

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПР

\_\_\_\_\_ А.Ю. Дмитриев

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2014 г.

**ОБЩАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

Лабораторный практикум

для студентов очной и заочной форм обучения  
для направления 020700 «Геология»

Томск 2014

УДК 624.131

**ОБЩАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ.** Лабораторный практикум для студентов очной и заочной форм обучения для направления 020700 «Геология» Томск, 2014 – 55 с.

РАССМОТРЕНО И ОДОБРЕНО на заседании обеспечивающей и выпускающей кафедры ГИГЭ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_

Разработчик доц. каф. ГИГЭ, к.г.-м.н  
Рецензент, доцент каф. ГИГЭ, к.г.-м.н.

О.Ф. Зятева  
Т.Я. Емельянова

Зав. обеспечивающей и выпускающей кафедры ГИГЭ  
профессор, д.г.-м.н.

Л.А.Строкова

## **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторный практикум по дисциплине «Общая инженерная геология» составлен в соответствии с Государственным образовательным стандартом на основе существующих стандартов и правил, методических указаний и включает задания по основным направлениям инженерной геологии.

В результате выполнения практических заданий студенты закрепляют теоретические знания и приобретают практические навыки инженерно-геологической оценки свойств горных пород и грунтов, составления инженерно-геологических классификаций процессов и явлений и выявления геодинамической обстановки, а также знакомятся с основами инженерно-геологического картирования.

## **ТЕМЫ ЗАДАНИЙ**

### **Тема 1. Визуальное описание глинистых грунтов и классификационных показателей**

**Цель.** Ознакомиться с методами и методикой описания песчаных и глинистых грунтов в полевых условиях

**Задание.**

1. Освоить на характерных образцах основные признаки для визуального определения в поле разновидности глинистых грунтов (табл. 1).
2. Освоить основные признаки для визуального определения консистенции глинистых грунтов и влажности песчаных грунтов, типов и подтипов лессовых пород (табл. 2, 3, 4, 5).
3. Составить подробное описание 3 образцов глинистого (лессового) грунта с определением всех необходимых классификационных показателей.
4. Письменно ответить на контрольные вопросы.

**Последовательность описания следующая:**

1. Название породы (глина, суглинок, супесь, песок и т.д.).
2. Минеральный состав.
3. Цвет.
4. Гранулометрический состав (размер и форма зерен).
5. Размер пор и их расположение; наличие макропор.
6. Содержание органических веществ и их распределение.
7. Тектурные особенности.
8. Включения (форма, состав, размер, характер распределения).
9. Влажность и консистенция.

**Примеры.**

1. Глина каолиновая белая однородная тугопластичная.
2. Суглинок лессовидный палевый макропористый с отдельными порами до 1–2 мм с примазками органического вещества и включением растительных остатков с тонким вкраплением карбонатов мягкопластичный.
3. Супесь бурая ожелезненная текучая.

4. Песок кварцево-полевошпатовый бурый мелкозернистый влажный.

### Контрольные вопросы.

1. Перечислить основные признаки, предложенные И.Н. Филатовым для определения разновидностей глинистых грунтов.
2. В каком состоянии (консистенции) в природных условиях встречается супесь?
3. В каком состоянии (консистенции) в природных условиях встречаются суглинки и глины?
4. Назвать основные признаки, используемые для определения консистенции глинистых пород.
5. Перечислить основные визуальные признаки, используемые при определении степени влажности песчаных пород.
6. Какие выделяются разновидности песков по степени влажности?
7. Какие типы и подтипы лессовых пород выделены А.К. Ларионовым?
8. Перечислите основные полевые признаки, используемые при определении структуры лессовых пород.

Таблица 1 – Признаки для определения разновидностей глинистых пород (по И.Н. Филатову)

Породы	Ощущение при растирании породы пальцами на ладони руки	Виды растертой массы на ладони, при наблюдении в лупу, а также простым глазом	Состояние сухой породы	Состояние влажной породы	Отношение породы к скатыванию	Другие признаки
Глина	Очень трудно растираются в порошок	Однородная тонкопорошковая масса, не содержащая частиц крупнее 0.25 мм	Твердые комья не рассыпаются от удара молотком в порошок и при давлении рукой	Пластичное, липкое и мажущее	Легко дают прочный длинный шнур диаметром менее 1 мм. Легко скатывается в шарик.	При резании ножом в сыром состоянии дают гладкую поверхность, на которой не видно песчинок
Суглинки	Растертая на ладони масса не дает ощущения однородного порошка	Среди преобладающих пылевато-глинистых частиц ясно видны песчаные частицы крупнее 0.25 мм	Комья легко разваливаются при ударе молотком и при давлении рукой	Пластичное	Длинного шнура не дают. Шнур при сгибании образуется в шарик	То же, но чувствуется присутствие песчинок
Супесь	Неоднородный порошок, в котором явно чувствуется присутствие песка	Преобладают песчаные частицы крупнее 0.25 мм, более мелкие являются примесью	Комья легко рассыпаются от давления рукой и при растирании	Слабо пластичное	Скатываются в шнур. Шарик образует трещины на поверхности и осыпается	При резании ножом в сыром состоянии дают шероховатую поверхность
Песок	Ощущение песчаной массы	Состоит нацело из зерен песка	Сыпучее	При переувлажнении переходит в текучее состояние	Не скатывается в шнур и в шарик	

Породы	Ощущение при растирании породы пальцами на ладони руки	Виды растертой массы на ладони, при наблюдении в лупу, а также простым глазом	Состояние сухой породы	Состояние влажной породы	Отношение породы к скатыванию	Другие признаки
Гравий		Присутствие частиц крупнее 2 мм свыше 50				

Таблица 2 – Визуально определяемые признаки состояния глинистых (непросадочных) грунтов по консистенции (Справочник, 1975)

Консистенция	Признак
Супесь твердая	Образец грунта при ударе разбивается на куски, при сжатии в ладони рассыпается, при растирании пылит. Вырезанный кусок ломается без заметного изгиба.
Пластичная	Образец грунта легко разминается рукой, хорошо формируется и сохраняет природную форму, при сжатии в ладони ощущается влажность. Иногда обладает липкостью.
Текучая	Образец грунта легко деформируется от незначительного нажима и растекается.
Суглинки и глины. Твердая	Образец грунта при ударе разбивается на куски, иногда при сжатии в ладони рассыпается, при растирании пылит, ноготь большого пальца вдавливается в образец грунта с трудом.
Полутвердая	Вырезанный брусок грунта без заметного изгиба ломается с образованием шероховатой поверхности излома, при разминании крошится. Ноготь большого пальца вдавливается в образец грунта без особых усилий.
Тугопластичная	Вырезанный брусок грунта заметно изгибается еще до излома. Кусок грунта с трудом разминается руками; палец легко оставляет неглубокий отпечаток, но вдавливается лишь при сильном нажиме.
Мягкопластичная	Образец грунта на ощупь влажный или очень влажный. Кусок грунта легко разминается, но при формировании сохраняет приданную ему форму. Иногда приданная форма сохраняется на продолжительное время. Палец вдавливается в образец грунта при умеренном нажиме на несколько сантиметров.
Текучепластичная	Образец грунта на ощупь влажный. Кусок грунта разминается при легком нажиме пальцем, но не сохраняет форму, липкий и без просушивания не может быть раскатан в жгут толщиной 3 мм.
Текучая	Образец грунта на ощупь очень влажный. При формировании не сохраняет приданную форму, а помещенный на наклонную плоскость течет толстым слоем (языком).

Таблица 3 – Простейшие признаки для массовых определений в поле классификационные показатели грунтов

Признак (свойство)	Показатель	Метод определения
<b>1. Состав и строение</b>		
Цвет	Название цвета и его оттенка для грунта с естественной влажностью	Визуальный, рекомендуется пользоваться шкалой цветов.
Минералогический состав, в особенности содержание химически нестойких минералов пирита и др.	Общая характеристика состава главных и второстепенных минералов с указанием (приблизительно) процента их содержания в грунте	Визуальный или с помощью лупы
Карбонатность	1. Известковые стяжения 2. Интенсивность вскипания с HCl	1. Визуальный. 2. Проба на вскипание с HCl
Примесь органических соединений	1. Темный или черный цвет грунта. 2. Наличие растительных остатков	1. Визуальный. 2. Растворение в щелочи (в растворе соды)

Признак (свойство)	Показатель	Метод определения
Засоленность главным образом гипсом и хлористым натрием	Наличие кристаллов легко растворимых минералов, белых и серых выцветов и налетов	1. Визуальный. 2. Простейшее опробование водной вытяжки и с помощью походной лаборатории
Оглеенность, наличие закиси железа	Серовато-зеленый цвет	Визуальный
Ожелезненность, наличие окиси железа	Бурый, красно-бурый, желто-бурый цвет	Визуальный.
Текстура	1. Степень однородности. 2. Характер слоистости. 3. Включения	Визуальный
Трещиноватость и отдельность	Густота, ориентировка и размеры трещин. Характер поверхности трещин: ровный, шероховатый и т.д. Выполнение трещин	Визуальный
Структура	1. Размер и степень однородности зерен. 2. Форма зерен, окатанность, изометричность. 3. Взаимное расположение зерен. 4. Тип цемента	Визуальный
<b>2. Естественное состояние</b>		
Выветрелость	Изменение характера для данной породы признаков и свойств, в частности, цвета, уменьшение прочности, появление вторичных минералов гипса, окислов железа и др., трещиноватость.	Визуальный
Естественная влажность	Изменение состояния грунта при сжатии в руке. Характер пятна на бумаге, форма распада куска при сжатии пальцами и т.д.	Визуальный
Естественная консистенция	Характер поведения грунта при встряхивании, раскатывании в жгут, величина вдавливания, нагрузка необходимая для конуса штампа и т.д. (см. табл.2)	1. Простейшее опробование. 2. С помощью полевого прибора типа конуса и др.

