунта при длительном воздействии нагрузок (как статических, так и динамических) и частичное уплотнение при кратковременных динамических нагрузках.

При длительном уплотнении пылеватые и глинистые грунты сильно сжимаются, однако процесс этот протекает медленно, так как вода в порах грунта медленно отжимается и медленно перемещается вследствие незначительных размеров пор. Сжимаемость грунта при длительном уплотнении происходит и за счет ломки слабых структурных связей. При кратковременных нагрузках глинистые грунты сжимаются незначительно.

Сжимаемость тонкодисперсных связных грунтов изучается на образцах ненарушенной структуры и природной влажности. Испытания на сжимаемость проводятся как в полевых условиях с помощью специальных штампов, так и в лаборатории на приборах различных конструкций.

При специальных заданиях на сжимаемость испытывают грунты нарушенной структуры под водой.

Испытание грунтов на сжатие без возможности бокового расширения (в жестких обоймах-одометрах) называют компрессионным испытанием. В процессе испытания устанавливают зависимость между изменением внешней нагрузки и изменением коэффициента пористости – ε .

Конечным результатом компрессионного испытания грунта в одометре является получение показателей деформационных свойств грунта: *коэффициента сжимаемости (или коэффициента уплотнения – a); модуля общей деформации – E_0 ; модуля осадки – I_p ; степени консолидации.*

Эти и другие параметры, такие как: E_v – модуль упругости (модуль Юнга); μ – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона); ξ – коэффициент бокового давления, используются в расчетах прочности и устойчивости оснований зданий и сооружений.

7.2 Лабораторная работа № 5

Компрессионные испытания глинистых грунтов

Предметом данной лабораторной работы является определение деформационных свойств связных грунтов с помощью компрессионного прибора, описанного в работе Г.С. Малкиной [3].

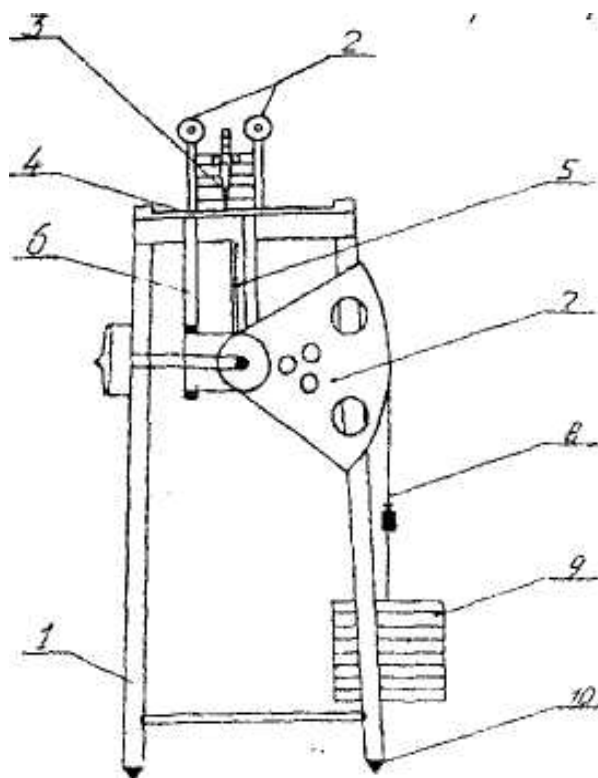
Для этих исследований необходимо иметь:

- 1) компрессионный прибор КПр-1;
- 2) индикаторы часового типа;
- 3) стекла;
- 4) нож;
- 5) колбы с водой;
- 6) секундомер;
- 7) журналы 11 и 12.

Описание прибора

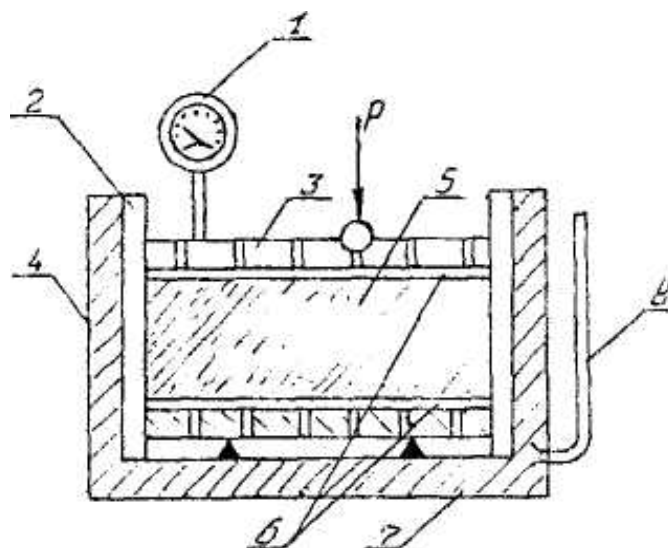
В лабораторных условиях для проведения компрессионных испытаний долгие годы используется прибор КПр-1, где нагрузка прикладывается постепенно, ступенями. Прибор состоит из металлической плиты, жестко закрепленной на металлическом каркасе. Под плитой находятся штамп и рычажная система с подвеской для груза. Металлический каркас устанавливается на бетонном основании, горизонтальность прибора регулируется специальными винтами (рисунок 7.1). На металлической плите закреплена подвижная рама для закрепления одометра (рисунок 7.2). Одометр – металлическая гильза с жесткими, толстыми стенками и днищем. Жесткие стенки одометра предотвращают боковое расширение грунта при приложении вертикальной нагрузки. В одометр помещается стальное кольцо с грунтом. Над кольцом находится поршень, через который передается нагрузка. В нижней части одометра расположена перфорированная металлическая пластинка и два отверстия (для оттока воды при замачивании образца). В верхней части одометра с помощью специальных закрепительных устройств устанавливают два индикатора часового типа.

До начала компрессионных испытаний прибор тарируют, используя специальную тарировочную шайбу (она имеется в комплекте прибора). После тарировки проводят исследование грунта.



Условные обозначения: 1 – каркас; 2 – индикаторы; 3 – подвижная рама; 4 – металлическая плита; 5 – нижнее коромысло; 6 – штаны; 7 – рычажная система; 8 – подвеска; 9 – груз; 10 – регулировочные винты.

Рисунок 7.1 – Прибор КПр-1



Условные обозначения: 1 – индикатор; 2 – стальное кольцо; 3 – поршень; 4 – гильза одометра; 5 – образец грунта; 6 – бумажные фильтры; 7 – поддон; 8 – трубка для отвода воды.

Рисунок 7.2 – Одометр (схема)

Подготовка пробы

Для грунтов ненарушенной структуры (*глинистый грунт – № 1.1*). Образец вырезается стальным кольцом одометра из монолита, обе поверхности зачищают ножом вровень с краями кольца и покрывают увлажненными бумажными фильтрами. Подготовленный образец помещается в одометр.

Примечание: Компрессионные испытания грунтов по возможности следует определять только по образцам естественной влажности.

До проведения компрессионных испытаний грунтов в лаборатории выполняют определения показателей физических свойств и состояния грунта, т.е. определяют его гранулометрический состав, плотность грунта природной влажности, плотность частиц грунта, плотность сухого грунта (плотность скелета), влажность естественную (природную), пористость и коэффициент пористости.

Последовательность определения

1. Одометр с помещенным в него кольцом с грунтом устанавливают на металлическую плиту, отпускают стопорные гайки подвижной рамы и рычажной системы; проверяют правильность сборки прибора и закрепляют жестко одометр. Устанавливают на одометре индикаторы (с нулевым отсчетом). Прикладывают первую ступень нагрузки (гиря в 3 кг.) и опускают секундомер. Берут последовательно отсчеты по двум индикаторам через 0,5 минуты, затем через 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 минут.

2. Отсчеты через 8 минут заносят в журнал наблюдений. Период наблюдений (8 минут) условно принимают за время стабилизации деформации. Визуально момент стабилизации фиксируется замедленным движением стрелки индикатора, одно деление (0,01 мм) она проходит дольше 1 минуты.

3. Причем, при компрессионных испытаниях грунтов в производственных и научно-исследовательских лабораториях за стабилизацию деформации принимают величину сжатия (линейной деформации) образца, не превышающую 0,01 мм. за время: 30 минут для песчаных грунтов, 3 часа для супесей, 12 часов для суглинков и глин.

4. После достижения стабилизации деформации прикладывают следующую ступень нагрузки 6 кг, для чего на подвеску рычага кладут еще одну гирию весом 3 кг. Вновь ведут наблюдения до наступления момента условной стабилизации (через 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 минут).

5. Затем прикладывают новую ступень нагрузки 12 кг (на подвеску рычага кладут гири весом 6 кг). После условной стабилизации увеличивают нагрузку до 18 кг (на подвеску рычага кладут гири весом 6 кг) и опять ведут наблюдения до условной стабилизации.

6. После достижения стабилизации деформации при нагрузке 18 кг начинают ступенями уменьшать нагрузку, последовательно снимая 6 кг, 6 кг, 3 кг и 3 кг. Наблюдения за показаниями индикатора для каждой ступени уменьшения нагрузки ведут 2-3 минуты.

7. Результаты наблюдений заносят в журнал 11а, где приведены данные линейной деформации и коэффициента пористости, определенные на

глинистом образце грунта (№ 1.1) при одном испытании.

8. По результатам компрессионных испытаний грунта строится график зависимости коэффициента пористости от нормальной нагрузки.

9. Проводят расчет показателей относительной деформации, коэффициента сжимаемости, модуля общей деформации и модуля осадки по результатам компрессионных испытаний – данные заносят в журнале 12а.

Задание для студентов:

10. Студентам следует самостоятельно провести второе компрессионное испытание грунта (образец № 1.1).

11. Данные, полученные в процессе испытания и их обработки, записать в журналы 11 и 12. Построить компрессионные кривые. Сделать выводы.

Ниже приводится пример расчета параметров сжимаемости.

7.3 Пример расчета количественных характеристик механических свойств глинистых грунтов по данным компрессионных испытаний

Дано:

Высота образца (h) грунта № 1.1 – 25 мм;

площадь поперечного сечения образца (F), (60 см²);

начальный коэффициент пористости (ε) № 1.1 – 0,767 доли единиц;

время наблюдения, t, мин;

отсчеты по индикатору, i_{ср.}, мм;

поправка к отсчету по индикатору, Δi_{ср.}, мм.

Примечание: Предварительные результаты компрессионных испытаний (отсчеты по индикаторам на каждой ступени нагрузки через 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 минут) записывают в черновике, а в таблицу помещают только отсчеты на момент условной стабилизации деформации.

Определить:

Удельную нагрузку на образцах, кгс/см²;

линейную деформацию образца, мм;

изменение коэффициента пористости в динамике, Δε_i, доли единиц;

изменение коэффициента пористости по ступеням Δε_{n-i}, доли единиц;

коэффициент пористости, доли единиц.

Порядок расчета:

Удельная нагрузка рассчитывается на каждой ступени по формуле (7.1):

$$\delta_{y\partial} = \frac{P}{F \cdot N}, \quad (7.1)$$

где $\delta_{y\partial}$ – удельная нагрузка, кгс/см²; МПа;

P – вес гири на подвеске рычага, кг;

F – площадь поперечного сечения образца, (60 см²);

N – соотношение плеч рычажной системы ($N= 1 : 10$).

Удельная нагрузка на образец в первый момент составляет $0,5 \text{ кгс/см}^2$, что соответствует весу гири в 3 кг; во второй момент – 1 кгс/см^2 ; в третий момент – 2 кгс/см^2 ; и т.д.

Линейная деформация образца (Δh) равна разности между показаниями индикатора и его поправкой на каждой ступени нагрузки:

$$\Delta h = i_{cp} - \Delta i_{cp}, \quad (7.2)$$

где Δh – линейная деформация образца породы, мм;

i_{cp} – отсчет по индикатору, мм;

Δi_{cp} – поправка к индикатору, мм.

Изменение коэффициента пористости в динамике рассчитывается по формуле 7.3:

$$\Delta \varepsilon_i = \frac{1 + \varepsilon_n}{\frac{\Delta h}{h}}, \quad (7.3)$$

где $\Delta \varepsilon_i$ – коэффициент пористости в динамике, доли единиц;

ε_n – начальный коэффициент пористости, доли единиц;

Δh – линейная деформация образца породы, мм;

h – начальная высота образца породы, мм.

Изменение коэффициента пористости по ступеням, $\Delta \varepsilon_{n-i}$ равно:

$$\Delta \varepsilon_{n-i} = (\Delta \varepsilon_{i+1} - \Delta \varepsilon_i), \quad (7.4)$$

где $\Delta \varepsilon_{n-i}$ – коэффициент пористости по ступеням, доли единиц;

$\Delta \varepsilon_{i+1}$ – коэффициент пористости (i+1) - ступени, доли единиц;

$\Delta \varepsilon_i$ – коэффициент пористости (i) - ступени, доли единиц.

Коэффициент пористости в динамике рассчитывается по формуле 7.5:

$$\varepsilon = \varepsilon_{нач} - \Delta \varepsilon_i, \quad (7.5)$$

где ε – коэффициент пористости в динамике, доли единиц;

ε_n – начальный коэффициент пористости, доли единиц;

$\Delta \varepsilon_i$ – коэффициент пористости в динамике, доли единиц.

Результаты наблюдений и расчет параметров записывают в таблицу 7.1 – определение линейной деформации и коэффициента пористости (журнал 11а).

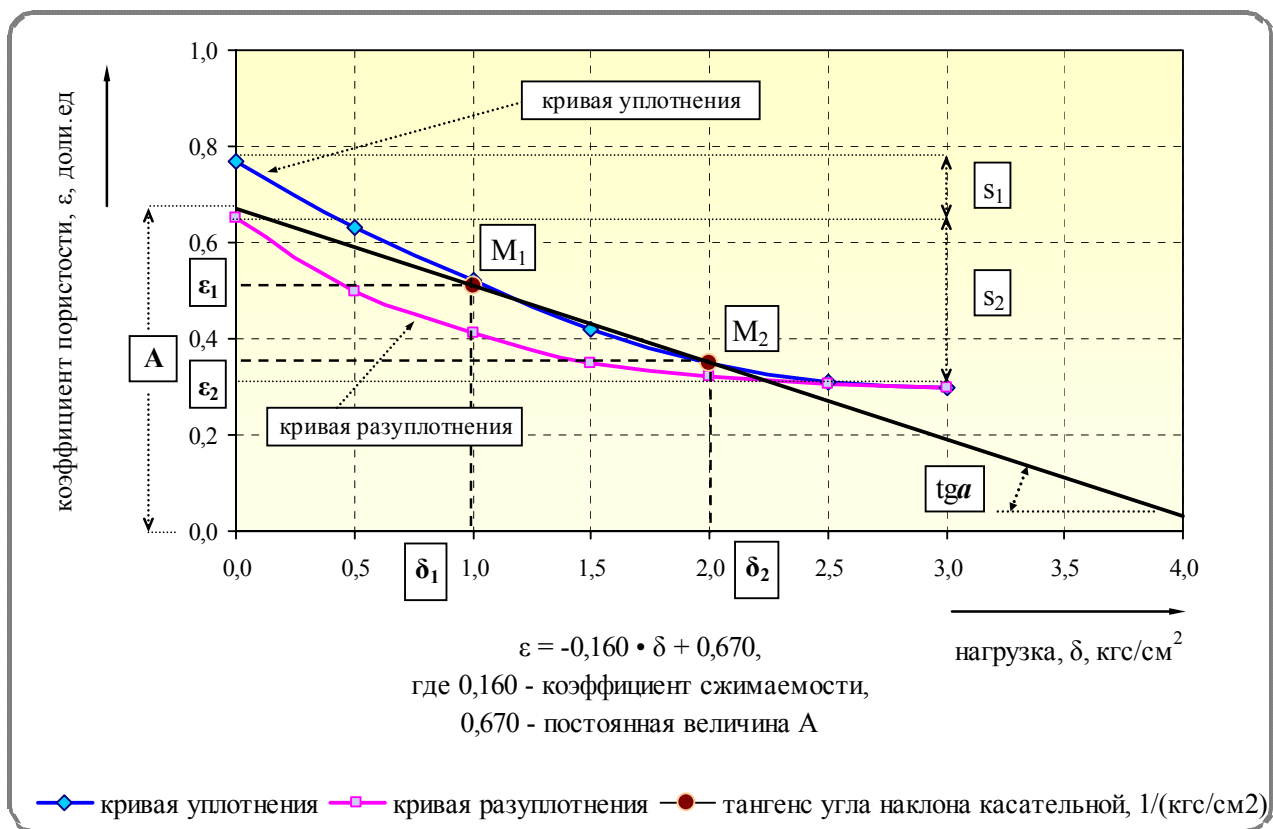
Таблица 7.1 – Журнал № 11а. Пример определения линейной деформации и коэффициента пористости