**Таблица 4 – Визуально определяемые признаки степени влажности песчаных грунтов (Справочник, 1975)**

Степень влажности грунта	Признак
Малой степени водонасыщения (Маловлажный) $S_r < 0.5$	При сжатии образца песка в ладони ощущается влага, при встряхивании на ладони песок рассыпается на комки; на фильтровальной бумаге, на которую положен песок, образуется влажное пятно
Средней степени водонасыщения (Влажный) $0.5 < S_r < 0.8$	При сжатии образца песка в ладони хорошо ощущается влага, образец формируется и сохраняет некоторое время форму; на фильтровальной бумаге, на которую положен песок, образуется влажное пятно
Водонасыщенные $S_r > 0.8$	Встряхиваемый на ладони образец располагается, образуя лепешку, или растекается

Таблица 5 – Простейшие признаки для полевого определения структуры лессовых пород

Типы и подтипы структуры лессовых пород по А.К.Ларионову (1959)	Усилие при изломе воздушно-сухого образца	Усилие при снятии 1-2 миллиметрового слоя ножом в сухой породе	Характер поверхности излома монолитной породы (наблюдаемый под лупой)	Характер, форма сечения и тип стенок макропор (признак не обязательный)	Микротрещины нанесения трёх капель воды на монолитную поверхность
Зернистая 1. Рыхлая  2. Слабо агрегативная	Легко ломается  Ломается с небольшим усилием	Легко снимается тонкозернистая пыль  Легко, редко образуются агрегатки	Ровная, рыхлая  Слабо агрегативная, менее ровная	Макропоры округлые округло неправильной формы. Стенки рыхлые и слабоплотные  Известковистость стенок отсутствует или незначительна	Т - 0  Т - 1
Зернисто-агрегативная 1. С преобладанием зернистых участков 2. С преобладанием агрегативных участков	То же  Ломается с применением значительной силы	Слегка затруднено, наряду с пылью образуются агрегаты  Затруднено, образуется много агрегатов	Преобладает ровная, рыхлая. Агрегативная менее 35% Преобладает агрегативная (35-60 % площади)	Встречаются макропоры всех типов  То же	Т - 1  Т - 1
Агрегативная 1. Сильно агрегативная  2. Слитая	Ломается с применением большой силы Очень крепкая. Необходимо разбивать молотком	Значительно выкрашиваются агрегаты  Очень значительно выкрашиваются агрегативные участки	Сильно агрегативная, очень неровная Слитая, резко неровная	Макропоры округлые с плотными стенками, обычно известковистые	Т - 2  Т - 3

## Тема 2. Изучение методов и методик гранулометрического состава грунтов и способов его графического изображения

**Цель работы.** Освоить способы графического изображения гранулометрического состава грунтов и определения гранулометрических коэффициентов.

### Задание.

1. Ознакомиться с методами и методиками изучения гранулометрического состава песчано-глинистых грунтов.

2. По данным табл. 6 в соответствии с указанным вариантом построить суммарные интегральные кривые песков, определить коэффициенты неоднородности  $U = d_{60}/d_{10}$ ; средний размер частиц  $d_{50}$ ; коэффициент сортировки  $K_s = d_{90}/d_{10}$ .

а) по среднему размеру частиц  $d_{50}$  дать название песков, при  $d_{50}$ :

до 0,1 мм – пылеватый; 0,1–0,25 мм – мелкий;

0,25–0,5 мм – средний; 0,5 мм и более 0,5 мм – крупный;

б) по коэффициенту неоднородности  $U$  определить степень неоднородности и суффозионность при:  $U < 3$  – однородный;  $U > 3$  – неоднородный;

$U < 10$  – несуффозионный;  $U > 10$  – суффозионный.

в) по коэффициенту сортировки определить степень сортированности песка;

$K_s < 3$  – хорошо сортированный;  $K_s 3 – 5$  средне сортированный;

$K_s 5 – 10$  плохо сортированный;  $K_s > 10$  несортированный.

3. Построить треугольник гранулометрического состава и нанести на него данные гранулометрического анализа.

Пески: М – мелкие; С – средние; К – крупные; Р – разнозернистые

4. Дать общее заключение о породе.

Пример: Песок мелкий, однородный, несуффозионный, хорошо сортированный.

### Контрольные вопросы.

1. Какие методы используются при изучении гранулометрического состава пород?

2. Какие практические вопросы можно решать, опираясь на результаты изучения гранулометрического состава горных пород?

3. С какой целью осуществляется предварительная подготовка, какие применяются способы и схемы подготовки грунтов?

4. Какие Вы знаете способы графического изображения результатов гранулометрического анализа? Кратко их охарактеризуйте.

5. Поясните принцип построения интегральной кривой гранулометрического анализа.

6. Какие коэффициенты можно определить по интегральной кривой гранулометрического анализа и как они определяются?

Таблица 6 – Данные гранулометрического анализа

Вариант	№ п/п	Содержание фракций, мм, в %							
		> 0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001
1	1	4	75	13	4	3	1	-	-
	2	18	10	65	2	3	1	1	-
	3	10	38	45	4	2	1	-	-
	4	36	6	50	2	2	2	1	1
	5	62	25	6	2	2	1	1	1
2	1	10	10	50	13	12	2	2	1
	2	5	20	40	10	15	5	3	2
	3	6	14	25	30	10	6	6	3
	4	5	5	60	8	8	5	5	4
	5	4	10	75	5	3	2	1	-
3	1	3	15	65	5	5	3	2	2
	2	10	40	30	5	6	5	2	2
	3	6	74	5	3	4	3	3	2
	4	15	45	10	5	5	10	6	4
	5	23	47	15	10	2	2	1	-
4	1	7	43	25	15	3	3	2	2
	2	5	60	20	3	2	4	3	3
	3	60	20	8	3	2	3	3	1
	4	10	35	40	5	2	3	2	3
	5	15	10	60	4	5	1	1	4
5	1	4	70	10	4	3	1	4	4
	2	18	10	60	2	3	1	1	5
	3	10	30	45	4	2	1	4	4
	4	30	16	30	10	3	3	4	4
	5	60	20	6	3	3	3	2	3
6	1	2	30	50	7	2	3	2	4
	2	5	10	40	30	10	2	2	1
	3	8	50	10	10	10	5	2	5
	4	5	15	70	3	2	1	2	2
	5	5	70	9	8	3	2	1	2
7	1	10	10	60	8	3	4	2	3
	2	6	6	8	20	30	18	10	2
	3	2	14	50	20	4	3	4	3
	4	8	5	10	70	1	1	3	2
	5	1	30	5	51	5	4	2	2
8	1	5	20	60	2	3	4	3	3
	2	10	20	60	2	3	1	3	1
	3	7	40	40	6	2	2	1	2
	4	5	10	70	5	3	3	2	2
	5	7	10	40	20	10	6	4	3
9	1	25	50	10	8	2	3	1	1
	2	7	70	10	4	2	3	3	3
	3	10	10	60	12	2	4	1	1
	4	10	13	60	5	4	1	3	4
	5	4	60	20	8	2	1	2	3
10	1	2	73	12	4	3	2	2	2
	2	15	10	60	4	5	1	1	4
	3	10	35	40	5	2	3	2	3

	4	30	5	55	2	1	3	2	2
	5	60	20	8	3	2	3	3	1
11	1	5	40	39	5	3	5	2	1
	2	2	35	50	5	2	3	2	1
	3	2	40	30	10	5	3	4	6
	4	1	10	50	20	7	6	5	1
	5	4	60	20	10	2	2	2	-
12	1	15	15	60	3	2	2	2	1
	2	10	10	65	3	3	2	4	3
	3	8	8	58	6	5	7	3	5
	4	2	10	40	25	13	3	4	3
	5	1	1	80	10	3	2	1	2
13	1	3	20	60	3	2	3	4	5
	2	10	10	70	2	2	3	4	2
	3	3	40	40	7	3	3	2	2
	4	2	14	50	20	6	4	2	2
	5	5	10	70	6	2	3	2	2
14	1	2	40	34	10	4	1	3	6
	2	6	49	30	4	4	2	3	2
	3	6	10	70	5	4	1	3	1
	4	10	30	45	4	2	4	2	3
	5	6	80	2	4	3	1	2	2
15	1	4	70	10	2	3	2	1	8
	2	7	40	40	3	4	2	1	3
	3	5	20	60	5	2	3	3	2
	4	15	15	50	12	2	4	1	1
	5	10	20	60	5	2	1	1	1
16	1	4	70	10	2	3	2	1	8
	2	4	10	75	5	3	2	1	-
	3	15	45	10	5	5	10	6	4
	4	5	10	70	5	3	3	2	2
	5	5	60	20	3	2	4	3	3

## 2.1. Гранулометрический состав песчаных и глинистых грунтов

Состав песчаных, гравелистых, щебенистых, галечных и особенно глинистых пород и глин в значительной степени определяет их физико-механические свойства. Однако прямой количественной связи между составом и свойствами пород пока не установлено. Поэтому вещественный состав (гранулометрический, минеральный и химический) является, главным образом, классификационным показателем, позволяющим одновременно судить и о некоторых свойствах и условиях образования рыхлых несвязных и мягких связных пород.

**Под гранулометрическим** (или механическим) составом грунта понимается относительное содержание в нем (по массе) частиц различной величины.

Гранулометрический состав является одним из важных факторов, определяющих физические свойства грунта. От него зависят такие важные свойства, как пластичность, пористость, сопротивление сдвигу, сжимаемость, усадка, разбухание, высота капиллярного поднятия, водопроницаемость и др.

**Гранулометрический** (или механический) состав характеризует осадочные породы в отношении их дисперсности, т.е., размеров слагающих частиц. Он выражает процентное содержание в породе групп частиц (фракций) различных размеров, взятых по отношению к весу абсолютно сухой породы. Размер фракций, слагающих ту или иную породу, определяют по диаметру и выражают обычно в миллиметрах.

**Глинистые породы**, как правило, состоят существенно из частиц, измеряемых сотыми и тысячными долями миллиметра. Однако в виде примесей и включений в них могут встречаться также частицы и обломки более крупные и грубые.

Песчаные и другие грубообломочные породы состоят из частиц, размер которых измеряется преимущественно десятками долями миллиметра, единицами, десятками и сотнями миллиметров. Они могут иметь примеси и более мелких частиц – пылеватых (алевритовых) и глинистых (пелитовых).

Для определения гранулометрического состава пород выполняется гранулометрический анализ.

**Гранулометрический анализ состоит в разделении грунта на группы с близкими по величине частицами – так называемые фракции.**

Определение гранулометрического состава необходимо для решения ряда практических вопросов, важнейшими из которых являются [2]:

- классификация грунтов по гранулометрическому составу;
- приближенное вычисление водопроницаемости рыхлых несвязных грунтов по эмпирическим формулам;
- оценка пригодности грунтов для использования их в качестве насыпей для дорог, дамб, земляных плотин;
- выбор оптимальных отверстий для фильтров буровых скважин;
- оценка возможных явлений суффозии в теле фильтрующих плотин и их основаниях, в стенках котлованов, бортах выемок и т. д. и расчет обратных фильтров;
- оценка рыхлых несвязных грунтов как строительного материала и главным образом как – заполнителя при изготовлении бетона.

В настоящее время разработано много методов гранулометрического анализа грунтов. Эти методы объединены [6] в следующие группы:

1. Глазомерный или визуальный. Метод основан на сравнении на глаз или с помощью лупы изучаемого грунта с эталонами, гранулометрический состав которых известен.

2. Полевые методы. Наиболее распространенный и простой метод Рутковского. В основу метода положены, способность глинистых частиц набухать в воде и различная скорость падения частиц в воде в зависимости от их размера.

3. Ситовой метод – рассеивание грунта на ситах.

4. Гидравлические методы, Методы основаны на различии в скорости падения в воде частиц разной крупности. Среди методов этой группы различают:

а) методы отмучивания в спокойной воде – Сабанина, Аттерберга и др.;

б) методы разделения током воды, например, способ Щене.

5. Непрерывные методы анализа, среди которых можно выделить:

- а) методы, основанные на последовательном взятии проб из приготовленных суспензий (пипеточный анализ);
- б) методы, заключающиеся в непосредственном взвешивании осадков последовательно выпадающих из суспензии при ее отстаивании (способ Овен-Одела);
- в) методы, основанные на учете изменения плотности или гидростатического давления суспензии (ареометрический анализ и метод Вигнера).
6. Центрифугирование. Этот метод гранулометрического анализа основан на разной скорости осаждения частиц грунта разной крупности центробежной силой, развивающейся при вращении центрифуги.

Наибольшее распространение в инженерно-геологической практике получили ситовый анализ, метод двойного отмучивания, пипеточный метод, ареометрический анализ и полевой метод Рутковского.

Лабораторное определение гранулометрического состава должно проводиться в соответствии с ГОСТ 12536 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава».

## 2.2. Предварительная подготовка связных грунтов к гранулометрическому анализу

Предварительная подготовка грунтов к гранулометрическому анализу состоит в том, что тем или иным способом разрушают агрегаты частиц грунта и последний приводят в состояние максимального разделения на элементарные частицы.

Существующие способы подготовки грунта к гранулометрическому анализу можно разделить на три группы:

- 1) механические;
- 2) химические;
- 3) физико-химические.

**К механическим способам** относятся взбалтывание грунта с водой, растирание и кипячение.

**Физико-химические методы** подготовки состоят в насыщении грунта одновалентными катионами ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), которые замещают содержащиеся в грунте двух- и трехвалентные катионы. Одновалентные катионы, обладающие большими гидратными оболочками, резко увеличивают дисперсность грунта.

**Химическая подготовка** состоит в разрушении карбонатов и органических веществ, обладающих цементирующими свойствами. Разрушение карбонатов обычно достигается обработкой соляной кислотой, а органических веществ - перекисью водорода.

При **химической подготовке** происходит наиболее глубокое изменение состава грунта, некоторые составные его части растворяются и, следовательно, не могут быть учтены при гранулометрическом анализе. Поэтому химические способы подготовки применяются только в особых случаях.

В зависимости от способа подготовки получаемая степень дисперсности грунта оказывается различной. Поэтому и результаты анализа при разной

подготовке грунта получаются разные.

Основным способом предварительной подготовки глинистых грунтов к гранулометрическому анализу в настоящее время является способ размачивания, кипячения в дистиллированной воде с аммиаком и последующего растирания. Грунты, содержащие соли-электролиты, кроме кипячения, иногда подвергают предварительной отмывке водой до полного удаления водорастворимых солей, вызывающих коагуляцию.

В зависимости от того или иного сочетания перечисленных выше приемов различают три схемы подготовки грунтов к гранулометрическому анализу.

**Первая схема** (подготовка к дисперсному анализу). По этой схеме грунт приводится в состояние максимальной дисперсности путем замещения всех обменных катионов катионом  $\text{Na}^+$ . Результаты гранулометрического анализа используются при установлении генезиса грунта.

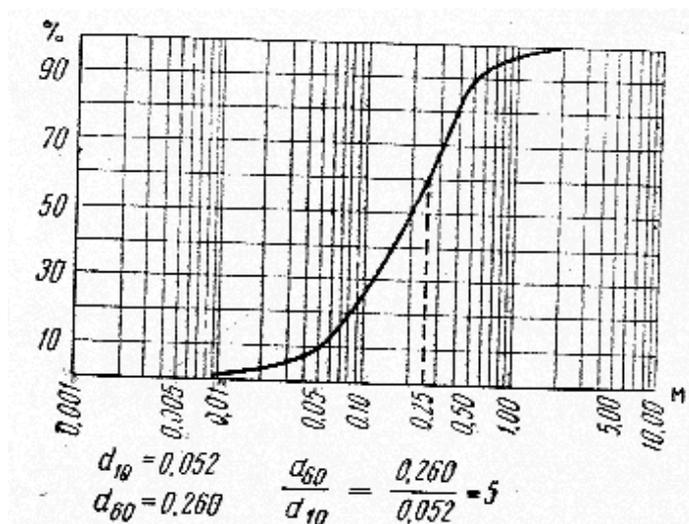
**Вторая схема** (подготовка к полудисперсному анализу). По этой схеме грунт приводится в состояние естественно элементарного расчленения без химического воздействия. Результаты гранулометрического анализа используются при классифицировании грунтов.

**Третья схема** (подготовка к агрегатному анализу). По этой схеме подготовка грунта к анализу состоит только в размачивании естественных комков грунта в воде и продолжительном (в течение 1 ч) взбалтывании на специальном аппарате. Результаты гранулометрического анализа используются для предварительного классифицирования грунтов.

### 2.3. Способы графического изображения гранулометрического состава грунтов

Для графического изображения гранулометрического состава существует ряд способов, из которых наиболее распространены способы циклограммы, кривой гранулометрического состава и диаграммы-треугольника.

#### 2.3.1. Циклограмма гранулометрического состава



Площадь круга, очерченного произвольным диаметром, разбивается на секторы с длинами дуг, пропорционально содержанию каждой фракции. Площади секторов закрашивается или заштриховывается в соответствии с принятыми условными обозначениями фракций. Возле каждого отрезка дуги снаружи указывается процентное содержание соответствующей фракции

Рис. 1. Интегральная кривая гранулометрического состава

### 2.3.2. Суммарная кривая гранулометрического состава

Способ суммарной кривой гранулометрического состава имеет наибольшее распространение. Кривая гранулометрического состава может быть построена в обыкновенном или в полулогарифмическом масштабе. Обыкновенный масштаб неудобен тем, что вследствие широкого диапазона диаметров частиц графики получаются непомерно растянутыми по оси абсцисс.

Построение кривых в полулогарифмическом масштабе позволяет наносить содержание легких фракций с достаточной точностью, не удлиняя кривую по оси абсцисс.