1	2	Удельная нагрузка на образцах, $\delta=P/(F \cdot N)$, кгс/см ²		5	6	7	8	9	10	11
		3	4							
Ступени	Нагрузка на подвеске рычага, Р, кг	в динамике, $\delta=\Delta\delta_i$	ступенями $\delta_{n-i}=\Delta\delta_{n-1}$	Время наблюдения, t, мин	Отсчеты по индикатору, $i_{cp.}$, мм	Поправка к отсчету по индикатору, $\Delta i_{cp.}$, мм	Линейная деформация образца, $\Delta h = i_{cp.} - \Delta i_{cp.}$, мм	Изменение коэффициента пористости в динамике, $\Delta \varepsilon_i$, доли единиц	Изменение коэффициента пористости по ступеням, $\Delta \varepsilon_{n-i}$, доли единиц	Коэффициент пористости, $\varepsilon = \varepsilon_{нач.} - \Delta \varepsilon_i$, доли единиц
Увеличение нагрузки										
1	0	0						0,000		0,767
2	3	0,5	0,5	8	1,968	0,030	1,938	0,137	0,137	0,630
3	6	1	0,5	8	3,545	0,050	3,495	0,247	0,110	0,520
4	12	2	1	8	5,970	0,070	5,900	0,417	0,170	0,350
5	18	3	1	7	6,697	0,090	6,607	0,467	0,050	0,300
Снятие нагрузки										
5	18	3	1	1	6,697	0,090	6,607	0,467	0,020	0,300
4	12	2	1	2	6,394	0,070	6,324	0,447	0,090	0,320
3	6	1	0,5	2	5,101	0,050	5,051	0,357	0,090	0,410
3	3	0,5	0,5	2	3,808	0,030	3,778	0,267	0,150	0,500
1	0	0	0	2	1,665	0,010	1,655	0,117	0,117	0,650

По результатам компрессионных испытаний грунта строится график зависимости $\varepsilon = f(\delta_n)$, (рисунок 7.3), где ε , и δ_n , – значения коэффициента пористости и нагрузки, соответственно (используется программа «Microsoft Office Excel», команда – мастер диаграмм).

Эта зависимость весьма характерна и выражается обычно в виде логарифмической кривой, **которая называется компрессионной кривой**. Она изображается в прямоугольных координатах.

Параметры компрессионной кривой определяются аналитически, для чего необходимо экспериментально определить три-четыре значения коэффициента пористости при трех-четырех значениях вертикального давления и решить систему трех уравнений.



Условные обозначения: $tg\alpha$ — коэффициент сжимаемости и угловой коэффициент, 1/(кгс/см²); S_1 — необратимая деформация; S_2 — обратимая деформация; Точка M_1 — соответствует естественному природному давлению δ_1 ; Точка M_2 — соответствует конечному давлению δ_2 ; A — начальный параметр компрессионной кривой, ее максимальное значение — это результат продолжения прямой M_1M_2 до пересечения с осью ординат.

Рисунок 7.3 – График компрессионных испытаний грунтов

7.4 Пример определения основных характеристик по данным компрессионных испытаний

На рисунке 7.3 изображены кривые зависимости коэффициента пористости от давления, построенные по данным испытания глинистых грунтов (образец 1.1). По данным испытания рассчитывают параметры коэффициента сжимаемости ($tg\alpha$ или a), коэффициента относительной сжимаемости (деформации, e_0) и модуля общей деформации (E_0).

Компрессионная кривая имеет две ветви: кривая уплотнения и кривая разуплотнения (набухания). Нагрузке отвечает ветвь уплотнения. После снятия давления грунт разбухает – ветвь разуплотнения, т.е. после снятия давления вода может быть снова всосана грунтом, заземленный воздух вновь займет прежний объем, а минеральные частицы – прежнее положение. Кривая уплотнения показывает уменьшение пористости с увеличением давления, а кривая набухания – его увеличение после уменьшения давления.

Коэффициент пористости породы после снятия нагрузки обычно не достигает своего первоначально значения. Это объясняется образованием остаточных деформаций, которые проявляются в породах. Полная деформация породы под нагрузкой – S , она складывается из необратимой деформации – S_1 и обратимой – S_2 .

Но некоторые грунты, например переуплотненные глины, которые ранее были обжаты сильным давлением (ледником или перекрывающими породами), при снятии давления проявляют склонность к сильному набуханию. В этом случае коэффициент пористости по ветви разгрузки оказывается более высоким, чем первоначальный.

Определить коэффициент уплотнения по логарифмической кривой сложно. Поэтому компрессионная кривая может быть разбита на небольшие участки, которые приближенно можно считать отрезками прямых линий.

Вначале они наклонены к оси давлений более круто, затем по мере увеличения давления и уплотнения грунта наклон уменьшается.

Из приложенного рисунка 7.3 видно, что определенному давлению δ_1 соответствует коэффициент пористости ε_1 . При увеличении давления до δ_2 соответственно уменьшается коэффициент пористости ε_2 . Если изменение давления будет мало, то и коэффициент пористости изменится мало.

На малом участке компрессионной кривой от точки M_1 до точки M_2 ее можно считать прямой. Тангенс угла наклона этого участка кривой характеризует сжимаемость породы на данном интервале давления, описывается следующим уравнением:

$$tga = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{(\delta_2 - \delta_1)} = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta\delta}, \quad (7.6)$$

где $tga = a$ – коэффициент уплотнения, имеющий размерность $\text{см}^2/\text{кг}$ или МПа^{-1} (это также коэффициент сжимаемости и угловой коэффициент);

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \delta_1, \delta_2$ – переменные значения коэффициента пористости и нагрузки, доли единиц и $\text{кгс}/\text{см}^2$, соответственно.

Чем больше коэффициент сжимаемости (tga), тем слабее порода, т.к. она более податлива, сильнее уплотняется в пределах заданного интервала давлений. Тангенс угла наклона компрессионной кривой (tga), принято обозначать через показатель « a » и называть коэффициентом сжимаемости.

Следовательно, это угловой коэффициент, выражающий зависимость пористости от давления. Так как коэффициент пористости (ε) – есть отвлеченное число, а нагрузка (δ) изменяется в паскалях или мегапаскалях, то, коэффициенту сжимаемости (a) соответствует единица измерения – $1/(10^5 \text{ Па})$, или $1/(0,1 \text{ МПа})$.

Из вышеприведенного равенства (7.6) следует:

$$\Delta\varepsilon = a \cdot \Delta\delta. \quad (7.7)$$

Уравнение 7.7, связывающее пористость породы с давлением через постоянную величину «А», описывается следующей зависимостью:

$$\varepsilon = A - a \cdot \delta, \quad (7.8)$$

где А – постоянная величина, представлена как начальный параметр компрессионной кривой, и является результатом продолжения прямой M_1M_2 до пересечения с осью ординат (свободный элемент в уравнении рисунка 7.3).

Если в этом выражении « $\delta = 0$ », то постоянная величина «А» будет равна коэффициенту пористости породы при давлении, равном нулю, то есть:

$$\varepsilon_0 = A. \quad (7.9)$$

Мерой компрессионной способности породы может быть **коэффициент относительной сжимаемости** (деформации – a_0), выражающий относительную деформацию породы, т.е. представляющий сжатие слоя породы от давления (δ , кгс/см² или МПа), отнесенное к первоначальной мощности слоя.

Коэффициент относительной сжимаемости (e_0 – деформации) вычисляют по данным компрессионных испытаний по формуле 7.10:

$$e_{02} = \frac{a \cdot \delta_2}{(1 + \varepsilon_2)}, \quad (7.10)$$

где e_{02} – коэффициент относительной сжимаемости, соответствующий по компрессионной кривой нагрузке δ_2 и коэффициенту пористости ε_2 , доли единиц.

Модуль общей деформации вычисляют по данным компрессионных испытаний по формуле 7.11:

$$E_0 = \frac{\beta \cdot (1 + \varepsilon_1)}{\alpha}, \quad (7.11)$$

где E_0 – модуль общей деформации, МПа;

ε_1 – коэффициент пористости, соответствующий по компрессионной кривой нагрузке δ_1 , доли единиц;

a – коэффициент сжимаемости МПа⁻¹, определяемый по компрессионной кривой для интервала нагрузок от δ_1 до δ_2 ;

β – множитель для перехода от сжатия без возможного бокового расширения при компрессионных испытаниях к сжатию, имеющему место в природе.

Ниже в таблице 7.2 приведен расчет количественных характеристик

механических свойств глинистых грунтов по данным компрессионных испытаний в условиях одноосного сжатия с помощью одометра, который отражен на рисунке 7.3:

Таблица 7.2 – Пример расчета количественных характеристик механических свойств горных пород по данным компрессионных испытаний (в условиях одноосного сжатия с помощью одометра)

Точки соприкосновения	Расчет тангенса угла наклона		Постоянная величина	Коэффициент относительной сжимаемости	Множитель (принят для глин)	Модуль общей деформации, МПа	
	участок компрессионной кривой	тангенс угла наклона касательной, 1/МПа					
	δ , МПа	ε , д.ед.					
	0	0,767	0,160	0,670	0,237	0,420	3,964
M ₁	1	0,510					
M ₂	2	0,350					
разность значений	1	0,160	формула 7.6	формула 7.9	формула 7.10		формула 7.11

Результаты коэффициента сжимаемости, относительной деформации образца породы, модуля общей деформации и модуля осадки в процессе сжатия и снятия нагрузки, используя формулу 7.6 (в динамике и по ступеням компрессии образца породы) и нижеследующие формулы 7.12; 7.13; 7.14, записывают в таблицу 7.3 (журнал 12а).

Часто коэффициент относительной деформации определяется как сжатие слоя породы мощностью в 1 м под давлением (δ , кгс/см² или МПа). Этот показатель выражают в долях единиц или в процентах.

Коэффициент относительной деформации (сжимаемости) от действующих напряжений может быть выражен следующей формулой:

$$e_0 = \frac{\Delta h}{h}, \text{ или } e_0 = 100 \% \cdot \frac{\Delta h}{h}, \quad (7.12)$$

где e_0 – относительная деформация (сжимаемость), доли единиц или %;

Δh – изменение высоты образца породы при полной стабилизации ее уплотнения от данного давления, мм;

h – первоначальная высота испытуемого образца породы, мм.

Модуль общей деформации равен отношению сжимающего напряжения ($\delta_{y\delta}$) к вызываемой им относительной (общей) деформации породы (e_0) при сжатии в условиях возможного бокового расширения породы:

$$E_0 = \frac{\delta_{уд.}}{e_0}, \quad (7.13)$$

где $\delta_{уд}$ – удельная нагрузка, кгс/см²; МПа;

e_0 – коэффициент относительной сжимаемости, доли единиц;

Δh – изменение высоты образца породы при сжатии в условиях возможного бокового расширения от вызвавшего ее напряжения (давления), мм;

h – первоначальная высота испытуемого образца породы, мм.

Таблица 7.3 – Журнал № 12а. Пример определения относительной деформации, коэффициента сжимаемости, модуля общей деформации и модуля осадки

1	2	Удельная нагрузка на образцах, $\delta=P/(F \cdot N)$ кгс/см ²		5	6	Изменение коэффициента пористости, доли единиц		Коэффициент сжимаемости, 1/(кгс/см ²)		11	12
		3	4			7	8	9	10		
Ступени	Начальная высота образца, h, мм	в динамике, $\delta=\Delta\delta_i$	ступенями, $\delta_{n-i}=\Delta\delta_{n-1}$	Линейная деформация образца, Δh , мм	Относительная деформация образца, $e_0 = \Delta h/h$, доли единиц	в динамике, ε_i	ступенями, $\Delta\varepsilon_{n-i}$	в динамике, $a = \Delta\varepsilon_i / \Delta\delta_i$	ступенями, $a = \Delta\varepsilon_{n-i} / \Delta\delta_{n-1}$	Модуль общей деформации, $E_0 = \delta/e_0$, кгс/см ²	Модуль осадки, $I_p = 1000 \cdot \Delta h/h$, мм/м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Увеличение нагрузки											
1		0				0,000					
2	25	0,5	0,5	1,938	0,078	0,137	0,137	0,274	0,274	6,450	77,52
3	25	1	0,5	3,495	0,140	0,247	0,110	0,247	0,220	7,153	139,80
4	25	2	1	5,900	0,236	0,417	0,170	0,209	0,170	8,475	236,00
5	25	3	1	6,607	0,264	0,467	0,050	0,156	0,050	11,352	264,28
Снятие нагрузки											
5	25	3	1	6,607	0,264	0,467	0,020	0,156	0,020	11,352	264,28
4	25	2	1	6,324	0,253	0,447	0,090	0,223	0,090	7,906	252,96
3	25	1	0,5	5,051	0,202	0,357	0,090	0,357	0,180	4,950	202,04
3	25	0,5	0,5	3,778	0,151	0,267	0,150	0,534	0,300	3,309	151,12
1	25	0	0	1,655	0,066	0,117	0,117				66,20

По данным компрессионных испытаний вычисляют модуль осадки (I_p). Модуль осадки – это осадка (в миллиметрах) слоя грунта мощностью один метр под данной нагрузкой. Модуль осадки вычисляется по следующей формуле:

$$I_p = 1000 \frac{\Delta h}{h}, \quad (7.14)$$

где I_p – модуль осадки, мм/м;
 1000 – высота столба грунта в 1 м;
 Δh – уменьшение высоты образца породы при давлении, мм;
 h – начальная высота испытуемого образца породы, мм.

В таблице 7.4 представлены данные по степени сжимаемости грунтов и границы изменения коэффициента сжимаемости (a).

Таблица 7.4 – Подразделение грунтов по степени сжимаемости в зависимости от величины коэффициента сжимаемости

Степень сжимаемости грунта	Коэффициент сжимаемости (a)	
	1/(кгс/см ²)	МПа ⁻¹
Чрезмерно сжимаемый	$a \geq 1$	$a \geq 10$
Сильно-сжимаемый	$1 > a > 0,1$	$10 > a > 1$
Средне-сжимаемый	$0,1 > a > 0,01$	$1 > a > 0,1$
Слабо-сжимаемый	$0,01 > a \geq 0,001$	$0,1 > a \geq 0,01$

Вывод: По результатам компрессионных исследований и расчетным данным (см. таблицы 7.2 и 7.3) получены близкие значения сжимаемости глинистого грунта, а именно: 0,160 – 0,156, 1/(кгс/см²). Ссылаясь на данные таблицы 7.4 можно заключить, что *грунт сильно сжимаемый*.

7.5 Расчет количественных характеристик механических свойств глинистых грунтов по данным компрессионных испытаний

Дано:

Дата опыта – 22.11. – 8.12.

Высота образца (h) грунта № 1.1 – 25 мм;

площадь поперечного сечения образца (F), (60 см²);

начальный коэффициент пористости (ε) № 1.1 – 0,768 доли единиц;

время наблюдения, t , мин;

отсчеты по индикатору, $i_{cp.}$, мм;

поправка к отсчету по индикатору, $\Delta i_{cp.}$, мм.

Задание для студентов:

1. Провести расчет параметров компрессии – характеристик механических свойств глинистых грунтов.

2. По результатам компрессионных испытаний грунта построить график зависимости $\varepsilon = f(\delta_n)$, где ε (доли единиц) и δ_n (кгс/см²), – значения коэффициента пористости и нагрузки, соответственно.