Для построения кривой в полулогарифмическом масштабе (рис. 1) по оси абсцисс откладывают не диаметры частиц, а их логарифмы или величины, пропорциональные логарифмам. В начале координат ставят обычно число 0,001, а затем, принимая  $\lg 10$  равным произвольному отрезку, откладывают этот отрезок в правую сторону три–четыре раза, делая отметки и ставя против них последовательно числа 0,01; 0,10; 1,00 и 10,00. Расстояния между каждыми двумя метками делят на девять частей пропорционально логарифмам чисел 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9.

В первом интервале от начала координат, выделенные отрезки будут соответствовать диаметрам частиц размером от 0,002 до 0,009 мм, во втором – от 0,02 до 0,09 мм, в третьем – от 0,2 до 0,9 мм, в четвертом – от 2 до 10 мм.

Например, если принять, что  $\lg 10 = 1$  – соответствует отрезку длиной 4 см, то  $\lg 2 = 0,301$  будет соответствовать отрезку  $0,301 \times 4 = 1,2$  см, а  $\lg 9 = 0,954$  будет соответствовать отрезку  $0,954 \times 4 = 3,82$  см.

Указанные отрезки откладывают по оси абсцисс от начала координат и от каждой метки, ограничивающей отрезок длиной 4 см.

Аналогичную шкалу можно разметить на графике, пользуясь шкалой делений логарифмической линейки. По оси ординат откладывают суммарное содержание фракций в процентах. Для этого последовательно суммируют содержание фракций, начиная с наиболее мелкой, и по этим числам строят кривую. Каждое из полученных чисел указывает, таким образом, суммарное содержание фракций меньше определенного диаметра.

Данные, использованные для построения кривой, изображенной на рис.1, приведены в табл. 7.

Таблица 7 – Данные гранулометрического анализа

Отдельные фракции		Совокупность фракций	
Диаметр частиц, мм	Содержание, %	Диаметр частиц, мм	Содержание, %
< 0,01	1,2	< 0,01	1,2
0,01-0,05	7,3	< 0,05	8,5
0,05-0,25	48,5	< 0,25	57,0
0,25-0,5	32,4	< 0,5	89,0
0,5-1,0	8,2	< 1,0	97,6
1,0 -2,0	2,4	< 2,0	100

Суммарные кривые механического состава дают возможность легко находить действующий диаметр и «диаметр шестидесяти».

Под **действующим** или **эффективным диаметром** частиц  $d_{10}$  или  $d_{ef}$  понимают размер частиц, соответствующий ординате 10 % на кривой механического состава. Эта величина используется при подсчетах коэффициента фильтрации по данным гранулометрического состава.

Действующий диаметр зерен находят следующим образом: из точки на оси ординат, соответствующей 10 %, проводят линию параллельно оси абсцисс до пересечения с кривой; из точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс; полученная на оси абсцисс точка и покажет действующий или эффективный диаметр.

Под **«диаметром шестидесяти»** понимается размер частиц  $d_{60}$ , соответствующий ординате 60 % на суммарной кривой механического состава. Графически он определяется аналогично действующему диаметру.

Отношение  $d_{60}/d_{10}$  называется **коэффициентом неоднородности**. Чем больше коэффициент неоднородности, тем более разнородным по гранулометрическому составу является грунт.

О степени неоднородности грунта можно судить и по характеру кривой механического состава. Крутая кривая указывает на однородность грунта, пологая – на неоднородность грунта по механическому составу.

### 2.3.3. Диаграмма–треугольник

При большом числе механических анализов для графического их изображения удобно пользоваться треугольником Фере (рис.2).

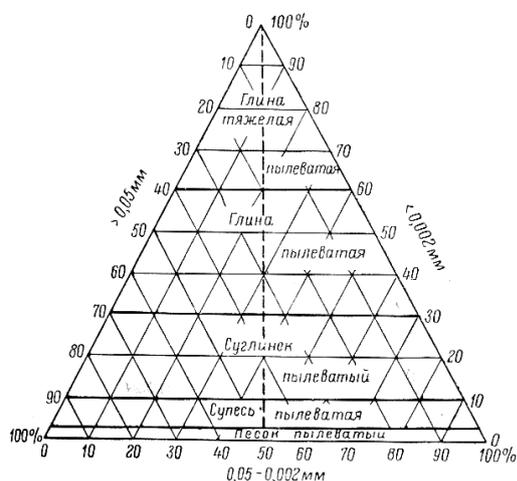


Рис. 2. Треугольник гранулометрического анализа

Этот способ довольно груб, но зато он позволяет наносить на один чертеж очень большое число анализов. Гранулометрический состав каждого грунта изображается при этом в виде точки. Кроме того, разбивая треугольник на части в соответствии с той или иной трехчленной классификацией, можно сразу, по положению точки внутри треугольника, определить наименование грунта по принятой классификации. На рис.2 отражена классификация грунтов по Охотину.

**К глинистым относятся частицы размером менее 0,002 мм.** Выделение глинистых частиц производят обычно отмучиванием, по скорости падения частиц в

воде, для определения используется формула Стокса. Для глинистых частиц характерны не только определенные размер, форма и особый минеральный состав, но и своеобразные свойства. Естественно, что чем больше в глинистой породе содержится глинистых частиц, тем большим своеобразием состава и свойств она обладает.

**Пылеватые** (алевритовые) частицы размером 0,002–0,05 мм по своему составу и свойствам существенно отличаются как от глинистых, так и от песчаных. В их минеральном составе обычно преобладает кварц, а мелко пылеватые частицы целиком состоят из обломков кварца. Форма пылеватых частиц приближается к сферической, в зависимости от условий образования они имеют различную степень окатанности, но в большинстве случаев плохо окатаны, угловаты.

Глинистые свойства у пылеватых частиц выражены слабо. Они обладают значительно меньшей связностью, капиллярностью и пластичностью, слабовлагодеемки и от глинистых фракций отличаются заметной водопроницаемостью. Самое главное свойство пылеватых частиц состоит в том, что при увлажнении они легко теряют свою незначительную связность и приобретают подвижность. Поэтому пылеватые породы всегда легко размокают и быстро переходят в плавунное состояние, а при промерзании весьма склонны к пучению. Эти отрицательные свойства, которые приобретают породы при повышенном содержании в их составе пылеватых частиц, приводят к необходимости даже при классификации подчеркивать их пылеватость.

**Песчаные**, или **псаммитовые** (размером 0,05–2 мм), а также гравийно-галечные и другие крупнообломочные, или **псефитовые**. частицы состоят из обломков минералов и пород. В зависимости от условий образования они могут быть окатанными или угловатыми. В соответствии с этим их подразделяют на гравий и дресву, гальку и щебень, валуны и глыбы. По своим свойствам псаммитовые и псефитовые частицы резко отличаются как от пылеватых (алевритовых), так и, особенно, от глинистых (пелитовых). Они невлагодеемки обладают хорошей водоотдачей, водопроницаемы и сильно водопроницаемы.

Капиллярные свойства и влагоемкость в сравнительно слабой степени проявляются только у песков тонко-, мелко- и отчасти среднезернистых.

При инженерно-геологическом изучении обломочных и глинистых пород почти всегда целесообразно определять их гранулометрический состав. Это, дополнительно к вышеописанному, позволяет:

- классифицировать их на типы, которые можно выделять на геологических колонках, разрезах, картах и т. д.;
- давать структурную характеристику пород;
- сравнивать эти породы между собой в колонках и на разрезах на разных глубинах и участках, оценивать степень их однородности в пределах той или иной строительной площадки;
- примерно судить об особенностях условий образования пород и их минеральном составе;
- примерно характеризовать их физико-механические свойства.

### Тема 3. Физико-механические свойства горных пород

**Цель.** Ознакомиться с показателями, которые используются для оценки физических, водных и механических свойств горных пород,

**Задание.**

1. В соответствии с указанным вариантом (табл. 8) рассчитать по формулам (табл. 12) следующие показатели: плотность сухого грунта ( $\rho_d$ ), степень влажности ( $S_r$ ), пористость ( $n$ ), коэффициент пористости ( $e$ ), число пластичности ( $I_p$ ), показатель текучести ( $I_L$ ).
2. По числу пластичности  $I_p$  определить разновидности грунта по табл. Б. 16. ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация».
3. По показателю текучести ( $I_L$ ) определить разновидности глинистых грунтов по табл. Б.17 ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация».
4. По СНиП 2.02.01–12 «Основания зданий и сооружений» (прил.1, табл. 2.3.), в соответствии с определенной по числу пластичности ( $I_p$ ) разновидностью грунта и значениями показателя текучести ( $I_L$ ) и коэффициента пористости ( $e$ ) определить нормативные значения сцепления ( $C$ , МПа), угла внутреннего трения ( $\phi$ , град) и модуля общей деформации ( $E$ , МПа).
5. Сделать заключение об исследованном грунте. В заключении необходимо указать глубину, с которой отобран образец для испытаний, разновидность глинистого грунта, его физическое состояние и механические свойства.