3. Сделать выводы (см. разделы 7.3 и 7.4).

Цифровые данные, полученные в процессе компрессионных испытаний глинистого грунта (№ 1.1), записывают в журналы 11 и 12 (таблицы 7.5 и 7.6), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 7.5 – Журнал № 11. Определение линейной деформации и коэффициента пористости

1	2	Удельная нагрузка на образцах, $\delta=P/(F \cdot N)$, кгс/см ²		5	6	7	8	9	10	11
		3	4							
Ступени	Нагрузка на подвеске рычага, Р, кг	в динамике, $\delta = \Delta \delta_i$	ступенями $\delta_{n-1} = \Delta \delta_{n-1}$	Время наблюдения, t, мин	Отсчеты по индикатору, $i_{cp.}$, мм	Поправка к отсчету по индикатору, $\Delta i_{cp.}$, мм	Линейная деформация образца, $\Delta h = i_{cp.} - \Delta i_{cp.}$, мм	Изменение коэффициента пористости в динамике, $\Delta \varepsilon_i$, доли единиц	Изменение коэффициента пористости по ступеням, $\Delta \varepsilon_{n-1}$, доли единиц	Коэффициент пористости, $\varepsilon = \varepsilon_{нач.} - \Delta \varepsilon_i$, Доли единиц
Увеличение нагрузки										
1	0	0						0,000		0,768
2	3	0,5	0,5	8	2,393	0,030				
3	6	1	0,5	8	4,111	0,050				
4	12	2	1	8	6,526	0,070				
5	18	3	1	7	8,112	0,090				
Снятие нагрузки										
5	18	3	1	1	8,112	0,090				
4	12	2	1	2	7,526	0,070				
3	6	1	0,5	2	5,950	0,050				
3	3	0,5	0,5	2	4,657	0,030				
1	0	0	0	2	3,080	0,010				

Расчетные данные журнала № 11 (графы таблицы 7.5 – 8, 9, 10) перенести в соответствующие колонки журнала № 12 (графы таблицы 7.6 – 5, 7, 8, соответственно таблице 7.5).

Таблица 7.6 – Журнал № 12. Определение относительной деформации, коэффициента сжимаемости, модуля общей деформации и модуля осадки

Ступени	Начальная высота образца, h, мм	Удельная нагрузка на образцах, $\delta=P/(F \cdot N)$ кгс/см ²		Линейная деформация образца, Δh , мм	Относительная деформация образца, $e_0 = \Delta h/h$, доли единиц	Изменение коэффициента пористости, доли единиц		Коэффициент сжимаемости, $1/(кгс/см^2)$		Модуль общей деформации, $E_0 = \delta/e_0$, кгс/см ²	Модуль осадки, $I_p = 1000 \cdot \Delta h/h$, мм/м
		в динамике, $\delta = \Delta \delta_i$	ступенями, $\delta_{n-1} = \Delta \delta_{n-1}$			в динамике, ϵ_i	ступенями, $\Delta \epsilon_{n-1}$	в динамике, $a = \Delta \epsilon_i / \Delta \delta_i$	ступенями, $a = \Delta \epsilon_{n-1} / \Delta \delta_{n-1}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Увеличение нагрузки											
1		0									
2	25	0,5	0,5								
3	25	1	0,5								
4	25	2	1								
5	25	3	1								
Снятие нагрузки											
5	25	3	1								
4	25	2	1								
3	25	1	0,5								
3	25	0,5	0,5								
1	25	0	0								

Ниже в таблице 7.7 привести расчет количественных характеристик механических свойств глинистых грунтов по данным компрессионных испытаний в условиях одноосного сжатия с помощью одометра.

Для этого следует построить график компрессионных испытаний грунтов (за образец взять рисунок 7.3).

Таблица 7.7 – Расчет количественных характеристик механических свойств горных пород по данным компрессионных испытаний (в условиях одноосного сжатия с помощью одометра)

Точки соприкосновения	Расчет тангенса угла наклона		Постоянная величина	Коэффициент относительной сжимаемости	Множитель (принят для глин)	Модуль общей деформации, МПа
	участок компрессионной кривой	тангенс угла наклона касательной, 1/МПа				
		$tga=a$	$A = \varepsilon_0$	e_{02}	β	E_0
M_1						
M_2						
разность значений						

7.6 Заключение к лабораторной работе № 5

Согласно выводу Ломтадзе В.Д. [4], к сильно-сжимаемым обычно относят грунты, плотность которых не соответствует природному давлению на глубине залегания. Такие грунты называются недоуплотненными. Средне-сжимаемыми часто являются нормально уплотненные глинистые грунты. Переуплотненные грунты, обжатые в геологическом прошлом давлением, более сильным, чем природное для глубины их залегания в настоящее время, обычно являются слабо-сжимаемыми. При давлениях 200÷300 кПа они иногда набухают, т.е. коэффициент сжимаемости их в этом случае принимает отрицательное значение.

Уравнение (7.7) выражает один из основных законов механики песчаных и глинистых горных пород – закон уплотнения. Формулируется он так: «Относительное изменение объема пор породы прямо пропорционально изменению давления» [Цытович Н.А., 1963 г.]. Этот закон выражает зависимость между коэффициентом пористости и внешним давлением и считается справедливым в определенных условиях для различных песчаных и других обломочных и глинистых пород. Исследования показывают, что глинистые породы в природных условиях в некоторых случаях не подчиняются закону уплотнения, и при одинаковых давлениях могут обладать различной плотностью. Это объясняется тем, что определенная пористость породы в некоторых случаях обусловлена не только воздействием определенного давления. Сжатие осадка в процессе его накопления и при последующей литификации происходит под влиянием силы тяжести, преодолевающей силы трения и сцепления между минеральными частицами. При этом эффект уплотнения при одинаковом давлении будет различен в зависимости от пористости и влажности породы, от минерального состава частиц, ее

слагающих, от степени «глинистости», характера и прочности возникающих структурных связей, ее цементации и др.

В практике строительства при относительно небольших нагрузках на грунт зависимость между коэффициентом пористости и давлением (см. график компрессионных испытаний – рисунок 7.3) с достаточной для практических целей точностью можно принять за прямолинейную зависимость. В этом случае если нагрузки на грунт изменяются от δ_1 до δ_2 , то отрезок кривой между этими точками можно принять за прямую $M_1 - M_2$. Выбор точек M_1 и M_2 на компрессионной кривой при определении коэффициента сжимаемости (a) не может быть случайным, а должен быть подчинен определенному правилу. Координаты точки M_1 должны соответствовать естественному природному давлению на породу - δ_1 и естественному коэффициенту пористости - ε_1 . Координаты точки M_2 должны соответствовать конечному давлению на породу - δ_2 после возведения сооружения. По конечному давлению на компрессионной кривой находят значение - ε_2 .

При определении конечного давления (δ_2) на породу необходимо иметь в виду, что оно должно удовлетворять следующему равенству:

$$\delta_2 = g - h \cdot \rho, \quad (7.15)$$

где g – давление от проектируемого сооружения, МПа;
 h – глубина заложения подошвы фундамента сооружения, см;
 ρ – плотность породы, залегающей выше подошвы фундамента сооружения, г/см³.

Величина ($g - h \cdot \rho$) означает давление на породу от сооружения за вычетом веса породы, т.е. фактически то дополнительное давление, которое порода воспринимает после возведения сооружения.

Множитель (β) численно равен: для песков – 0,76; для супесей – 0,72; для суглинков – 0,57; для глин – 0,42÷0,43. Значение β определяется по коэффициенту поперечного расширения μ по следующей формуле:

$$\beta = 1 - \frac{2 \cdot \mu^2}{1 - \mu}. \quad (7.16)$$

где β – множитель, доли единиц;
 μ – коэффициент поперечной деформации, доли ед.

Коэффициент поперечной деформации (μ) определяется опытным путем или по табличным данным. Этот коэффициент у скальных и полускальных пород изменяется в ограниченных пределах – от 0,10 до 0,40, а у песчаных и глинистых – 0,2÷0,5. Среднее значение для различных типов песчаных и глинистых пород равно: крупнообломочные породы – 0,27; пески и супеси – 0,30; суглинки – 0,35; глины – 0,42.

8 Лабораторная работа № 6

Прочностные свойства тонкодисперсных связных и несвязных грунтов

Большая или меньшая деформируемость грунта под нагрузкой определяется его прочностью. Прочность грунта наиболее полно проявляется при испытании грунта на сдвиг, т.е. при смещении одной части грунта по отношению к другой под действием касательных (горизонтальных) нагрузок.

Сопротивление грунта сдвигу является одной из важнейших его характеристик, так как характеризует устойчивость грунта.

Сопротивление сдвигу песчаных и глинистых пород зависит главным образом от нормального уплотняющего давления. В этом проявляется одна из характерных закономерностей механических свойств песчаных и глинистых пород. На рисунке 8.1 приведен график зависимости развития деформаций сдвига от сдвигающих усилий.

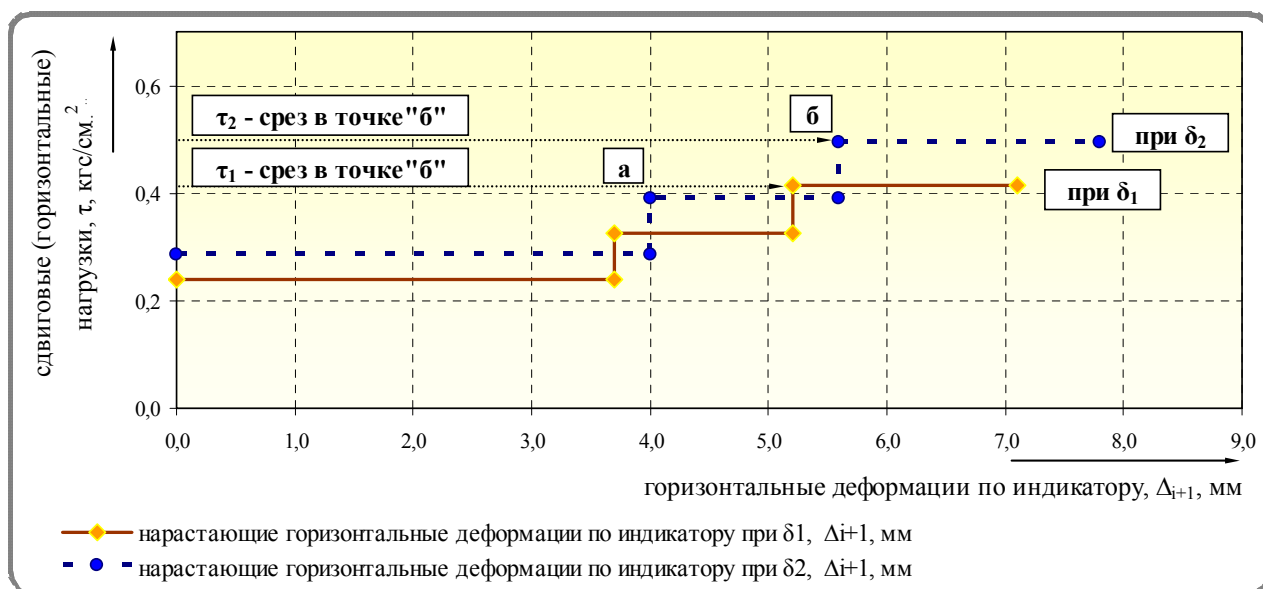


Рисунок 8.1 – График развития деформаций под влиянием сдвигающих усилий

На этом графике видно, что с увеличением нормального уплотняющего давления от δ_1 до δ_2 увеличивается и сопротивление пород сдвигу. Для каждого нормального давления δ_1 и δ_2 отмечаются две характерные точки («а» и «б»).

Точка «а» отвечает сдвигающим усилиям, создающим первую значительную деформацию породы. Выше этой точки скорость развития деформаций заметно увеличиваются.

Точка «б» отвечает предельным максимальным сдвигающим усилиям, при которых наступает непрерывное смещение породы по поверхности или вдоль зоны сдвига. Эта точка максимального сдвигающего усилия соответствует стадии разрушения породы.

Сдвигающие усилия, – отмечает Ломтадзе В.Д. [4], – отвечающие точкам «б», принимаются как исходные при построении диаграмм зависимости сопротивления пород сдвигу от нормального уплотняющего давления.

Данная лабораторная работа состоит из двух частей, в которой изучаются прочностные характеристики глинистых грунтов с помощью сдвигового прибора и устойчивость песчаных грунтов методом определения угла естественного откоса песков.

8.1 Показатели прочностных свойств глинистых и песчаных грунтов

Под сопротивлением грунтов сдвигу понимают наименьшее касательное напряжение (τ), при котором грунт, находящийся под нормальным давлением (σ_n), срезается (сдвигается), ГОСТ 12248.

Сопротивление грунтов сдвигу определяется силами внутреннего трения и силами сцепления между частицами грунта. Силы трения в грунте пропорциональны нормальному давлению (вертикальная нагрузка), передаваемому на скелет (твердую фазу) грунта.

Сцепление имеет сложную природу, оно зависит от цементационных, коллоидных и электромолекулярных связей между частицами. Если в песчаных грунтах сопротивление сдвигу обусловлено преимущественно силами трения, то в связных тонкодисперсных (пылеватых и глинистых) грунтах сопротивление сдвигу определяется сцеплением (первичным и упрочения) и силами трения.

В частности, для глинистых и песчаных грунтов, сопротивление грунта сдвигу определяется по *формуле Кулона*:

$$\tau = \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi + C = \delta \cdot f + C, \quad (8.1)$$

где τ , – сопротивление сдвигу, кгс/см² или МПа;
 δ – нормальное удельное напряжение, кгс/см² или МПа;
 $\operatorname{tg} \varphi$ или f – коэффициент внутреннего трения, доли единиц;
 φ – угол внутреннего трения, градусы;
 C – удельное сцепление, кгс/см² или МПа.

Показателем прочностных свойств грунта является и величина сопротивления сдвигу (τ).

Силу «С», сопротивляющуюся сдвигу при отсутствии внешней нагрузки, называют *сцеплением*. Физический смысл его пока не получил должного объяснения. По-видимому, начальное сопротивление сдвигу связано не только с трением, но и с явлениями зацепления частиц друг за друга, с затратой сдвигающих усилий на опрокидывание, вращение и перемещение частиц в зоне сдвига. В песчаных грунтах показатель «С» имеет очень малое значение и характеризует начальное сопротивление сдвигу при нормальном давлении равно нулю (а именно: для чистых песков, в частности кварцевых,

он равен нулю). Для чистых песков угол внутреннего трения (ϕ) равен углу естественного откоса (L).

В песчаных породах общее сопротивление сдвигу повышается в грубозернистых песках; в глинистых породах – повышается с увеличением глинистости, хотя внутреннее трение при этом уменьшается. В несвязных бесструктурных, разнозернистых (они же и сыпучие) грунтах силы сцепления ничтожны, но приобретают временную связность при их намачивании водой.

Итак: уравнение показывает, что суммарное сопротивление сдвигу равно нормальному давлению, умноженному на *коэффициент внутреннего трения*, плюс некоторая постоянная «С», которая свидетельствует, что даже при отсутствии нормального давления необходимо приложить какое-то сдвигающее усилие « t » равное «С» для достижения сдвига.

Показатели сопротивления грунта сдвигу определяются различными способами, среди которых выделяют:

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

Результаты испытаний сопротивления грунтов сдвигу выражают в виде графика, причем на оси абсцисс откладывают нагрузки, а на оси ординат – соответствующие им сдвигающие усилия.

В практике лабораторных исследований широко применяется способ прямого сдвига по фиксированной плоскости, для этого существуют различные приборы. Для этого применяются сдвиговые приборы различных конструкций (ГПП-30, П10-С и другие). Методика производства опытов по определению сопротивления грунтов сдвигу и описание применяемых при этом приборов изложены в специальных руководствах [1, 2, 3 и др.].

8.2 Лабораторная работа № 6.1

Определение прочностных характеристик глинистых грунтов (испытание грунтов на сдвиг)

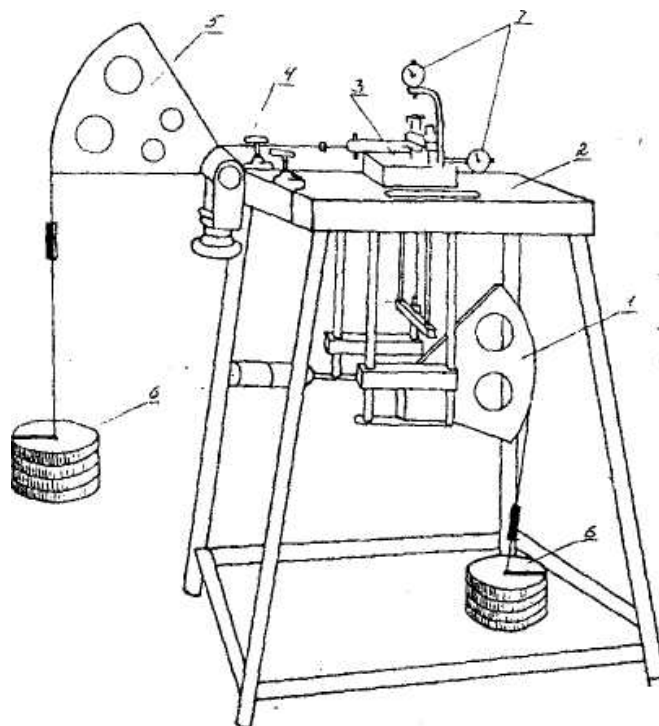
Предметом данной лабораторной работы является определение прочностных характеристик грунта (испытание грунтов на сдвиг) с помощью сдвигового прибора, описанного в работе Г.С. Малкиной [3].

Для этих исследований необходимо иметь:

- 1) сдвиговый прибор ГПП-30;
- 2) индикаторы часового типа;
- 3) секундомер;
- 4) фильтровальная бумага;
- 5) одометры с грунтом;
- 6) набор гирь;
- 7) журнал 13.

Описание прибора

Прибор ГПП-30 конструкции Маслова – Лурье в модернизации Гидропроекта (рисунок 8.2) состоит из металлического столика, жестко укрепленного на металлическом каркасе. На столике находится срезыватель, к столику же крепится рычажное устройство горизонтального давления (сдвигающей нагрузки). Под столиком находится рычажное устройство вертикального (нормального) давления. В комплект входят гири, которые предназначены для проведения вертикальной и горизонтальной нагрузок.



Условные обозначения: 1 – механизм вертикального давления, 2 – столик, 3 – срезыватель, 4 – тормоз, 5 – механизм горизонтального давления, 6 – груз, 7 – индикаторы.

Рисунок 8.2 – Сдвиговой прибор ГПП-30

Подготовка пробы

Для грунтов ненарушенной структуры (*суглинок – образец № 1.3*).

Образец вырезается грунтоносом из монолита и после предварительного уплотнения (см. лабораторную работу № 5) помещается в срезыватель прибора.

Примечание: Испытание грунтов на сдвиг по возможности следует определять только по образцам естественной влажности.

До проведения прочностных характеристик грунтов в лаборатории выполняют определения показателей физических свойств и состояния грунта, т.е. определяют его гранулометрический состав, плотность грунта природной влажности, плотность частиц грунта, плотность сухого грунта (плотность скелета), влажность естественную (природную), пористость и коэффициент пористости.

Последовательность определения

1. Собирается срезыватель прибора. Для этого верхняя обойма ставится на нижнюю ее часть, а установочные шпильки завинчиваются настолько, чтобы концы их вошли в отверстия нижней обоймы. Верхняя обойма при этом должна лежать на нижней ее части без зазора.

2. На дно нижней обоймы укладывается перфорированный вкладыш, влажная фильтровальная бумага, а затем уплотненный грунт. Сверху на кольцо с грунтом кладут верхний перфорированный вкладыш, фильтровальную бумагу и устанавливают поршень. При установке поршня (штампа) надо следить, чтобы он входил в верхнюю обойму без перекосов. После сборки срезывателя его устанавливают на столик прибора и закрепляют. Далее прикладывается вертикальная нагрузка.

3. **Примечание** – Каждая бригада студентов производит испытания на сдвиг одного образца при трех ступенях заданной удельной нагрузки.

4. Сдвиг выполняется по ускоренной схеме, при которой действия уплотняющей (нормальной) и сдвигающей (горизонтальной) нагрузок, плотность и влажность грунта практически не меняются.

Вес гирь на рычаге (Р) рассчитывается по формуле 8.2:

$$P = \frac{\delta}{F \cdot N_{\text{в}}}, \quad (8.2)$$

где Р – вес гири на рычаг, кг;

δ – заданная удельная вертикальная нагрузка, кгс/см², (МПа);

F – площадь поперечного сечения образца (кольца), равная 40 см.²,

N_в – сопротивление плеч рычага, равное 1:10.

5. Для контроля за вертикальными (уплотняющими) деформациями устанавливается индикатор.

6. После приложения вертикальной (нормальной) нагрузки, трос рычага, передающего горизонтальную нагрузку, соединяется с верхней обоймой срезывателя.

7. Для замера горизонтальных деформаций (сдвига) устанавливается специальный индикатор, который крепится к верхней обойме срезывателя.

8. Одновременно вращением гаек установочных шпилек срезывателя дается зазор между обоймами. Величина зазора устанавливается визуально (0,5-1мм). Перед приложением горизонтальной нагрузки упор тормозного устройства (см. рисунок 8.2) отводится от эксцентрика с таким расчетом, чтобы ход верхней обоймы был равен 5-8 мм (на такой отсчет устанавливается индикатор, показания которого берутся затем **по красным цифрам**, т.е. как бы обратные).

9. Далее последовательно ступенями прикладывается горизонтальная сдвигающая нагрузка. При этом каждая ступень сдвигающей нагрузки выдерживается до затухания деформации, которое определяется отсутствием

приращения деформации в течение последних трех наблюдений. Время взятия отсчета зависит от схемы, по которой выполняется сдвиг.

10. Испытание считается законченным, когда приложение очередной ступени нагрузки вызывает незатухающую деформацию (стрелка индикатора стремительно вращается).

11. Величина сдвигающего напряжения (сопротивления сдвигу) рассчитывается по формуле 8.3:

$$\tau = \frac{T \cdot N_r}{F}, \quad (8.3)$$

где: τ – величина сдвигающего напряжения, кгс/см², МПа;

T – вес гирь на горизонтальном рычаге в момент сдвига, кг,

N_r – соотношение плеч горизонтального рычага, равное 1:10,

F – площадь поперечного сечения образца (кольца), равная 40 см².

12. Результаты наблюдений на сдвиг заносят в журнал 13а, где приведены данные горизонтальных деформаций по индикатору ступенями, определенные на глинистом образце грунта при одном испытании.

Задание для студентов:

13. Студентам следует самостоятельно провести второе испытание грунта на сдвиг (образец № 1.3).

14. Данные, полученные в процессе испытания и их обработки, записать в журнал 13. Построить график зависимости сдвигающего усилия от нормальной нагрузки. Сделать выводы.

Ниже приводится пример расчета параметров прочности.

8.2.1 Пример расчета прочностных характеристик глинистых грунтов по данным испытания грунтов на сдвиг

Дано:

Вес гири на подвеске рычага, кг;

площадь поперечного сечения образца (F), (40 см²);

вертикальное напряжение на плоскости сдвига (δ), кгс/см²;

время наблюдения, t , минуты;

горизонтальные деформации образца породы по индикатору, Δi , мм.

Определить:

Горизонтальное напряжение на плоскости сдвига (τ – установившееся сдвиговое усилие), кгс/см²;

коэффициент сдвига по ступеням нагрузки ($\operatorname{tg}\psi$), доли единиц;

угол сдвига (ψ) по ступеням нагрузки, градусы;

коэффициент внутреннего трения ($\operatorname{tg}\phi$), доли единиц;

угол внутреннего трения (ϕ), градусы; удельное сцепление (C), кгс/см²;

величину, эквивалентную прочности структурных связей (P_e), кгс/см².

Порядок расчета:

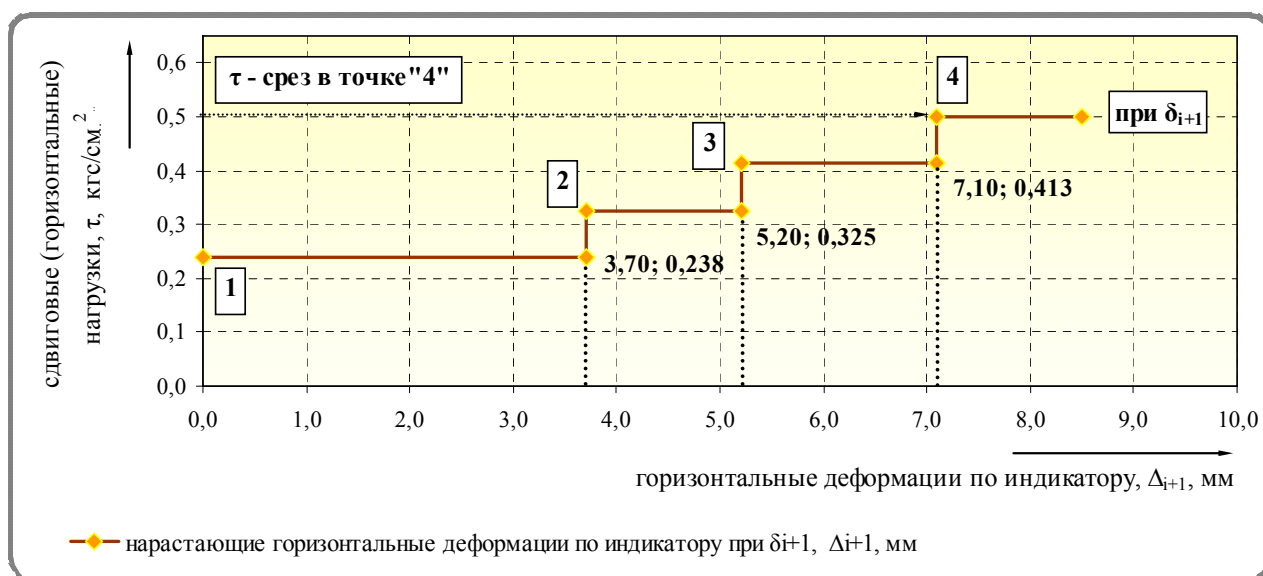
Горизонтальное напряжение на плоскости сдвига или установившееся сдвиговое усилие (τ) определяют по формуле 8.3. Например, расчет сдвигового усилия для первой ступени согласно формуле 8.4 равен $0,238 \text{ кгс/см}^2$, и т.д.

$$\tau_1 = \frac{T \cdot N_{\Gamma}}{F} = \frac{0,950 \text{ кг} \cdot 10}{40 \text{ см}^2} = 0,238 \text{ кгс / см}^2. \quad (8.4)$$

Результаты записывают в таблицу 8.1 (журнал 13а).

На рисунке 8.3 приведен график зависимости развития деформаций сдвига от сдвигающих усилий. За сдвигающее усилие принята нагрузка (τ), при которой по показателям индикатора отмечено резкое нарастание (Δ_{i+1}) дестабилизирующей деформации сдвигу.

Точки «1, 2» отвечают сдвигающим усилиям, создающим значительную деформацию породы. Точка «3» характеризует усилия предельного состояния породы – **предельного равновесия**, непосредственно предшествующего ее разрушению. Точка «4» отвечает **предельным максимальным** сдвигающим усилиям, при которых наступает непрерывное смещение породы по поверхности или вдоль зоны сдвига. Эта точка максимального сдвигающего усилия соответствует стадии разрушения породы.



Условные обозначения: τ – горизонтальное напряжение на плоскости сдвига, кгс/см.²; Δ_{i+1} – горизонтальные деформации (показания индикатора), мм; δ_{i+1} – нормальное удельное напряжение на плоскости сдвига, кгс/см.²; (3,70; 0,238) – координаты точек среза по осям деформации и сдвига, соответственно; (1, 2, 3, 4) – ступени нагрузки.

Рисунок 8.3 – График развития деформаций под влиянием сдвигающих усилий по данным испытания образца грунта № 1.3 на сдвиг

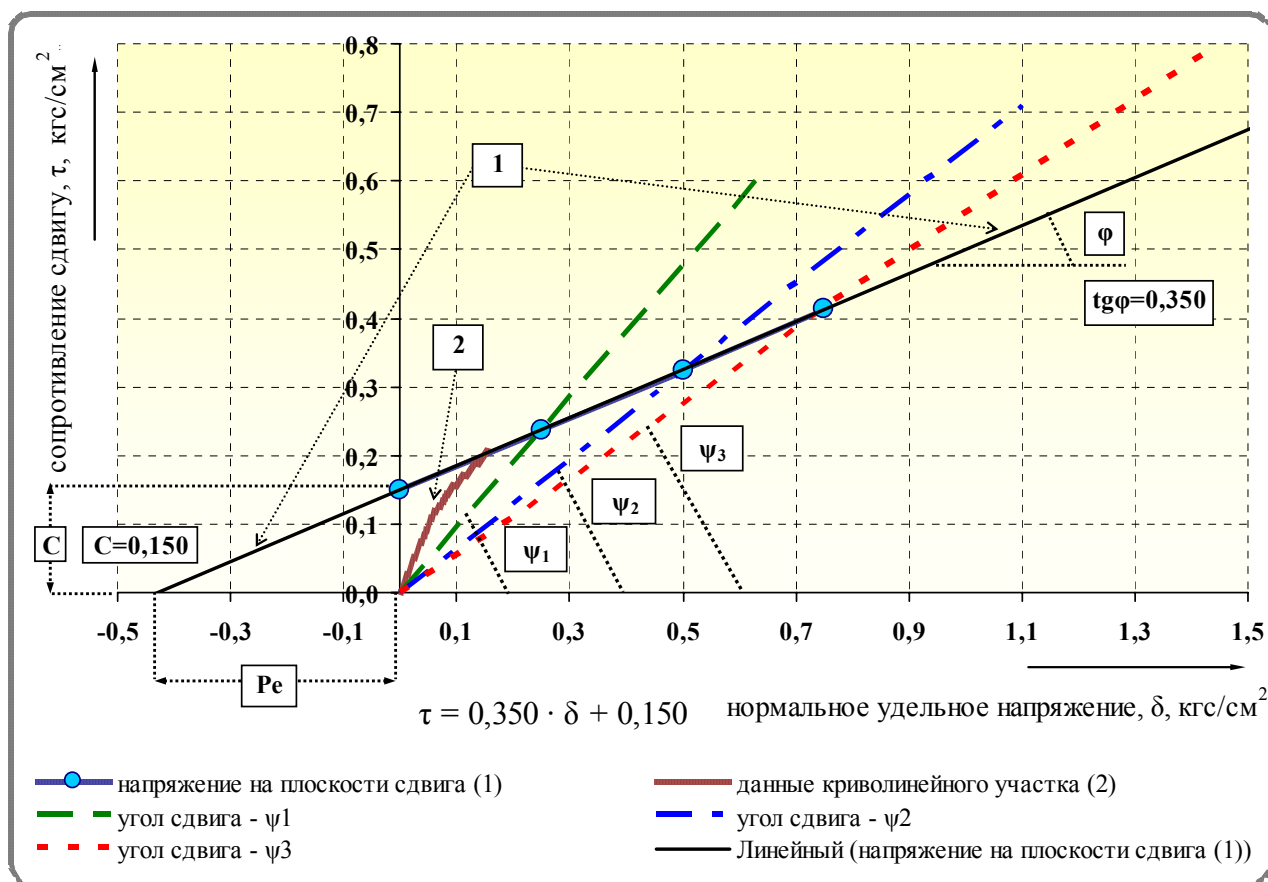
Таблица 8.1 – Журнал № 13а. Пример расчета прочностных показателей глинистых грунтов, полученных в результате обработки данных графической зависимости сдвигающего усилия от нормальной нагрузки

Ступени	Вес гири на подвеске рычага, кг		Напряжение плоскости сдвига, кгс/см ²		Время наблюдения, t, мин;	Горизонтальные деформации по индикатору, Δ i, мм	Показатели сдвига, расчет		Показатели сдвига, по графику			Величина, эквивалентная прочности структурных связей, кгс/см ²
	вертикальная нагрузка	горизонтальная нагрузка	нормальное (задать)	горизонтальное (опытным путем)			коэффициент сдвига, доли единиц	угол сдвига, градусы	коэффициент внутреннего трения, доли единиц	угол внутреннего трения, градусы	сцепление, кгс/см ²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	0	0	0	-	-	-	-	0,350	19°29'	0,150	0,429
1	1	0,950	0,250	0,238	2'15"	3,7; сдвиг	0,950	43°52'	0,350	19°29'	0,150	0,429
2	2	1,300	0,500	0,325	3'20"	1,5; сдвиг	0,650	33°02'	0,350	19°29'	0,150	0,429
3	3	1,650	0,750	0,413	4'13"	1,9; сдвиг	0,550	28°83'	0,350	19°29'	0,150	0,429
4	4	2,000	1,000	0,500		1,4; срез						

В таблице 8.1 сведены важнейшие прочностные показатели глинистых грунтов, полученные в результате обработки данных графической зависимости (рисунок 8.4) сдвигающего усилия от нормальной нагрузки – $\tau = f(\delta_n)$.