#### Контрольные вопросы.

1. Различаете ли Вы такие понятия как «свойство или признак грунта» и «показатель»? В чем это различие? Поясните на примерах.
2. Как разделяются показатели физико-механических свойств пород по их практическому применению?
3. Какие Вы знаете классификационные показатели? Перечислите классификационные показатели и назовите методы их определения.
4. Какие Вы знаете косвенные показатели? Перечислите косвенные показатели, назовите методы их определения и практическое использование.
5. Какие Вы знаете прямые расчетные показатели? Перечислите прямые расчетные показатели, назовите методы их определения и практическое использование.
6. Перечислите и кратко охарактеризуйте показатели, определяющие водные свойства грунтов.

Таблица 8 – Данные лабораторных исследований горных пород

Вариант 1

Мощность слоя, м	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	W, %	$S_r$ , д.е	n, %	e, д.е	$W_L$ , %	$W_p$ , %	$I_p$ , д.е	$I_L$ , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
1,5	2,73	1,98		20				33	15					
2,0	2,71	2,02		24				29	17					
3,1	2,71	2,08		17				19	15					
4,2	2,73	1,97		28				32	19					
0,5	2,74	1,92		23				30	18					

Вариант 2

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho,^3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>p</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
0,8	2,73	1,98		26				35	15					
1,5	2,72	2,02		22				30	15					
0,3	2,72	1,89		22				39	19					
2,0	2,71	2,01		21				41	20					
4,0	2,72	2,03		26				33	19					

Вариант 3

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho,^3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>p</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
0,5	2,67	1,94		30				25	19					
2,0	2,70	1,89		28				24	18					
3,1	2,71	1,91		28				34	23					
3,5	2,71	1,92		26				33	20					
4,0	2,70	1,82		34				45	24					

Вариант 4

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho,^3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>p</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
2,0	2,72	1,93		30				37	23					
1,5	2,70	1,84		24				25	17					
1,7	2,70	1,89		28				24	18					
2,0	2,71	1,89		32				44	25					
1,2	2,73	1,93		29				49	26					

Вариант 5

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho,^3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>p</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
3,0	2,68	1,98		27				20	17					
1,5	2,72	1,93		30				37	23					
1,8	2,71	1,89		32				22	19					
2,1	2,71	1,92		27				33	19					
0,9	2,70	1,96		31				49	30					

Вариант 6

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho,^3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>p</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
0,6	2,71	1,89		32				44	25					
1,2	2,73	1,94		29				49	26					
3,1	2,71	1,95		28				33	20					
2,5	2,71	1,91		29				33	21					
4,1	2,69	1,85		33				25	18					

Вариант 7

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho,^3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>p</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
2,6	2,70	1,77		28				25	20					
1,1	2,73	1,90		30				35	18					
1,5	2,70	1,91		28				24	23					
2,8	2,73	1,93		29				49	26					
3,4	2,71	1,78		36				49	28					

Вариант 8

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho,^3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>p</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
0,7	2,71	1,91		29				33	21					
1,2	2,70	1,82		34				45	24					
3,5	2,68	1,98		27				20	17					
4,0	2,73	1,90		30				35	18					
5,5	2,71	1,95		31				36	22					

Вариант 9

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>P</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
1,7	2,71	1,72		10				21	14					
2,1	2,70	1,99		24				26	19					
3,5	2,71	1,96		18				29	18					
2,7	2,70	1,98		24				30	20					
4,5	2,71	1,78		36				49	28					

Вариант 10

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>P</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
3,1	2,70	1,82		35				45	24					
1,8	2,71	1,78		36				49	28					
2,3	2,71	1,98		20				36	23					
1,5	2,71	1,98		18				29	18					
0,8	2,68	1,98		27				20	16					

Вариант 11

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>P</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
2,4	2,67	1,94		31				23	18					
0,8	2,71	1,82		11				19	15					
3,2	2,71	1,98		18				29	18					
4,2	2,70	1,96		24				30	21					
3,8	2,73	1,93		29				49	26					

Вариант 12

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>P</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
0,7	2,72	2,03		26				33	19					
1,2	2,72	1,94		16				28	10					
2,8	2,73	1,94		28				33	19					
3,7	2,72	2,01		22				27	17					
3,5	2,71	2,02		25				28	18					

Вариант 13

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>P</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
2,9	2,72	1,88		21				42	20					
1,8	2,71	1,96		28				33	17					
2,6	2,73	1,90		26				33	19					
3,9	2,71	1,99		16				28	14					
4,1	2,73	1,94		26				33	10					

Вариант 14

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>P</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
0,5	2,69	1,91		18				28	23					
2,7	2,70	1,96		19				25	13					
3,9	2,74	2,03		24				35	15					
4,5	2,71	2,02		25				28	18					
6,0	2,73	1,90		26				33	19					

Вариант 15

Мощность слоя, м	$\rho_{s,3}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_3$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{d,3}$ г/см <sup>3</sup>	W, %	Sr, д.е	n, %	e, д.е	W <sub>L</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	I <sub>P</sub> , д.е	I <sub>L</sub> , д.е	C МПа	$\phi^\circ$	E МПа
1,5	2,72	1,94		16				28	10					
2,0	2,73	1,94		26				33	19					
1,7	2,09	1,96		28				31	19					
2,1	2,71	2,08		17				19	15					
5,6	2,71	1,97		15				16	13					

Горные породы различаются по структуре, текстуре, условиям залегания, минералогическому и петрографическому составу, что обуславливает различие их физико-механических свойств.

**Физические свойства** характеризуют физическое состояние горных пород. Важнейшие физические свойства: плотность, пористость, влажность, пластичность и др.

**Водные свойства** проявляются в отношении горных пород к воде. Они характеризуют способность породы изменить состояние, прочность и деформируемость при взаимодействии с водой, поглощать и удерживать воду, фильтровать ее. Важнейшие водные свойства: водоустойчивость, влагоемкость, водоотдача, капиллярность, водопроницаемость и др.

**Механические свойства** определяют поведение горных пород при воздействии на них внешних нагрузок (усилий). Различают прочностные и деформационные свойства.

Для оценки пород при использовании их в строительных целях необходимо иметь их количественные характеристики или показатели свойств.

По практическому использованию показатели свойств делятся на:

- классификационные;
- косвенные;
- прямые

**Классификационные показатели** приведены в табл. 9. Они используются для предварительного определения **типа породы**. Их обычно определяют в массовом количестве, простыми и быстрыми методами (визуально, либо с помощью несложных приспособлений).

Таблица 9 – Классификационные показатели

Свойство или признак грунта	Показатели	Метод определения
Плотность	Масса 1см <sup>3</sup> в г	Взвешивание образца известного объема
Естественная пористость	Объем пор в % ко всему объему образца	Вычисление по плотности, влажности и плотности минеральной части (удельный вес)
Размокаемость	Характер и скорость размокания	Непосредственное наблюдение
Набухаемость	1. Влажность набухания 2. Величение объема в %	Приборы: 1. Ф. Лаптева 2. Ф. Филатова 3. А. М. Васильева
Пластичность	Пределы и число пластичности	1. Стандартный ручной 2. Объемный (для числа пластичности)
Уплотняемость	Показатель уплотняемости	Вычисление по максимальной и минимальной пористости
Водопроницаемость	Коэффициент фильтрации	Трубка Г.Н. Каменского или Спецгео
Выветрелость	Изменение характерной для данной породы признаков и свойств, в частности, цвета, прочности, проявление вторичных минералов (гипс), трещиноватость.	Визуальный

Естественная (природная) влажность	Влажность в весовых процентах	Высушивание и взвешивание
Естественная консистенция	1. Соппротивление вдавливанию 2. Показатель текучести	1. Конус А.М. Васильева 2. С помощью прибора типа иглы 3. Вычисление по влажности и пределам пластичности
Степень плотности	Показатель степени плотности для песков	Вычисление по максимальной, минимальной и естественной пористости
Степень уплотненности	Показатель степени уплотненности для глинистых пород по В.А. Приклонскому	Вычисление по пределам пластичности и естественной пористости

**Косвенные показатели** приведены в табл. 10. Они используются для приближенной оценки свойств пород, для предварительных расчетов прочности и деформируемости оснований зданий и сооружений на первых стадиях проектирования.

Таблица 10 – Косвенные показатели

Показатель	Способ получения	Практическое применение
Плотность минеральных частиц	Непосредственное определение в лаборатории	1. Вычисление пористости. 2. Вычисление весовой пористости по природной. 3. Вычисление влажности с помощью пикнометра.
Плотность грунта	Непосредственное определение в лаборатории	1. Вычисление плотности скелета грунта и пористости. 2. В качестве расчетного показателя.
Плотность сухого грунта	Вычисление	1. Вычисление пористости.
Естественная (природная) влажность	Непосредственное определение в лаборатории	1. Вычисление плотности скелета грунта и пористости.
Естественная пористость	Вычисление	1. Вычисление веса грунта под водой. 2. Приближенное вычисление коэффициента фильтрации. 3. Вычисление степени плотности. 4. Вычисление водоотдачи. 5. Вычисление параметров кривой сжатия.
1. Гранулометрический состав (содержание фракций в %)	Непосредственное определение в лаборатории	1. Вычисление показателей гранулометрического состава. 2. Косвенное вычисление коэффициента фильтрации.
Максимальная молекулярная влагоемкость	Непосредственное определение в лаборатории	1. Вычисление водоотдачи. 2. Приближенное определение нижнего предела пластичности.
Нижний и верхний пределы пластичности	Непосредственное определение в лаборатории	1. Вычисление показателя текучести. 2. Вычисление числа пластичности.
Число пластичности	Вычисление	Вычисление показателя текучести.