Для построения диаграммы обычно используется программа «Microsoft Office Excel», команда – мастер диаграмм.

Диаграмму сопротивления сдвигу (и соответствующие ей уравнение Кулона – формула 8.1) обычно строят по данным сдвигающих усилий (это точки «1, 2, 3» таблицы 8.1 и рисунка 8.3), которые характеризуют состояние породы, непосредственно предшествующего ее разрушению.



Условные обозначения: τ – установившееся сдвиговое усилие, кгс/см²; δ – нормальное удельное напряжение на образец породы, кгс/см²; ψ — угол сдвига (ψ_1, ψ_2, ψ_3 – последовательно ступенями прикладываемая горизонтальная нагрузка), градусы; φ — угол внутреннего трения, градусы; $\text{tg}\varphi$ — коэффициент внутреннего трения, доли единиц; C – сцепление, кгс/см²; P_e — величина, эквивалентная прочности структурных связей, кгс/см².

Рисунок 8.4 – Графическая зависимость сдвигающего усилия глинистых грунтов от нормальной нагрузки

Из этой диаграммы сопротивления грунта сдвигу глинистых пород видно, что оно состоит из двух частей: одна часть зависит от нормального давления и в известных пределах прямо пропорционально ему, другая не

зависит от нормального давления. Первая часть обусловлена внутренним трением в породе ($\delta \operatorname{tg} \varphi$) и имеет прямолинейный основной участок (1); вторая – общим сцеплением (С), обусловленным всеми видами структурных связей и имеет на диаграмме небольшой криволинейный участок (2).

Приведенная выше диаграмма зависимости глинистой породы сдвигу от нормального давления описывается уравнением Кулона:

$$\tau = \operatorname{tg} \varphi \cdot \delta + C \text{ или } \tau = 0,350 \cdot \delta + 0,150, \quad (8.5)$$

где величина 0,350 – коэффициент внутреннего трения ($\operatorname{tg} \varphi$), доли единиц;

величина 0,150 – удельное сцепление (С), кгс/см².

Параметры « $\operatorname{tg} \varphi$ » и «С» можно вычислить по результатам проведенных испытаний по формулам 8.6 и 8.7:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\delta_2 - \delta_1}, \quad (8.6)$$

$$C = \tau_1 - \delta_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi = \tau_2 - \delta_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (8.7)$$

Зная вышеуказанные величины можно рассчитать величину, эквивалентную прочности структурных связей. Величина эквивалентная прочности структурных связей на рисунке 8.4 обозначена « P_e », производится в результате продолжения прямолинейного отрезка (1) до пересечения его с осью абсцисс и определяется, в основном для глинистых грунтов – формула 8.8.

$$P_e = \frac{C}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (8.8)$$

Если уравнение 8.5 поделить на величину нормальной нагрузки (δ), то получим коэффициент сдвига ($\operatorname{tg} \psi$), который равен:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\tau}{\delta} = \operatorname{tg} \varphi + \frac{C}{\delta}, \quad (8.9)$$

где $\operatorname{tg} \psi$ – коэффициент сдвига, доли единиц;
 ψ – угол сдвига.

По данным сдвигающего усилия и нормальной нагрузки проводят расчет коэффициента сдвига по формуле 8.9, затем определяют угол сдвига (ψ) по таблице тангенсов.

Величину $F_{\delta H}$ принято называть коэффициентом сдвига, которая равна:

$$F_{\delta H} = tg \psi = \frac{\tau}{\delta}. \quad (8.10)$$

У песчаных пород он равен коэффициенту внутреннего трения ($tg\psi$) и является величиной, постоянной для каждой породы при определенном ее состоянии.

Для глинистых пород коэффициент сдвига ($tg\psi$) – величина переменная, то есть, с увеличением нормального уплотняющего давления он уменьшается. Поэтому при знаке $F_{\sigma H}$, обозначающем коэффициент сдвига, указывается нормальное давление (δ_H), при котором он определяется (см. таблицу 8.1).

Удельное сцепление, преобразованное из уравнения 8.9, будет равно:

$$C = \delta \cdot (tg \psi - tg \varphi). \quad (8.11)$$

Если в уравнении Кулона (см. рисунок 8.4 и формулу 8.5) учесть величину, эквивалентную прочности структурных связей (P_e), обратную нормальному удельному напряжению, то удельное сцепление будет равно и это видно по диаграмме:

$$C = tg \varphi \cdot P_e. \quad (8.12)$$

Откуда, вторая часть уравнения Кулона может быть преобразована в следующий вид, согласно формуле 8.13:

$$\tau = tg \varphi \cdot \delta + tg \varphi \cdot P_e = tg \varphi (\delta + P_e), \quad (8.13)$$

где $tg \varphi$ – коэффициент трения для глинистых пород.

Предыдущее уравнение 8.9 с учетом структурных связей примет вид:

$$tg \psi = tg \varphi + \frac{C}{\delta} = tg \varphi + tg \varphi \cdot \frac{P_e}{\delta} = tg \varphi \cdot \left(1 + \frac{P_e}{\delta}\right), \quad (8.14)$$

где P_e – величина, эквивалентная прочности структурных связей.

Эта величина является отрицательной величиной, расположенной по оси абсцисс – слева, то есть: минус « P_e » равно плюс « δ ».

Вывод: В результате проведенного опыта и расчетов получили график зависимости сдвигающего усилия от нормальной нагрузки. Испытуемый грунт – суглинок, для него определен угол внутреннего трения, равный $19^\circ 29'$ и коэффициент внутреннего трения, равный 0,350; удельное сцепление – $0,150 \text{ кгс/см}^2$ и величина, эквивалентная прочности структурных связей, равная $0,429 \text{ кгс/см}^2$.

8.2.2 Расчет прочностных характеристик глинистых грунтов по данным испытания грунтов на сдвиг

Дано:

Дата опыта – 8.12. – 20.12.

Вес гири на подвеске рычага, кг;

площадь поперечного сечения образца № 1.3 (F), (40 см²);

вертикальное напряжение на плоскости сдвига (δ), кгс/см²;

время наблюдения, t, минуты;

горизонтальные деформации образца породы по индикатору, Δi , мм.

Задание для студентов:

1. Определить установившееся сдвиговое усилие для второго образца породы по ступеням горизонтальной нагрузки, кгс/см²;

2. Построить график развития деформаций под влиянием сдвигающих усилий по данным испытания второго образца грунта № 1.3 на сдвиг.

3. По результатам испытаний грунта на сдвиг построить график зависимости $\tau = f(\delta_n)$, где τ (кгс/см²) и δ_n (кгс/см²), – значения сдвигового усилия и нагрузки, соответственно.

4. Рассчитать сдвиговые параметры глинистых грунтов (суглинок – образец № 1.3), полученные в результате обработки данных графической зависимости сдвигающего усилия от нормальной нагрузки

5. Сделать выводы (см. раздел 8.2.1).

Цифровые данные, полученные в процессе испытаний глинистого грунта (№ 1.3), записывают в журнал 13 (таблица 8.2), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

8.3 Заключение к лабораторной работе № 6.1

Согласно учебному пособию Ломтадзе В.Д. [1], выбор схемы испытаний пород на сдвиг определяется рядом конкретных условий. При исследованиях песков целесообразно применять главным образом срезные приборы, испытывать их при нагрузках, соответствующих природным или весу сооружения, без предварительного уплотнения, по схеме быстрого сдвига и, естественно, в условиях открытой системы. Испытания следует проводить на образцах естественного сложения либо при плотности, соответствующей естественным условиям залегания пород или определенно заданной. Выбор схемы испытаний глинистых пород более труден. В этом случае надо учитывать их состав, особенно минеральный, физическое состояние, степень водонасыщенности, склонность к набуханию или к просадкам. Важно знать прочность структурных связей (эффективную нагрузку по компрессионным испытаниям), величину природной нагрузки, которую они испытывали, и предполагаемую нагрузку от сооружений.

Таблица 8.2 – Журнал № 13. Прочностные показатели глинистых грунтов, полученные в результате обработки данных графической зависимости сдвигающего усилия от нормальной нагрузки

Ступени	Вес гири на подвеске рычага, кг		Напряжение плоскости сдвига, кгс/см ²		Время наблюдения, t, мин;	Горизонтальные деформации по индикатору, Δ i, мм	Показатели сдвига, расчет		Показатели сдвига, по графику			Величина, эквивалентная прочности структурных связей, кгс/см ²
	вертикальная нагрузка	горизонтальная нагрузка	нормальное (задать)	горизонтальное (опытным путем)			коэффициент сдвига, доли единиц	угол сдвига, градусы	коэффициент внутреннего трения, доли единиц	угол внутреннего трения, градусы	сцепление, кгс/см ²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	0	0	0	-	-	-	-				
1	1	0,950	0,250		2'20"	3,8; сдвиг						
2	2	1,320	0,500		3'35"	1,6; сдвиг						
3	3	1,690	0,750		4'25"	2,0; сдвиг						

8.4 Устойчивость песчаных грунтов

8.4.1 Угол естественного откоса

Под устойчивостью грунтов понимают их способность воспринимать давление без возникновения недопустимых деформаций.

Устойчивость грунтов – величина переменная и зависит от минерального и гранулометрического составов, влажности и пористости (плотности) грунта. Оценивается устойчивость грунтов по их сжимаемости под действием нагрузки, сжимаемости во времени, по модулю деформации и модулю упругости, по сопротивлению сдвигу.

В настоящее время подобные (механические) свойства грунтов определяют непосредственно в полевых условиях (в шурфах, скважинах), используя динамическое и статическое зондирование, применяя штампы различной конструкции.

Более подробно определение механических свойств грунтов рассмотрено в разделах 7, 8.1 и 8.2, где подробно изложено исследование пылеватых и глинистых грунтов.

Устойчивость же *песчаных грунтов в откосах* и в основании дорожного полотна, где возникают касательные напряжения, обусловлена силами сопротивления песков сдвигу. Сопротивление сдвигу складывается из трения и сцепления. В песках сцепление весьма незначительно и является сцеплением зацепления между частицами.

В общем случае сопротивление грунта сдвигу определяется по формуле Кулона.

$$\tau = P \cdot \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (8.13)$$

где τ , – сопротивление сдвигу, кгс/см² или МПа;
 P - нормальное давление, кгс/см² или МПа;
 $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения, доли единиц;
 φ – угол внутреннего трения, градусы;
 C – удельное сцепление, кгс/см² или МПа.

В таблице 8.3 приведены ориентировочные значения « φ » и « C » для песчаных грунтов при оптимальной влажности ($W_{\text{опт}}$) и максимальной плотности скелета породы при ее уплотнении (ρ_{dmax}), которые охарактеризованы Малкиной Г.С. в ее пособии [3].

Грунты в насыпи обычно находятся в трехфазном состоянии (грунт «плюс» вода «плюс» воздух) и уплотнение их происходит за счет перемещения грунтовых частиц, сопровождающееся вытеснением воздуха и частиц воды. При одинаковой затрате усилий уплотнение зависит от влажности грунта. С увеличением влажности до определенного для каждого грунта предела плотность этого грунта увеличивается, но при дальнейшем увлажнении плотность этого грунта будет уменьшаться. Наибольшая плотность сухого

грунта (твердой фазы или скелета породы) при данной затрате работы на уплотнение называется максимальной плотностью и обозначается – ρ_{dmax} .

Влажность грунта, соответствующая максимальной плотности сухого грунта, называется оптимальной влажностью и обозначается – W_{opt} .

Таблица 8.3 – Сдвиговые значения для песчаных грунтов при оптимальной влажности и максимальной плотности скелета породы при ее уплотнении

Грунт	Угол внутреннего трения, φ , градусы	Удельное сцепление, C , МПа
Песок пылеватый	36°	0,004
Песок мелкозернистый	38°	0,002
Песок среднезернистый	40°	0
Песок крупнозернистый	43°	0

В таблице 8.4 приведены ориентировочные значения оптимальной влажности (W_{opt}) и максимальной плотности скелета породы при ее уплотнении (ρ_{dmax}).

Таблица 8.4 – Ориентировочные значения оптимальной влажности и максимальной плотности скелета породы при ее уплотнении

Грунты	Максимальная плотность скелета породы при ее уплотнении, ρ_{dmax} , г/см ³	Оптимальная влажность, W_{opt} , %
Пески	1,8	8 – 12
Супеси	1,7 – 2,0	9 – 17
Суглинки	1,5 – 1,8	14 – 23
Глины	меньше 1,5 иногда 1,5 – 1,8	24 – 30 и более 30

За счет сопротивления сдвигу пески при отсыпке образуют конус. Наклон образующих обеспечивает устойчивость грунта при данной влажности против ссыпания под действием собственной массы. Угол «L» у основания конуса называется углом естественного откоса.

Для чистых песков, у которых сцепление практически отсутствует, т.е. равно нулю, угол естественного откоса практически не отличается от угла внутреннего трения (угол «L» приблизительно равен углу « φ »).

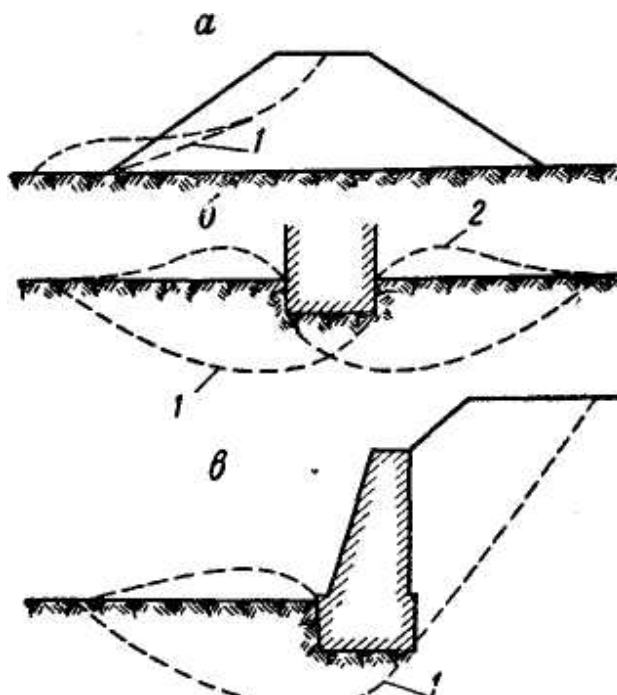
Сопротивление сдвигу для песков определяется формулой:

$$\tau = P \cdot tg\varphi. \quad (8.14)$$

Сопротивление грунта сдвигу является одной из важнейших его

характеристик, так как характеризует устойчивость грунта в откосах выемок и насыпей, а также в основаниях различных инженерных сооружений.