**Прямые показатели** приведены в табл. 11. Они непосредственно входят в расчеты при оценке устойчивости и деформируемости оснований зданий и сооружений или устойчивости инженерного сооружения (открытая горная выработка, насыпь и т.д.) на последних стадиях проектирования.

Таблица 11 – Прямые показатели

Показатель	Практическое применение
Плотность	1. Вычисление осадки сооружения. 2. Расчет устойчивости основания 3. Расчет устойчивости откосов. 4. Вычисление давления на подпорную стенку. 5. Определение критической скорости для оценки критического градиента суффозии
Временное сопротивление сжатию	Расчет устойчивости основания
Сопротивление сдвигу – $\tau$ Угол внутреннего трения – $\varphi$ Сцепление – $C$	1. Оценка устойчивости основания. 2. Расчет устойчивости откосов. 3. Оценка давления на подпорную стенку 4. Определение несущей способности основания
Угол естественного откоса	Оценка устойчивости откоса.
Гранулометрический состав (содержание фракций в %)	1. Подбор оптимальных смесей. 2. Выбор отверстий фильтра. 3. Оценка механической суффозии.
Коэффициент фильтрации	1. Подсчет потери на фильтрацию в водохранилищах, каналах и т.д. 2. Расчет притока воды в котлованы и другие выработки. 3. Расчет дренажных сооружений. 4. Расчет искусственного водопонижения. 5. Построение эпюры напоров по подземному контуру сооружения при неоднородном основании. 6. Расчет продолжительности осадки. 7. Расчет подпора грунтовых вод.
Водоотдача	Оценка водообильности водоносного горизонта
Высота капиллярного поднятия	Определение глубины заложения фундамента

Таблица 12 – Показатели физико-механических свойств пород рыхлых отложений

Условн. обозн.	Показатель	Единица измерения, Си	Физический смысл	Расчетная формула или методика определения по гос. стандартам
$\gamma$	Удельный вес	н/м <sup>3</sup>		$\gamma = \rho \cdot g$ ; $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ .
$\rho_s$	Плотность частиц грунта	кг/м <sup>3</sup> (г/см <sup>3</sup> )	Масса единицы объема скелета грунта в воде при отсутствии пор: для песчаных – 2.66 г/см <sup>3</sup> ; супесей – 2.70 г/см <sup>3</sup> ; суглинков – 2.71 г/см <sup>3</sup> ; глин – 2.74 г/см <sup>3</sup>	Пикнометрический метод
$\rho$	Плотность	кг/м <sup>3</sup> (г/см <sup>3</sup> )	Масса единицы объема при данной пористости и влажности	Метод режущего кольца или парафинирования

$\rho_d$	Плотность сухого грунта	кг/м <sup>3</sup> (г/см <sup>3</sup> )	Масса единицы объема за вычитанием массы воды в порах	$\rho_d = \rho / (1+0.01 W)$
W	Природная (естественная) влажность	%	Кол-во свободной и поверхностно связанной воды, содержащейся в порах грунта в естественных условиях	Весовой метод
n	Пористость	%	Отношение объема пустот к объему грунта	$n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s$
e	Коэффициент пористости	Доли единицы	Отношение объема пустот к объему скелета грунта	$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$
W <sub>г</sub>	Гигроскопическая влажность	%	Под гигроскопической влажностью понимается отношение веса воды, удаленной из образца воздушно сухого грунта к массе высушенного грунта.	Весовой метод
W <sub>L</sub>	Влажность на границе текучести	% (верхний предел)	Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояние в текучее.	ГОСТ 5180–84. Метод балансированного конуса
W <sub>p</sub>	Влажность на границе раскатывания	% (нижний предел)	Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояние в твердое.	ГОСТ 5180–84 Метод раскатывания
I <sub>p</sub>	Число пластичности	Доли единицы	Разность между верхним и нижним пределами влажности.	$I_p = W_L - W_p$
I <sub>L</sub>	Показатель текучести	Доли единицы	Показатель консистенции	$I_L = (W - W_p) / I_p$
S <sub>r</sub>	Степень влажности	Доли единицы	Степень заполнения пор водой.	$S_r = W \cdot \rho_s / (e \cdot \rho_w \cdot 100)$ , где $\rho_w = 1,0$
C	Сцепление	МПа, КПа	Сила сопротивления сдвигу при отсутствии внешней нагрузки.	ГОСТ 12248-96
$\phi$	Угол внутреннего трения	Град.	Угол наклона прямолинейной части диаграммы сдвига к оси нормальных давлений	ГОСТ 12248-96
E	Модуль общей деформации	МПа	Коэффициент пропорциональности между давлением и относительной линейной деформацией грунта	ГОСТ 12248-96 $E_{1-2} = \beta \cdot [(1 + e) / \alpha]$

#### Тема 4. Методы и методика изучения физических свойств грунтов

**Цель работы.** Изучить методы и методику определения показателей физических свойств грунтов.

**Задание.**

1. Изучить методы и методики определения физических свойств грунтов (ГОСТ «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик»).
2. Определить следующие показатели:  
- природную влажность (W) весовым методом;

- плотность грунта – методом режущих колец;
- границу текучести или предел текучести ( $W_L$ ) методом балансного конуса Васильева А.И.;
- границу раскатывания ( $W_p$ ) – методом раскатывания.

3. Вычислить следующие показатели физических свойств:

- число пластичности –  $I_p$  и определить разновидность грунта по табл. Б.16. ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация»;
- показатель текучести  $I_L$  и определить разновидность грунта по табл. Б.17. ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация»;
- плотность сухого грунта ( $\rho_d$ ), пористость ( $n$ ), коэффициент пористости ( $e$ ), степень влажности ( $S_r$ ). Принять плотность частиц грунта ( $\rho_s$ ), равной для супесей –  $2,70 \text{ г/см}^3$ ; суглинков –  $2,71 \text{ г/см}^3$ ; глин –  $2,74 \text{ г/см}^3$ .

4. Составить сводную таблицу показателей свойств по нижеприведенной форме.

Таблица 13 – Показатели физических свойств грунта

Название грунта	Показатели свойств грунта										
	$W$ , %	$\rho$ , $\text{г/см}^3$	$\rho_d$ , $\text{г/см}^3$	$\rho_s$ , $\text{г/см}^3$	$n$ , д.е.	$e$ , д.е.	$s_r$ , д.е.	$W_L$ , %	$W_p$ , %	$I_p$ , %	$I_L$ , д.е.

5. Проанализировать результаты лабораторных исследований грунта и оценить его состояние и поведение при дополнительном увлажнении.

### Контрольные вопросы.

1. В чем заключается суть методики определения природной влажности?
2. Как называется метод, используемый для определения предела текучести глинистого грунта? В чем суть методики определения этого показателя?
3. Каким методом определяется нижний предел пластичности? В чем заключается суть методики его определения?
4. Какие методы применяются для определения показателей плотности грунта?
5. Какими методами определяется плотность мягких связных и скальных пород? Каковы особенности методики их определения?
6. Каким методом определяется плотность минеральных частиц? Каковы особенности методики определения?

Физические характеристики следует определять не менее чем для двух параллельных проб, отбираемых из исследуемого образца грунта. Значение характеристик вычисляют как среднее арифметическое из результатов параллельных определений. Разница между параллельными определениями не должна превышать значений, указанных в табл. 13. Если разница превышает допустимую величину, количество определений следует увеличить.

При обработке результатов испытаний плотность вычисляется с точностью до  $0,01 \text{ г/дм}^3$ , влажность до 30 % – с точностью 0,1 % и выше – с точностью до 1 %. Погрешность измерения массы (взвешивания) не должна превышать при массе от 10 до 1000 г –  $0,02 \text{ г/см}^3$ .

#### 4.1. Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы

(ГОСТ «Грунты. Методы лабораторного...»)

Влажность грунта следует определять как отношение массы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного грунта.

##### Подготовка к испытаниям

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

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

##### Проведение испытаний

Пробу грунта в закрытом стаканчике взвешивают. Стаканчик открывают и вместе с крышкой помещают в нагретый сушильный шкаф. Грунт высушивают до постоянной массы при температуре  $(105 \pm 2)$  °С. Загипсованные грунты высушивают при температуре  $(80 \pm 2)$  °С.

Песчаные грунты высушивают в течение 3 ч, а остальные – в течение 5 ч. Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1 ч, остальных – в течение 2 ч.

Загипсованные грунты высушивают в течение 8 ч. Последующие высушивания производят в течение 2 ч.

После каждого высушивания грунт в стаканчике охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием до температуры помещения и взвешивают.

Высушивание производят до получения разности масс грунта со стаканчиком при двух последующих взвешиваниях не более 0,02 г.

Если при повторном взвешивании грунта, содержащего органические вещества, наблюдается увеличение массы, то за результат взвешивания принимают наименьшую массу.

##### Обработка результатов.

Влажность грунта  $W$  %, вычисляют по формуле:

$$W = 100 (m_1 - m_o) / (m_o - m), \quad (1)$$

где  $m$  – масса пустого стаканчика с крышкой, г;

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

$m_o$  – масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г.