В грунтовом массиве при приложении к нему внешней нагрузки могут возникать касательные напряжения, в результате чего происходит взаимное перемещение (сдвиг) частиц, носящее необратимый пластический характер. С возрастанием нагрузки деформация сдвига может постепенно захватывать крупные массивы грунта, что приводит к разрушению устойчивости грунтовых откосов, а иногда и к разрушению инженерных сооружений. Примеры деформаций, вызываемых сдвигом грунта, приведены на рисунке 8.5.



Условные обозначения: а — сползание откоса насыпки; б — выпирание грунта из-под опоры сооружения; в — нарушение откоса и выпирание грунта из основания подпорной стенки; 1 — поверхность скольжения; 2 — вал выпирания

Рисунок 8.5 — Деформация сдвига грунтов в различных сооружениях

Для ориентировочного представления об угле внутреннего трения песков определяют угол их естественного откоса. Под последним принято понимать тот предельный угол наклона откоса, при котором порода в откосе находится в устойчивом состоянии — не осыпается, не оплывает и т. д.

В лабораторных условиях угол естественного откоса определяют только для песчаных и гравелистых пород. При этом, чем больший объем породы подвергается испытанию, тем точнее получаются результаты. В зависимости от задания угол естественного откоса может определяться для песка, находящегося в воздушно-сухом состоянии, или для песка, помещенного в воду.

8.4.2 Лабораторная работа № 6.2

Определение угла естественного откоса песков

Угол естественного откоса определяют в воздушно-сухом, влажном состояниях и под водой. При изменении влажности песка происходит изменение угла естественного откоса. При малых влажностях угол естественного откоса увеличивается за счет сцепления, при больших влажностях – снижается за счет уменьшения сил трения между частицами.

Для этих исследований необходимо иметь:

- 1) Прибор для определения угла естественного откоса песков УВТ–2 (рисунок 8.6);
- 2) совок, сосуд с водой и резиновую трубку.

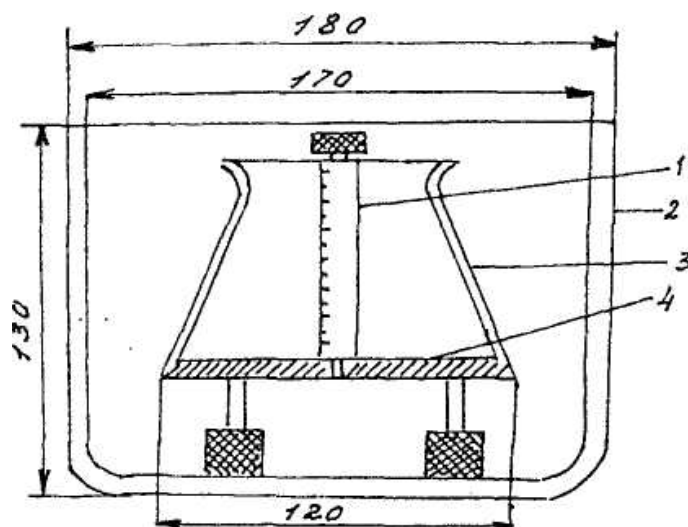


Рисунок 8.6 – Прибор УВТ–2 для определения угла естественного откоса песка

Описание прибора

Прибор состоит из мерительного столика (4), обоймы (3) и резервуара (2). Мерительный столик (4) представляет собой диск с измерительной шкалой (1). Диск перфорированный, диаметр отверстий 0,8-1,0 мм. Шкала укреплена в центре диска и имеет деления от 5 до 45 градусов. Диск устанавливается на трех металлических ножках в резервуар. Резервуар – пластмассовый или стеклянный цилиндр высотой 130 мм и диаметром 180 мм. На мерительном столике установлена металлическая обойма конической формы, которая служит для ограждения насыпаемого на столик песка.

Подготовка пробы

Для опытов берут пробу (образец песка № 2.2) воздушно-сухого песка массой около 600 г.

Последовательность определения

1. На ровную поверхность лабораторного стола устанавливают резервуар, в который помещают мерительный столик. На столик устанавливают

обойму, в которую совком засыпают сухой песок, слегка постукивая по обойме до полного ее заполнения. Затем осторожно снимают обойму и по вершине образовавшегося конуса берут отсчет. Опыт повторяют 2-3 раза.

2. Для определения угла естественного откоса влажного песка после заполнения обоймы песком резервуар наполняют водой через резиновую трубку так, чтобы вода оказалась на уровне диска (мерительного столика). После полного насыщения песка водой (снизу вверх) определяют по шкале угол естественного откоса. Момент полного насыщения песка водой устанавливают по изменению цвета песка. Опыт повторяют 2-3 раза.

3. Угол естественного откоса мокрого песка (под водой) определяют следующим образом. После засыпки песка в обойму резервуар наполняют водой (через резиновую трубку) до половины его высоты. Установив момент полного водонасыщения песка, снимают обойму и по шкале замеряют угол по вершине конуса. Опыт также повторяют 2-3 раза.

4. Допустимые расхождения между повторными определениями (как для сухого песка, так и для мокрого) не должны превышать 1 градуса.

Задание для студентов:

5. Студентам следует самостоятельно определить средние значения угла естественного откоса песка и коэффициента внутреннего трения для сухого песка, влажного и мокрого (песок – образец № 2.2).

6. Сделать выводы и определить зернистость песка (см. таблицу 8.3).

Цифровые данные, полученные в процессе испытаний, записывают в журнал 14 (таблица 8.5), а окончательные результаты заносят в сводную таблицу (таблица 9.1, раздел 9).

Таблица 8.5 – Журнал 14. Оформление расчета угла естественного откоса и коэффициента внутреннего трения

№ варианта	Состояние грунта	Угол естественного откоса – отчет по измерительной шкале L, градусы		Коэффициент внутреннего трения, доли единиц, ($\operatorname{tg}\varphi=f$)		Прибор
		из опыта	средний	из опыта	средний	
1	2	3	4	6	7	8
1	сухой	37°		0,754		УВТ-2
		38°		0,781		
		39°		0,810		
2	влажный	45°		1,000		
		44°		0,966		
		43°		0,933		
3	мокрый	34°		0,675		
		35°		0,700		
		36°		0,727		

8.5 Заключение к лабораторной работе № 6.2

Справочные сведения о величине угла естественного откоса для песков и гравия в различном состоянии приведены в таблице 8.6.

Таблица 8.6 – Величина угла естественного откоса для песков и гравия в различном состоянии

Грунт	Угол естественного откоса, L , градусы
Гравий сухой	$35^\circ - 40^\circ$
Гравий мокрый	25°
Песок сухой	$30^\circ - 35^\circ$
Песок влажный	40°
Песок мокрый	25°

При заполнении пор грунта водой трение между частицами грунтов, особенно глинистых и суглинистых, резко уменьшается. Вода играет роль смазки. Кроме того, тонкие частицы грунта, способные к набуханию, увеличиваясь в объеме, как бы раздвигаются, причем пленки воды, удерживаемые на поверхности грунтовых частиц силами молекулярного притяжения, сглаживают шероховатости отдельных частиц или их микроагрегатов. Поэтому в глинистых грунтах при их увлажнении трение очень мало.

Сцепление, которое обеспечивает связность грунтов, в начальный период развития механики грунтов объяснялось исключительно наличием в тонких порах сил капиллярного давления. При этом считали, что при наличии в грунтах свободной гравитационной воды сцепление в грунтах наименьшее; по мере удаления воды из грунта в нем образуются вогнутые мениски капиллярной воды. Вследствие стягивающего действия менисков частицы грунта сближаются и получают связность.

8.5.1 Упрощенный метод определения угла естественного откоса

Кроме вышеописанного метода определения угла внутреннего трения песков по углу естественного откоса есть наиболее простой способ его определения. Для определения угла естественного откоса необходимо иметь батарейную банку прямоугольной формы размером 10x20x30 см и транспортир или линейку с делениями.

Последовательность определения угла естественного откоса сухого песка

1. В банку прямоугольной формы, поставленную на ребро под углом

45 градусов (рисунок 8.7), насыпают исследуемый песок так, чтобы верхняя его поверхность была горизонтальной.

2. Затем батарейную банку ставят в нормальное положение, т. е. на дно, и оставляют в покое на некоторое время.

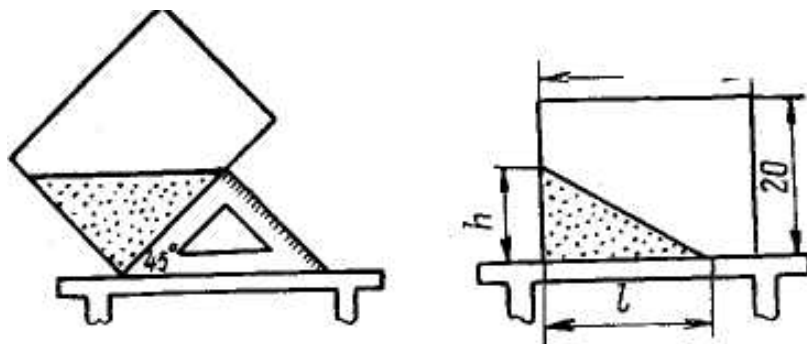


Рисунок 8.7 – Определение угла естественного откоса песчаных пород

3. После прекращения осыпания песка определяют угол естественного откоса при помощи транспортира или путем измерения высоты и длины заложения откоса линейкой и вычисления угла:

$$L \rightarrow \operatorname{tg} \varphi = \frac{h}{l}, \quad (8.15)$$

где L – угол естественного откоса, градусы;
 h – высота откоса, мм;
 l – длина заложения откоса мм;
угол φ определяют по таблице тангенсов.

4. Опыт повторяют не менее трех раз, после чего определяют среднее арифметическое значение угла естественного откоса.

8.5.2 Метод определения угла естественного откоса в полевых условиях

В полевых условиях для определения угла естественного откоса песка (и, следовательно, угла внутреннего трения и коэффициента трения) используется специальный прибор из лаборатории Литвинова.

Конструкция прибора предельно проста. Пластмассовый сосуд прямоугольной формы имеет два отсека с подвижной перегородкой. В меньший отсек засыпают песок, затем поднимают вверх перегородку и песок образует естественный откос. По образующим катетам рассчитывают тангенс угла, а затем определяют и сам угол. Для определения угла удобства пользования естественного откоса на боковых гранях сосуда выгравированы значения углов и соответствующие им тангенсы. Передние стенки сосуда имеют шкалу (размерность шкалы – см).

9 Обобщение результатов лабораторных исследований грунтов

Для классификации грунтов и для оценки их поведения во взаимодействии с сооружением необходимо иметь количественные (цифровые) характеристики, или показатели их свойств, которые получают путем изучения грунтов методами, излагаемыми, в частности, в настоящем пособии.

Цифровые данные, полученные в результате проведения лабораторных работ №№ 1÷6, т.е. окончательные результаты заносят в *сводную таблицу*. Ниже приведена таблица 9.1, которая представляет собой сводную ведомость, с параметрами физико-механических свойств горных пород и с номерами тех лабораторных образцов, по которым были проведены исследования.

Физико-механические показатели свойств грунтов можно подразделить на следующие классы:

1. Классификационные, позволяющие подразделять изучаемые грунты по объективным показателям на определенные классы (минералогический и гранулометрический состав, естественная влажность, плотность, консистенция и др.).

2. Косвенные, позволяющие в первом приближении оценить строительные свойства грунтов (объемная масса, пористость, пластичность, набухание и др.).

3. Прямые расчетные, дающие непосредственное количественное выражение важных в строительном отношении свойств грунтов (объемная масса, коэффициент уплотнения, модуль общей деформации, сцепление, угол внутреннего трения, коэффициент фильтрации и др.).

В настоящем пособии большинство показателей с учетом вышеперечисленной классификации определялись лабораторными методами **на образцах дисперсных грунтов** (не менее 2÷3 определений) в их естественном состоянии, так называемых **монолитах** (при естественной структуре, пористости и влажности). При отборе образцов грунтов для лабораторных исследований их свойств были соблюдены требования государственного стандарта (ГОСТ 12071).

По инженерно-геологической классификации (ГОСТ 25100) горные породы относятся к различным классам:

- 1) магматические (интрузивные) горные породы относятся к скальным грунтам, а магматические (эффузивные) горные породы относятся к полускальным грунтам и составляют первый класс;
- 2) метаморфические горные породы относятся к скальным и полускальным грунтам – первый класс;
- 3) осадочные горные породы могут относиться к скальным, полускальным и нескальным грунтам (дисперсным), последние делятся на связные мягкие и несвязные рыхлые – второй класс.

Дополнительно, для характеристики физико-механических свойств горных пород (грунтов) в таблицах 9.2÷9.4 приведены примеры основных показателей, характеризующие **распространенные горные породы**.

Таблица 9.1 – Сводная ведомость определений физико-механических свойств горных пород (грунтов)

Лабораторный номер	Характеристика грунта	Место взятия пробы		Полевое определение пробы	Влажность	Плотность	Плотность скелета породы		Плотность минеральной части породы	Пористость	Коэффициент пористости, доли единиц	Полная влажность	
		Номер выработки	Глубина взятия пробы, м				естественного сложения	рыхлого сложения				Влагодъемкость (глинистые)	Водоемкость (песчаные)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
3.1	песок ср.зерн.	1	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.1	песок	2	35	-	Ж-3	Ж-1	Ж-4	Ж-2	Ж-4				
2.2	песок мелк.зерн.	3	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.1	глина пылеватая	4	50	-	Ж-3	Ж-1	Ж-4	Ж-2	Ж-4				
1.2	супесь	5	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.3	суглинок	6	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 9.1

Лабораторный номер	Пределы консистенции				Коэффициент водоотдачи, доли единиц	Высота капиллярного поднятия	Коэффициент фильтрации при $T=10^{\circ}\text{C}$	Коэффициент морозного пучения	Процент распада грунта	Влажность набухания	Величина набухания	Предел усадки
	Предел текучести	Предел пластичности	Число пластичности	Консистенция (показатель текучести), доли единиц								
	W_T , %	W_p , %	I_p , %	$B(I_p) = \frac{W - W_p}{(W_T - W_p)}$								
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
3.1	-	-	-	-	-	-	Ж - 6	-	-	-	-	-
2.1	-	-	-	-	Ж-4	-	-	-	-	-	-	-
2.2	-	-	-	-	-	Ж-5	-	Ж-7	-	-	-	-
1.1	Журнал-3				-	-	-	-	-	Ж-9		Ж-10
1.2	-	-	-	-	-	-	-	Ж-7	Ж-8	-	-	-
1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 9.1

Лабораторный номер	Величина усадки	Линейная деформация образца	Относительная деформация образца	Коэффициент сжимаемости (расчет), 1/кг/см ²	Модуль общей деформации (расчет), кг/см ²	Угол внутреннего трения, градусы	Удельное сцепление	Угол естественного откоса			Примечание
	V _y , %	Δh, мм	e _o = Δh/h	a, см ² /кг	E _o = δ/e _o	φ	C, кг/см ²	L, градусы			
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	хорошо водопроницаемый
2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	пески рыхлого сложения
2.2	-	-	-	-	-	-	-	Ж-14			песок мелкозернистый, непучинистый грунт
1.1	Ж-10	Ж-11	Ж-12			-	-	-	-	-	мягкопластичная, средне-сжимаемая
1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	малопучинистый грунт
1.3	-	-	-	-	-	Ж-13		-	-	-	прочность структурных связей, P _e = кг/см ²

Магматические горные породы обычно очень прочные, для них характерно наличие жестких кристаллических связей между частицами. Под воздействием веса сооружений они заметно не деформируются, в воде практически нерастворимы. Однако эти породы всегда разбиты трещинами, что несколько снижает их физико-механические свойства, особенно при оценке этих пород при карьерной разработке полезных ископаемых и для гидротехнического строительства. Как основание различных сооружений невыветрелые или слабыветрелые магматические породы очень устойчивы (таблица 9.2).

Таблица 9.2 – Примеры основных показателей физико-механических свойств грунтов первого класса (магматические горные породы)

Количество	Показатели	Обозначение	Значение	Порода
1	2	3	4	5
1	Коэффициент размягчаемости	K_{saf}	0,75÷0,9	Магматические (практически не размягчаемые)
2	Степень выветрелости	K_{wr}	1 1÷0,9 0,9÷0,8 <0,8	Магматические - монолиты Слабыветрелые (трещинные) - глыбы Выветрелые (обломки) Сильновыветрелые (рухляки)
3	Временное сопротивление одноосному сжатию	R_c	>120 МПа 120÷50 50÷15 15÷5 <5	Очень прочные (до 500 МПа) Прочные Средней прочности Мало прочные Полускальные
4	Коэффициент крепости	$K_{кр}$	$(R/300 + \sqrt{R/300})$	Есть 10 категорий крепости магматических горных пород
5	Плотность	ρ	3,2 г/см ³ 2,62÷2,65 г/см ³ 2,29 г/см ³	Габбро Гранит Гранит в зоне выветрелости
6	Пористость	n	1÷3% 10÷20% 24%	Обычно принятая величина Повышенная трещиноватость Эффузивные породы - базальт
7	Водопроницаемость	K_f	0.01 < 10 10÷40 м/сут 100 м/сут	Монолитные Трещиноватые (диабазы, габбро) Сильно трещиноватые (базальты)
8	Водопоглощение	W_n	0,5÷1% до 4%	Интрузивные Эффузивные (базальты)

Метаморфические горные породы и **осадочные** породы (из класса полускальных) обладают менее удовлетворительными физико-механическими свойствами по сравнению с магматическими. При оценке этих пород как оснований сооружений они более надежны. Только наличие сланцеватости, трещиноватости и раздробленности, обусловленные тектоническими процессами и выветриванием, вынуждает более критично оценивать эти породы при воздействии на них различных сооружений (в частности, гидротехнических) (таблица 9.3).

Таблица 9.3 – Примеры основных показателей физико-механических свойств скальных грунтов первого класса (метаморфические горные породы)

Количество	Показатели	Обозначение	Значение	Порода
1	2	3	4	5
1	Плотность	ρ	2,7÷2,84 г/см ³	Мрамор (состоит из 90% кальцита)
2	Пористость	n	0,3÷2,0%	
3	Водопоглощение	W_n	0,12÷0,9%	
4	Коэффициент размягчаемости	K_{saf}	0,76÷0,99	
5	Морозостойкость		Марка 0,9	
6	Временное сопротивление сжатию	R_c	40÷180 МПа	
7	Морозостойкость		Марка 0,9	
8	Срок эксплуатации		100÷1200 лет	
9	Плотность	ρ	2,95÷3,1 г/см ³	Кварцит
10	Пористость	n	0,5÷0,7%	
11	Водопоглощение	W_n	0,1÷0,35%	
12	Временное сопротивление сжатию	R_c	350 МПа	
13	Срок эксплуатации		475÷1625 лет	

Примечание – Краткая генетическая и инженерно-геологическая характеристика основных типов скальных грунтов: – очень плотные; массивные; невлагоемкие; нерастворимые; морозоустойчивые. Твердость (истираемость) скальной породы определяется твердостью наиболее твердого минерала, входящего в ее состав. Породы водопроницаемые по трещинам; высокой крепости и прочности; практически несжимаемые; изотропные или анизотропные.

Осадочные горные породы, слагающие верхнюю зону литосферы. Они подразделяются на три генетические группы: морские, лагунные и континентальные. Внутри этих групп по ряду признаков и по совокупности физико-механических свойств выделяют многочисленные типы, подтипы, разновидности и т.п. В частности, важной особенностью обломочных осадочных горных пород является то, что они состоят из твердых минеральных частиц и пор, которые заполнены поровым раствором и воздухом. Поровый раствор представляет собой воду, присутствующую в порах грунтов, в которой всегда содержатся в электролитически-диссоциированном виде катионы и анионы. Таким образом, рыхлые грунты состоят их твердой, жидкой и газообразной фаз, включая растворенные вещества. В данных природных условиях количество твердых частиц (минеральной части) в грунтах неизменно, а соотношение между воздухом и поровым раствором во времени может изменяться, соответственно изменяются и свойства пород, особенно **глинистых**. В глинистых осадках с момента их образования протекают сложные диагенетические процессы, обусловленные взаимодействием различных факторов – механического уплотнения, химических, физико-химических и биохимических процессов, в совокупности обуславливающие литификацию осадка и превращения его в породу. В результате диагенетических процессов прочность глинистых пород увеличивается. Примеры основных показателей физико-механических свойств полускальных грунтов первого класса и дисперсных (нескальных) грунтов второго класса по осадочным горным породам четырех видов приведены в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Примеры основных показателей физико-механических свойств полускальных грунтов первого класса и дисперсных грунтов второго класса (осадочные горные породы)

Количество	Показатели	Обозначение	Значение	Порода
1	2	3	4	5
1. Обломочные породы				
1	Коэффициент округлости, где: r - радиус кривизны проекции зерна, R - радиус максимальный	P = r/R	0,15 0,15÷0,3 0,3÷0,5 0,5÷0,7 0,7÷1	Остроугольные Угловатые Полукруглые Окатанные Совершенно окатанные
2	Угол внутреннего трения	φ	7÷19° 32°	Кварцевые пески
3	Угол естественного откоса Угол внутреннего трения	L φ	L/φ	0,53÷0,94

Продолжение таблицы 9.4

1	2	3	4	5
4	Коэффициент бокового распора (коэффициент Пуассона)	μ	0,25÷0,37 0,2÷0,29	Рыхлые (песчаные) породы Сцементированный песчаник
5	Плотность	ρ	2,5÷2,6 г/см ³ 1,6÷3,0	Песчаники Конгломераты, брекчии
6	Пористость	n	24÷28 %	
7	Водопроницаемость	K_f	от 50÷100 м/сут до 1000 м/сут	Высокая
8	Модуль сдвига	G	(7÷260) • 10 ¹⁰ Н/м ²	
9	Временное сопротивление одноосному сжатию	R_c	(1470÷2000) • 10 ⁵ Н/м ²	
2. Хомогенные породы				
1	Плотность	ρ	2,09÷2,69 г/см ³ 2,78 г/см ³	Каменная соль, Ангидрит
2	Пористость	n	5,0÷4,9 % 0,8÷35%	Каменная соль, Ангидрит
3	Влажность	W	0,28 % 0,43 %	Каменная соль, Ангидрит
4	Временное сопротивление растяжению	R_p	14,5 • 10 ⁵ Н/м ²	Каменная соль (полностью растворяется в воде)
5	Временное сопротивление сжатию	R_c	2,75 • 10 ⁵ Н/м ²	
6	Коэффициент бокового распора (коэффициент Пуассона)	μ	0,28	
7	Модуль сдвига	G	1,09 • 10 ¹⁰ Н/м ²	
8	Модуль упругости	E_y	2,87 • 10 ¹⁰ Н/м ²	
9	Модуль сжатия	$K_{вст}$	2,35 • 10 ¹⁰ Н/м ²	
10	Плотность	ρ	2,78 г/см ³	Доломиты, известняки
11	Пористость	n	0,8÷35,0 %	
12	Прочность на сжатие	R_c	до 160 МПа	

Продолжение таблицы 9.4

1	2	3	4	5
3. Биогенные породы				
1	Пористость	n	30÷54 %	Мел
2	Временное сопротивление сжатию	R_c	15 МПа	
3	Пористость	n	60÷70 %	Диатомит
4	Прочность в водонасыщенном состоянии	R_c	0,1 МПа	
5	Прочность в сухом состоянии	R_c	4÷5 МПа	
4. Смешанные осадочные породы				
1	Плотность	ρ	2,75÷2,79 г/см ³	Глины
2	Пористость	n	1,0÷4,0 %	
3	Прочность на сжатие	R_c	до 10 МПа	
4	Число пластичности	I_p	более 17 %	
5	Плотность	ρ	2,72÷2,74 г/см ³	Суглинки
6	Пористость	n	12,0÷13,0 %	
7	Число пластичности	I_p	7÷16 %	
8	Коэффициент фильтрации	K_ф	не более 0,05 м/сут	
9	Плотность	ρ	2,65 г/см ³	Супеси
10	Пористость	n	16,0÷20,0 %	
11	Число пластичности	I_p	1÷7 %	
12	Коэффициент фильтрации	K_ф	0,1÷0,5 м/сут	
13	Пористость	n	до 50,0 %	Мергель
14	Прочность на сжатие	R_c	6÷7 МПа, до 30 МПа	
15	Пористость	n	45÷65 %	Опока
16	Временное сопротивление сжатию	R_c	2,5÷3,5 МПа	

Примечания

1 Краткая генетическая и инженерно-геологическая характеристика основных типов полускальных грунтов – плотные; массивные; иногда мелкопористые; невлагоемкие или слабовлагоемкие. Породы водопроницаемые по трещинам; высокой или средней прочности; слабосжимаемые; часто изотропны. За исключением каменной соли, гипса и известняков – другие грунты нерастворимые.

2 Краткая генетическая и инженерно-геологическая характеристика основных типов (нескальных) дисперсных грунтов:

- виды глинистых и лессовых грунтов - пористые или сильнопористые; влагоемкие и очень влагоемкие; нерастворимые; водоупорные или слабоводопроницаемые; низкой крепости и прочности; сжимаемые или сильносжимаемые; подвержены усадкам и пучению, просадочности (лессы) и размоканию (лессы, супеси);
- виды крупнообломочных и песчаных грунтов - пористые; невлагоемкие; водопроницаемые и сильноводопроницаемые; практически нерастворимые; низкой крепости и прочности; слабосжимаемые при статических нагрузках и сильно уплотняемые при динамических воздействиях; подвержены разжижению и образованию плывунов.

Вывод:

Всем горным породам присуще равновесное состояние между составляющими их твердыми частицами, воздухом и поровым раствором, т.е. **фазовое равновесие**. Под влиянием природных и искусственных факторов это равновесие нарушается, соответственно изменяются и свойства горных пород.

Породы, находясь в верхней зоне литосферы, подвергаются воздействию многочисленных факторов. Важнейшим из этих факторов является выветривание – совокупность процессов физического и химического разрушения горных пород, изменяющих их вещественный состав и физико-механические свойства. Образующаяся выветреловая зона мощностью от нескольких метров до 10÷15 м и более при строительстве различных сооружений должна быть выявлена и изучена.

При инженерно-геологической оценке изучаемых участков существенное значение имеют **условия залегания** горных пород (форма залега, мощность и протяженность пластов, соотношение пород друг с другом, тектоническая нарушенность и т.п).

Необходимо учитывать также **текстурные и структурные особенности** горных пород.

Наибольшее значение текстура (неоднородность породы в пласте) имеет при инженерно-геологической оценке осадочных пород, т.к. текстурные особенности этих пород могут обусловить явления оползания откосов искусственных выемок, неравномерную сжимаемость пород в основании сооружений, проявление механической суффозии и другие нежелательные процессы, отрицательно влияющие на сооружение.

Строение горных пород (структура слагающих породу частиц) предполагает наличие внутренних структурных связей. Структурные связи в грунтах определяют способность сохранять равновесное состояние в данных природных условиях и сопротивляться внешним воздействиям. В разных породах структурные связи имеют неодинаковый характер, что обуславливает различные их механические свойства. Наиболее сложные структурные связи присущи глинистым, или связным, грунтам (супесям, суглинкам, глинам), наиболее распространенным на земной поверхности.

10 Контрольные вопросы для самопроверки дисциплины

10.1 Введение, основные понятия

1. Положение гидрогеологии в науке о Земле.
2. Положение инженерной геологии в науке о Земле.
3. Основные разделы инженерной геологии.
4. Основные разделы гидрогеологии.
5. Методы, используемые в гидрогеологии и инженерной геологии.
6. Основная технологическая последовательность проектирования сооружений.
7. Связь гидрогеологии и инженерной геологии с другими науками.
8. Что такое слой (пласт)? Элементы пласта.
9. Что такое дислокации? Виды дислокаций.
10. Какое значение имеет возраст породы для строительства?
11. Какой геологический период продолжается и поныне?
12. Сколько эпох оледенения было выделено в четвертичный период?
13. Что такое фация?

10.2 Основы гидрогеологии. Вода в природе и в горных породах

1. Где сосредоточена основная масса подземных и поверхностных вод?
2. Общий круговорот воды в природе. Поверхностный и подземный сток.
3. Приведите уравнения водного баланса.
4. Что такое область питания, область разгрузки, сток подземных вод?
5. Что такое гидрогеологическая система (ГГС)?
6. Что такое ГГС элемент?
7. Что такое геологическая среда.
8. Чем отличается инфильтрационное движение воды от фильтрационного потока?
9. Испарение (мм/год) – это – продолжить.
10. Испаряемость – это – продолжить.
11. Поверхностный и подземный стоки – это – продолжить.
12. Дайте определение понятий «водоносный горизонт», «водоупорный горизонт», «комплекс».
13. Какие воды называются подземными?
14. Подземные воды залегают в земной коре – продолжить.
15. Гипотезы происхождения подземных вод – раскрыть.
16. Назовите виды воды в горных породах.
17. Вода в виде пара. Какова ее масса от всей массы грунта?
18. Связанная вода. Ее деление. В каких породах ее много. Ее подвижность. Ее влияние на прочность грунтов (каких).

19. Свободная вода. Где она преимущественно находится. Чем обусловлено ее движение. Ее влияние на прочность грунтов (каких грунтов?).

10.3 Физические и химические свойства и состав подземных вод

1. Особенности строения молекул воды, структура газообразной, жидкой и твердой фазы воды.
2. Физические свойства подземной воды.
3. Химическая классификация подземных вод.
4. Химический состав подземных вод и формы его выражения. Агрессивность и жесткость подземных вод.
5. Основные химические компоненты подземных вод. Формула Курлова.
6. Графические методы систематизации химического анализа подземных вод.
7. Требования к качеству подземных вод.
8. Факторы, определяющие кислотно-щелочные свойства природных вод.
9. Главные особенности распределения химических элементов в подземной гидросфере, в морских водах и в земной коре.
10. Какие ионы обычно присутствуют в подземной воде?
11. Виды жесткости подземной воды.
12. Основные ионы (экв/л), определяющие жесткость подземной воды:

10.4 Классификации подземных вод. Типы подземных вод

1. Типы подземных вод (по А.М.Овчинникову). Классификация подземных вод по условиям залегания
2. Особые типы подземных вод (карстовые воды, трещинные воды и мерзлые воды).
3. Воды зоны аэрации: условия залегания, распространения, питания и разгрузки.
4. Движение подземных вод в зоне аэрации.
5. Грунтовые воды: условия залегания, распространения, питания и разгрузки.
6. Карты гидроизогипс. Их построение и анализ.
7. Типы и зональность грунтовых вод.
8. Межпластовые подземные воды. Основные типы межпластовых подземных вод по характеру формирования и режиму (напорные и безнапорные воды).
9. Охарактеризуйте движение подземных вод в зоне полного водонасыщения.
10. Артезианские воды: условия залегания, распространения, питания и разгрузки. Элементы артезианских бассейнов. Карты гидроизопьез.

11. Почему вода в артезианском бассейне находится под напором?
12. Как строятся карты изопьез?