Допускается выражать влажность грунта в долях единицы.

## 4.2. Определение плотности грунта методом режущего кольца («Грунты. Методы лабораторного...»)

**Плотность грунта определяется отношением массы образца грунта к его объему.**

### **Подготовка к испытаниям.**

Согласно требованиям ГОСТ для определения плотности немерзлого пылевато-глинистого грунта используются кольца пробоотборники следующих размеров: толщина стенки – 1,5–2,0 мм, внутренний диаметр,  $d \geq 50$  мм, высота,  $h - 0,8 d \geq h > 0,3 d$ , угол заточки наружного режущего края – не более  $30^\circ$ .

Кольца–пробоотборники изготавливают из стали с антикоррозионным покрытием или из других материалов, не уступающих по твердости и коррозионной стойкости. Кольца нумеруют, измеряют внутренний диаметр и высоту с погрешностью не более 0,1 мм и взвешивают. По результатам измерений вычисляют объем кольца с точностью до  $0,1 \text{ см}^3$ . Пластинки с гладкой поверхностью (из стекла, металла и т. д.) нумеруют и взвешивают.

### **Проведение испытаний.**

Кольцо–пробоотборник смазывают с внутренней стороны тонким слоем вазелина или консистентной смазки.

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

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

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

### **Обработка результатов.**

Плотность грунта  $\rho$ ,  $\text{г/см}^3$ , вычисляют по формуле 2:

$$\rho = (m_1 - m_0 - m_2) / V \dots \quad (2)$$

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

$m_0$  – масса кольца, г;

$m_2$  – масса пластинок, г;

$V$  – внутренний объем кольца,  $\text{см}^3$ .

$$V = (\pi d^2/4) \cdot h,$$

где  $d$  – внутренний диаметр кольца, см;

$h$  – высота кольца, см.

### **4.3. Определение границы текучести** (ГОСТ «Грунты. Методы лабораторного...»)

**Границу текучести следует определять как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой балансирный конус погружается под действием собственного веса за 5 сек на глубину 10 мм.**

#### **Подготовка к испытаниям**

Для определения границы текучести используют монолиты или образцы нарушенного сложения, для которых требуется сохранение природной влажности.

Для грунтов, содержащих органические вещества, границу текучести определяют сразу после вскрытия образца. Для грунтов, не содержащих органических веществ, допускается использование образцов грунтов в воздушно-сухом состоянии.

Образец грунта природной влажности разминают шпателем в фарфоровой чашке или нарезают ножом в виде тонкой стружки (с добавкой дистиллированной воды, если это требуется), удалив из него растительные остатки крупнее 1 мм, отбирают из размельченного грунта методом квартования пробу массой около 300 г и протирают сквозь сито с сеткой № 1. Пробу выдерживают в закрытом стеклянном сосуде не менее 2 ч.

Образец грунта в воздушно-сухом состоянии растирают в фарфоровой ступке или в растирочной машине, не допуская дробления частиц грунта и одновременно удаляя из него растительные остатки крупнее 1 мм, просеивают сквозь сито с сеткой № 1, увлажняют дистиллированной водой до состояния густой пасты, перемешивая шпателем, и выдерживают в закрытом стеклянном сосуде согласно не менее 2 ч.

Для удаления избытка влаги из образцов илов производят обжатие грунтовой пасты, помещенной в хлопчатобумажную ткань между листами фильтровальной бумаги, под давлением (пресс, груз). Грунтовую пасту из илов не допускается выдерживать в закрытом стеклянном сосуде. Добавлять сухой грунт в грунтовую пасту не допускается.

#### **Проведение испытаний**

Подготовленную грунтовую пасту тщательно перемешивают шпателем и небольшими порциями плотно (без воздушных полостей) укладывают в цилиндрическую чашку к балансирному конусу. Поверхность пасты заглаживают шпателем вровень с краями чашки.

Балансирный конус, смазанный тонким слоем вазелина, подводят к поверхности грунтовой пасты так, чтобы его острие касалось пасты. Затем плавно

отпускают конус, позволяя ему погружаться в пасту под действием собственного веса.

При погружении конуса в течение 5 сек. на глубину менее 10 мм, грунтовую пасту извлекают из чашки, присоединяют к оставшейся пасте, добавляют немного дистиллированной воды, тщательно перемешивают ее и повторяют вышеуказанные операции.

При погружении конуса за 5 сек. на глубину более 10 мм грунтовую пасту из чашки, перекладывают в фарфоровую чашку, слегка подсушивают на воздухе, непрерывно перемешивая шпателем и повторяют вышеуказанные операции.

Погружение конуса в пасту в течение 5 сек. на глубину 10 мм показывает, что грунт имеет влажность, соответствующую границе текучести. По достижении границы текучести из пасты отбирают пробы массой 15–20 г для определения влажности. Влажность определяется по вышеприведенной методике.

#### **4.4. Определение границы раскатывания (ГОСТ «Грунты. Методы лабораторного...»)**

Границу раскатывания (пластичности) следует определять как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой паста, раскатываемая в жгут диаметром 3 мм, начинает распадаться на кусочки длиной 3–10 мм.

##### **Подготовка к испытаниям**

Подготовку грунта производят по той же методике, как и при определении границы текучести или используют часть грунта (40–50 г), подготовленного для определения текучести.

##### **Проведение испытаний**

Подготовленную грунтовую пасту тщательно перемешивают, берут небольшой кусочек и раскатывают ладонью на стеклянной или пластмассовой пластинке до образования жгута диаметром 3 мм. Если при этой толщине жгут сохраняет связность и пластичность, его собирают в комок и вновь раскатывают до образования жгута диаметром 3 мм. Раскатывать следует, слегка нажимая на жгут, длина жгута не должна превышать ширины ладони. Раскатывание продолжают до тех пор, пока жгут не начинает распадаться по поперечным трещинам на кусочки длиной 3–10 мм.

Кусочки распадающегося жгута собирают в стаканчики, накрываемые крышками. Когда масса грунта в стаканчиках достигнет 10–5 г, определяют влажность. Влажность определяется по вышеприведенной методике.

В табл. 14 показана допустимая разница  $\Delta$  результатов параллельных определений при определении физических свойств грунтов.

Таблица 14 – Допустимая разница  $\Delta$  результатов параллельных определений

Влажность грунта $W$ , %					
	1-5	>5-10	>10 -50	>50 - 100	>100
$\Delta$ , %	0,2	0,6	2,0	4,0	5,0
Влажность на границе текучести $W_L$ , %					
	до 80			80 и более	
$\Delta$ , %	2,0			4,0	
Влажность на границе раскатывания $W_p$ , %					
	до 40			40 и более	
$\Delta$ , %	2,0			4,0	
Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>					
	Песчаные грунты			Пылевато-глинистые грунты	
$\Delta$ , г/см <sup>3</sup>	0,04			0,03	
Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>					
	До 2,75			2,75 и более	
$\Delta$ , г/см <sup>3</sup>	0,02			0,03	

### Тема 5. Компрессионные свойства грунтов. Методика изучения. Обработка результатов

**Цель.** Изучение процесса компрессионного сжатия грунта для определения характеристик деформируемости грунта.

**Задание.**

1. Ознакомиться с принципиальными особенностями существующих типов приборов, используемых для определения сжимаемости грунтов (одометры, стабиллометры, компрессионно-фильтрационные приборы).
2. Ознакомиться с методикой проведения опыта на сжимаемость в компрессионном приборе и кратко описать методику лабораторных испытаний грунта. При описании методики отразить особенности выбора схем испытаний, обоснование размера ступеней. Методика определения компрессионных характеристик регламентируется ГОСТ 12248-96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости». Она изложена в разделе 5.4, стр. 24–34 указанного гос. стандарта и кратко приведена ниже.
3. По представленным данным (в соответствии с заданным вариантом), полученным при испытании образца на сжатие без возможности бокового расширения, подсчитать для всех интервалов нагрузок коэффициент сжимаемости ( $m$ ), модуль общей деформации ( $E$ ) и построить компрессионную кривую в координатах –  $\varepsilon = f(p)$ .
4. Дать оценку сжимаемости грунта по коэффициенту сжимаемости:  
 $m \geq 0,01$  – сильносжимаемый,  $m = 0,01-0,001$  – среднесжимаемый,  
 $m < 0,001$  – слабосжимаемый.

5. Сравнить вычисленные значения модуля деформации с нормативными значениями по СНиП 2.02.01–83 «Основания зданий и сооружений».

### **Контрольные вопросы.**

1. Охарактеризовать принципиальные особенности существующих типов приборов для определения сжимаемости грунтов (одометры, компрессионно-фильтрационные и стабилметры).
2. В чем заключается сущность процесса компрессионного сжатия? Показатели, определяемые в процессе компрессионных испытаний?
3. Как разновидности грунтов выделяются по коэффициенту сжимаемости.
4. Какие показатели определяются при компрессионно-фильтрационных испытаниях?

Компрессионные испытания проводятся для определения следующих характеристик деформируемости: коэффициента сжимаемости ( $m_o$ ), модуля деформации ( $E$ ), структурной прочности на сжатие  $P_{str}$ , коэффициентов фильтрационной  $C_v$  и вторичной консолидации  $C_a$  для песков мелких и пылеватых, глинистых грунтов с показателем текучести  $I_L > 0,25$ , органоминеральных и органических грунтов.