10.5 Основные законы движения подземных вод

1. Гидродинамика изучает – продолжить.
2. Дайте определение понятиям водопроницаемость и фильтрация.
3. Понятие напора. Обобщенный напор. Поверхность постоянного напора.
4. Основные гидрогеодинамические характеристики. Коэффициент проницаемости и коэффициент фильтрации. Плоская задача фильтрации.
5. Закон движения подземных вод. Ламинарное и турбулентное движение. Формула Дарси. Как отличаются ламинарное и турбулентное движение подземных вод?
6. Что такое коэффициент фильтрации (K_f) и скорость фильтрации? Что такое напорный градиент?
7. Верхний и нижний пределы применимости закона Дарси – что это такое?
8. Методы определения коэффициента фильтрации (K_f).
9. Приток воды к горизонтальным выработкам и водозаборным сооружениям. Виды и типы сооружений (канавы, колодцы, скважины, галереи и пр.). Назовите, как отличаются водозаборы по характеру вскрытия.
10. Дать характеристику элементам фильтрационного потока: напор, напорный градиент, мощность, линии тока, линии равного напора, скорость, расход.
11. Линии токов – это – продолжить.
12. Гидродинамическая сетка потока грунтовых вод – это – продолжить.
13. Режим потока подземных вод.
14. Определение расхода потока подземных вод в однородном водоносном горизонте при горизонтальном залегании водоупора.
15. Приток воды к совершенной скважине в напорном горизонте. Как определить расход потока напорных вод.
16. Приток воды к совершенной скважине в безнапорном горизонте. Как определить расход потока ненапорных вод.
17. Как рассчитать приток подземных вод к водозабору – к совершенной дренажной канаве и к несовершенному колодцу?
18. Понятия: абсолютная отметка, глубина залегания. Понятия: статический уровень, динамический уровень. Понятия: пьезометрический уровень и уровень грунтовых вод.
19. Понижение уровня подземных вод. Что такое дренаж? Названия, виды дренажных сооружений.

20. Как образуется депрессионная воронка и что такое радиус влияния дренажного сооружения?
21. Понижение уровня подземных вод. Дать определение понятиям: воронка депрессии, радиус депрессии. Как отличаются воронки депрессии?
22. Классификация ресурсов (запасов) подземных вод водоносной системы (месторождения) вне связи с эксплуатацией. Краткая характеристика. Определение, подразделения.
23. Эксплуатационные ресурсы подземных вод по категориям. Их отличительные особенности. Краткая характеристика.
24. Балансовые и забалансовые запасы подземных вод.

10.6 Основы инженерной геологии. Минералы и горные породы

1. Инженерная геология изучает – продолжить.
2. Что такое «минерал»?
3. Строение минералов. Классификация минералов.
4. Химический состав минералов.
5. Основные свойства минералов.
6. Назовите важнейшие породообразующие минералы.
7. Процентное содержание кварца в природе?
8. Какие минералы растворяются в воде?
9. Что такое «горная порода»?
10. Классификация магматических горных пород по генезису:
11. Классификация магматических горных пород по содержанию кремнезема.
12. Самая прочная горная порода – продолжить.
13. Что такое структура и текстура горной породы?
14. Самая прочная природная цементация – продолжить.
15. Классификация осадочных горных пород.
16. Мономинеральные осадочных горных пород – перечислить.
17. Виды обломочных осадочных горных пород – перечислить.
18. Структуры обломочных осадочных горных пород по размеру обломков – перечислить.
19. Классификация обломочных осадочных горных пород по размеру обломков – перечислить.
20. Структура глинистых пород – назвать.
21. Виды хемогенных осадочных горных пород – перечислить.
22. Виды органогенных осадочных горных пород – перечислить.
23. Виды осадочных горных пород смешанного происхождения – перечислить.
24. В воде растворяются горные породы – назвать основные.
25. К водопроницаемым горным породам относятся – назвать основные.

26. К водонепроницаемым (водоупорным) горным породам относятся – назвать основные.
27. Какие породы сильно увеличивают свой объем при контакте с водой – назвать основные.
28. Вода в горных породах (грунтах) бывает (формы связей воды в грунтах) – перечислить.
29. Вводно-физические свойства горных пород. Дайте определение понятиям: водоустойчивость, влагоемкость, водопроницаемость, капиллярное поднятие, водоотдача, водопоглощение, водонасыщение.
30. Физические свойства горных пород. Дайте определение понятиям: пористость, плотность, влажность.
31. Назовите инженерно-геологические особенности магматических и метаморфических горных пород.
32. Назовите генетические группы осадочных пород и дайте характеристики их физико-механических свойств.

10.7 Массивы горных пород

1. Что такое «массив» горных пород, и каковы его особенности?
2. Массив горных пород как объект инженерно-геологического исследования.
3. Назовите факторы, определяющие поведение массива горных пород при взаимодействии с инженерными сооружениями.
4. Трещиноватость массивов горных пород: классификация трещин, оценка трещиноватости, меры борьбы.
5. Назовите основные виды трещин. Показатель трещинной пустотности (количественная оценка) – определение. Классификационная схема трещиноватости пород (степень трещиноватости, показатель трещинной пустотности, характеристика трещин).
6. Каковы меры борьбы с трещиноватостью горных пород при строительстве?
7. Какими факторами определяется структура массива ГП?
8. Как оценивается напряженное состояние ГП в массиве?

10.8 Основы грунтоведения и инженерной петрологии

1. Грунтоведение изучает – продолжить.
2. Грунты – это – продолжить.
3. Каково различие между «грунтом» и «горной породой»?
4. Строение грунтов. Структурный элемент. Влияние морфологии и количественного соотношения структурных элементов на свойства грунтов.
5. Структурные связи в грунтах. Теория контактных взаимодействий.

6. Виды инженерно-геологических классификаций грунтов (горных пород).
7. Класс природных скальных грунтов: состав, строение, свойства.
8. Несвязные грунты: состав, строение, свойства.
9. Связные грунты: состав, строение, свойства.
10. Физические свойства грунтов. Показатели физических свойств грунтов. Методы их определения.
11. Плотность грунтов, основные показатели плотностей.
12. Водно-физические свойства глинистых грунтов: размокание, набухание, усадка, липкость. Число пластичности. Консистенция.
13. Особые свойства глинистых пород.
14. Как определяется пористость, если: V – весь объем образца породы, V_s – объем скелета породы, V_p – объем пор породы.
15. Как определяется плотность образца естественного сложения (г/см^3), если: g – масса, g_s – масса скелета породы (г), V – объем (см^3).
16. По какой формуле определяется влажность образца естественного сложения (%), при плотности скелета = ρ_d (г/см^3): где: g – масса, p – плотность, W – влажность, W_p – полная влагоемкость.
17. По какой формуле определяется влажность образца естественного сложения в лаборатории, после его высушивания в термостате, если: g – масса породы, g_0 – масса сухой породы (г).
18. Какие пески имеют наибольшую высоту капиллярного поднятия. Укажите по порядку, в каких песках высота поднятия выше: грубозернистый, среднезернистый, тонкозернистый:
19. Какие пески имеют сцепление равное нулю:
20. Какие породы распадаются (размокают) в воде?
21. Методы определения коэффициента фильтрации - K_f (м/сут) – перечислить.
22. Физико-химические свойства грунтов. Тиксотропия.
23. Механические свойства грунтов. Общее представление, показатели деформационных и прочностных свойств.
24. Компрессионные испытания грунтов: определение коэффициента сжимаемости (a), модуля общей деформации (E_0), относительной деформации (e), модуля осадки (I_p). Построение компрессионных кривых.
25. Сжимаемость грунтов. Общие положения.
26. Зависимость между нормальным давлением и коэффициентом пористости грунта.
27. Определение модуля деформации грунта по данным лабораторных и полевых испытаний.
28. Лабораторные и полевые методы оценки сопротивления грунта сдвигу. Нормативные и расчетные характеристики грунтов.
29. Определение сопротивления грунтов сдвигу. Приборы. Построение графиков.

30. Прочность и устойчивость грунтового массива. Критические нагрузки на грунт. Начальная критическая нагрузка. Предельная нагрузка.
31. Что такое сопротивление грунта сдвигу? Формула Кулона.
32. Устойчивость откосов. Устойчивость откоса идеально сыпучего грунта. Устойчивость откоса идеально связного грунта.
33. Как и для чего определяют временное сопротивление сжатию (одноосному раздавливанию) образцов скальных пород и глинистых грунтов твердой и полутвердой консистенции?
34. Чем обусловлена прочность различных грунтов: скальных, крупнообломочных, песчаных и глинистых, какими характеристиками она определяется?

10.9 Основы инженерной геодинамики

1. Что изучает инженерная геодинамика?
2. Геологические и инженерно-геологические процессы: основные понятия и классификации.
3. Что подразумевают под антропогенными (инженерно-геологические) процессами.
4. Факторы, определяющие развитие геологических и инженерно-геологических процессов и связанных с ними явлениями.
5. Выветривание – тип процесса. Группы климатических условий выветривания. Типы выветривания.
6. Каковы основные факторы выветривания и чем представлены зоны коры выветривания полного профиля?
7. Что такое элювий, делювий, пролювий, коллювий, аллювий? Их инженерно-геологические особенности. Степень выветроленности.
8. Эрозионные явления (подмыв и разрушение берегов рек, русловые процессы, овражная эрозия): факторы, определяющие эрозионную деятельность, прогноз и количественная оценка, противоэрозионные мероприятия.
9. Селевые явления: факторы формирования, прогноз, защита от селевых явлений.
10. Болота и заболоченные территории: условия формирования, строение болот, строительство сооружений на болотах и заболоченных территориях.
11. Подтопление: классификация подтопленных участков, факторы формирования подтопления, прогноз, хозяйственное освоение подтопленных территорий.
12. Карст: факторы формирования, прогноз и оценка закарстованности, проектирование и строительство сооружений в карстовых районах.
13. Пылуны: природа пылуности пылунов, условия строительства на участках распространения пылунов.

14. Суффозия: факторы формирования, прогноз, противосуффозионные мероприятия.
15. Оползни: факторы формирования, прогноз и оценка оползневого процесса, противооползневые мероприятия.
16. Обвалы и осыпи: факторы формирования, прогноз и оценка, мероприятия по борьбе с обвалами и осыпями.
17. Напряженное состояние горных пород. Горное давление.
18. Сейсмические явления: причины землетрясений, оценка силы землетрясений, сейсмическое микрорайонирование, строительство в сейсмических районах.
19. Просадочность грунтов. Какие породы обладают просадочностью?
20. Процессы и явления связанные с многолетней мерзлотой: морозное пучение, бугры пучения, термокарст, наледи, каменные реки и курумы. Инженерно-геологическая оценка многолетнемерзлых пород. Криолитозона.

10.10 Гидрогеологические и инженерные исследования

1. Методы инженерно-геологического опробования и последовательность опробования.
2. Методы проведения полевых работ при гидрогеологической и инженерно-геологической съемке.
3. Стадийность гидрогеологических и инженерно-геологических исследований МПИ.
4. Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования при геологической съемке и поиске МПИ.
5. Основные виды гидрогеологических исследований: гидрогеологическая съемка, горные и буровые работы, опытно-фильтрационные работы, лабораторные исследования.
6. Виды гидрогеологических карт территорий при съеме.
7. Гидродинамический метод оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод.
8. Особенности составления гидрогеологических разрезов.
9. Условные обозначения родников, колодцев, скважин на гидрогеологических картах.
10. Особенности отражения химического состава ПВ на картах и разрезах.
11. Понятие об инженерно-геологических условиях, влияние геологических и инженерно-геологических процессов на оценку инженерно-геологических условий.
12. Критерии оценки инженерно-геологических условий территорий.
13. Виды оценки инженерно-геологических условий территорий.
14. Что выводят по результату гидрогеологических и инженерно-геологических исследований МПИ.

Список использованных источников

1. **Ломтадзе, В.Д.** Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: учебное пособие для вузов/ В.Д. Ломтадзе. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Л.: Недра, 1990. – 328 с: ил.
2. **Бирюков, Н.С.** Методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов: учебное пособие для вузов/ Н.С. Бирюков, В.Д. Казарновский, Ю.Л. Мотылев. – М.: Недра, 1975. – 176 с: ил.
3. **Малкина, Г.С.** Исследование грунтов для дорожного строительства: учебное пособие для вузов/ Г.С. Малкина. – Оренбург: ОГУ, 1998. – 130 с: ил.
4. **Ломтадзе, В.Д.** Инженерная геология. Инженерная петрология: учебник для вузов/ В.Д. Ломтадзе. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Л.: Недра, 1984. – 511 с: ил.
5. **Сергеев, Е.М.** Инженерная геология: учебник для вузов/ Е.М. Сергеев. – М.: Издательство МГУ, 1982 – 247 с: ил.
6. **Сергеев, Е.М.** Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Полевые методы: учебное пособие для вузов: в 2 т. Т.1/ Е.М. Сергеев. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Недра, 1984. – 423 с: ил.
7. **Гавич, И.К.,** Сборник задач по общей гидрогеологии: учебное пособие для вузов/ И.К. Гавич, А.А. Лучшева, С.М. Семенова-Ерофеева. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Недра, 1985. – 412 с: ил.
8. **Седенко, М.В.** Основы гидрогеологии и инженерной геология. учебник для техникумов/ М.В. Седенко. – 3-е изд., перераб. и дополн. – М.: Недра, 1979. – 200 с: ил.
9. **Скабалланович, И.А.** Гидрогеология, инженерная геология и осушение месторождений: учебник для техникумов/ И.А. Скабалланович, М.В. Седенко. – 4-е изд., перераб. и дополн. – М.: Недра, 1980. – 205 с: ил.
10. **Гальперин, А.М.** Гидрогеология и инженерная геология: учебник для вузов/ А.М. Гальперин, В.С. Зайцев, Ю.А. Норватов. – М.: Недра, 1989. – 383 с: ил.
11. **Панюков, П.Н.** Инженерная геология: учебник для вузов/ П.Н. Панюков. – М.: Недра, 1978. – 295 с: ил.
12. **Цытович, Н.А.** Механика грунтов: учебник для вузов/ Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1983. – 287 с: ил.
13. **Климентов, П.П.** Методика гидрогеологических исследований: учебное пособие для вузов/ П.П. Климентов, В.М. Кононов. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Высшая школа, 1989. – 448 с: ил.
14. **Климентов, П.П.** Общая гидрогеология: учебник для вузов/ П.П. Климентов, Г.Я. Богданов. – М.: Недра, 1977. – 357 с: ил.
15. **Ананьев, В.П.** Инженерная геология и гидрогеология: учебник для вузов/ В.П. Ананьев, Л.В. Передельский. – М.: Высшая школа, 1980 – 272 с: ил.

16. **Чаповский, Е.Е.** Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов: учебное пособие для вузов/ Е. Е. Чаповский. – 4-е изд., перераб. и дополн. – М.: Недра, 1975. – 303 с: ил.

17. **Малкина, Г.С.** Методические указания к лабораторным работам по инженерному грунтоведению для студентов строительных специальностей/ Г.С. Малкина. – Оренбург: ОПИ, 1983. – 92 с: ил.

18. Справочное руководство гидрогеолога: в 2 т. Т.1/ под ред. В.М. Максимова. – 3-е изд., перераб. и дополн. – Л.: Недра, 1979. – 512 с: ил.

19. **Маккавеев, А.А.** Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии/ А.А. Маккавеев. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1961. – 186 с.

Нормативная литература

20. **ГОСТ 24143-80.** Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки: введен с 01.07.81. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 20 с.

21. **ГОСТ 5180-84.** Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: введен с 01.01.85. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 27 с.

22. **ГОСТ 12071-84.** Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов: введен с 01.07.85 взамен ГОСТ 12071-72. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 11 с.

23. **ГОСТ 25584-90.** Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации: введен с 01.07.91. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 27 с.

24. **ГОСТ 25100-95.** Грунты. Классификация: введен с 01.07.96. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 35 с.

25. **ГОСТ 30416-96.** Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения: введен с 01.01.97. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 22 с.

26. **ГОСТ 12248-96.** Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости: введен с 01.01.97 взамен ГОСТ 12248-78, ГОСТ 17245-79, ГОСТ 23908-79, ГОСТ 24586-90, ГОСТ 25585-83, ГОСТ 26518-85. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 76 с.

лабы						задачи				
Статистика			Авторские листы	Не учитывает			Статистика			Авторские листы
титул	8695			1	формулы		титул	12774		
вв	5393			2	рисунки		вв			
1. и 2	13414						1	101488		
2	5723						2	75052		
3	44270						3	49731		
4	12831						4	75783		
4	29950						5	120451		
4	8956						6	58231		
5	7202						л	4660		
5	18291						А	40269		
6	2406						Б	32293		
7	29772						В	37317		
8	21482						Г	20972		
8	12109						Д	12562		
9	14565									
10	15629									
л	4189									
	254877	40000	6,4					641583	40000	16,0