Для засоленных (содержащих легко- и среднерастворимые соли) песков (кроме гравелистых), супесей и суглинков в компрессионно-фильтрационных приборах определяются характеристики относительного суффозионного сжатия ( $\epsilon_{sf}$ ) и начального давления суффозионного сжатия ( $P_{sf}$ ).

Результаты испытаний должны быть оформлены в виде графиков зависимостей деформаций образца от нагрузки и их изменения во времени.

### **5.1. Общие сведения о методе компрессионного сжатия и используемом оборудовании**

Под компрессией следует понимать сжимаемость образца под действием нагрузок без возможности бокового расширения. При этом диаметр образца не изменяется. Деформация грунта выражается в изменении его высоты ( $h$ ), которая происходит, главным образом, за счет уменьшения коэффициента пористости ( $e$ ).

Испытания грунта методом компрессионного сжатия проводят в компрессионных приборах (одометрах) и компрессионно-фильтрационных приборах.

Испытания проводят в диапазоне давлений, которое либо принимается в пределах полуторного значения проектного давления на грунт, либо определяется в программе испытаний.

Для испытаний используются образцы различного состояния:

- ненарушенного сложения с природной влажностью;
- водоносные;
- нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности (насыпные грунты).

В состав установки для испытаний грунта в условиях компрессионного сжатия должны входить:

- компрессионный прибор (одомер), состоящий из рабочего кольца с внутренними размерами образца цилиндрической формы диаметром не менее 71 мм и отношение высоты к диаметру 1: 3,5;
- механизм для вертикального нагружения образца грунта;
- устройство для измерения вертикальных деформаций образца грунта.

Принципиальная схема одометра и компрессионно-фильтрационного приборов приведена на рис. 3 и рис. 4.

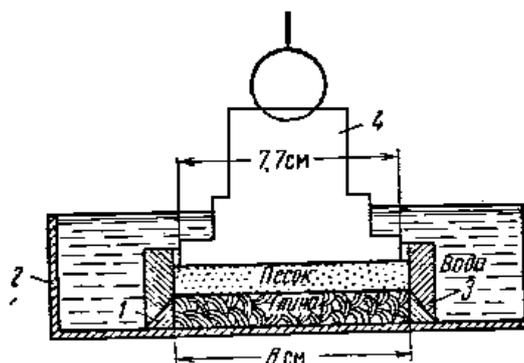
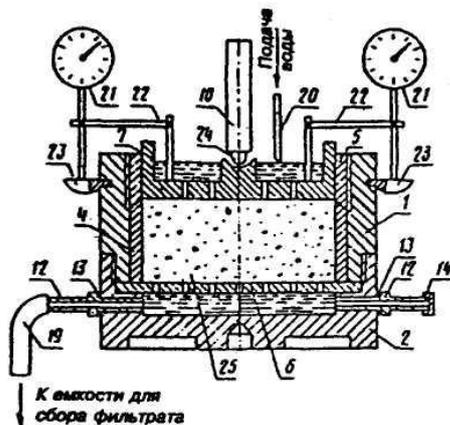


Рис. 3. Принципиальная схема одометра. Кольцо Терцаги.

1 – бронзовое кольцо; 2 – сосуд; 3 – второе кольцо; 4 – поршень с гнездом для стального шарика, который передает давление от прессы на грунт

Для испытаний по схеме  
нисходящего потока воды



Для испытаний по схеме  
восходящего потока воды

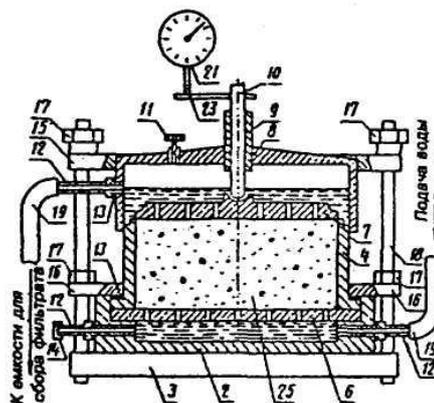


Рис. 4. Принципиальные схемы компрессионно-фильтрационных приборов:

1 – корпус; 2 – поддон корпуса; 3 – основание корпуса; 4 – рабочее кольцо; 5 – направляющее кольцо; 6 – перфорированный вкладыш; 7 – перфорированный штамп; 8 – крышка; 9 – втулка; 10 – шток; 11 – спусковая пробка; 12 – штанцер; 13 – резиновая прокладка; 14 – заглушка; 15 – прижимное кольцо верхнее; 16 – прижимное кольцо нижнее; 17 – гайка; 18 – стойка; 19 – шланг; 20 – стеклянная трубка; 21 – индикатор; 22 – держатель индикатора; 23 – опорная пятка индикатора; 24 – шарик; 25 – образец испытываемого грунта

Компрессионный и компрессионно-фильтрационный прибор тарируют на сжатие с помощью металлического вкладыша. Максимальное давление при тарировке принимают равным 1,0 МПа, нагружение ступенями давления – 0,05 МПа с выдержкой по 2 мин.

На рис. 5 приведена принципиальная схема установки для испытаний грунта методом трехосного сжатия, дающей возможность бокового расширения образца грунта в условиях трехосного осесимметричного статического нагружения при  $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ , где  $\sigma_1$  – максимальное главное напряжение;  $\sigma_2, \sigma_3$  – минимальные, или же промежуточные главные напряжения.

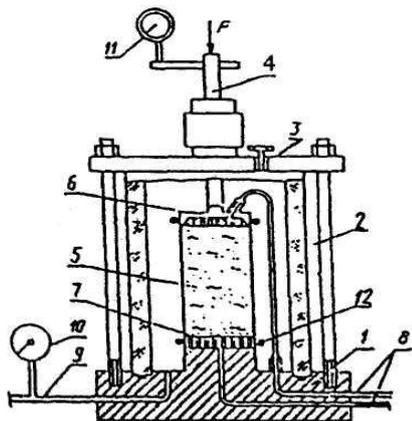


Рис. 5. Принципиальная схема установки для испытаний грунта методом трехосного сжатия  
 1 – основная камера; 2 – корпус камеры; 3 – вентиль для выпуска воздуха; 4 – шток; 5 – образец грунта в оболочке; 6 – верхний штамп; 7 – нижний штамп; 8 – трубка для дренажирования и измерения давления в поровой жидкости; 9 – трубка для заполнения камеры и измерения давления в камере; 10 – манометр; 11 – индикатор; 12 – уплотнитель.

## 5.2. Методика компрессионных испытаний

### 5.2.1. Подготовка к компрессионным испытаниям

Образец грунта указанного выше размера помещают в рабочее кольцо, взвешивают, покрывают с торцов влажными фильтрами и помещают в компрессионный прибор. При этом проводят следующие операции:

- устанавливают образец на перфорированный штамп;
- регулируют механизм нагружения образца;
- устанавливают прибор для измерения вертикальных деформаций;
- записывают начальные показания приборов.

При необходимости водонасыщение образца проводят путем фильтрации воды снизу вверх под арретиром. Для этого заполняют поддон водой. Водонасыщение проводят для глинистых грунтов в течение 2–5 суток, для песков – до момента появления воды под штампом.

При испытании для определения характеристик суффозионной сжимаемости дополнительно к физическим характеристикам должны быть определены: коэффициент фильтрации по ГОСТ 25584–90 «Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации», количество легко- и среднерастворимых солей (степень засоленности) и их качественный состав (по результатам анализа водной и солянокислой вытяжек). По специальному заданию для засоленных глинистых грунтов определяют емкость поглощения и состав обменных катионов.

## 5.2.2. Проведение испытаний

### Определение коэффициента сжимаемости ( $m_o$ ), модуля деформации ( $E$ ), структурной прочности на сжатие $P_{str}$ :

Испытания проводят посредством равномерного нагружения образцов ступенями нагрузки. Первая и последующие ступени давления назначаются в зависимости от типа грунта.

При испытании **песков**, в том числе заторфованных, первая ступень нагрузки ( $P_1$ ) принимается в зависимости от коэффициента пористости –  $e$  по табл. 15. Последующие ступени давления  $P_i$  принимают равными 0,0125; 0,025; 0,05; 0,1 МПа и далее с интервалом 0,1 МПа до заданного значения нагрузки.

Таблица 15 – Величины ступеней давления в зависимости от коэффициента пористости

Коэффициент пористости, $e$	$e \geq 0,75$	$0,75 > e > 0,6$	$e \geq 0,6$
Первая ступень давления $P_1$ , МПа	0,0125	0,025	0,05

**Глинистые грунты** обладают структурной прочностью. Для определения структурной прочности на сжатие  $P_{str}$  глинистых, в том числе органоминеральных, первую и последующие ступени давления принимают равными 0,0025 МПа до момента начала сжатия образца грунта. Начало сжатия следует считать при относительной вертикальной деформации образца грунта  $\varepsilon > 0,005$ . Дальнейшее нагружение образца осуществляется ступеню давления, которая равна большему ближайшему значению вышеуказанных ступеней давления  $P_i$ .

При определении структурной прочности  $P_{str}$  **глинистых водонасыщенных** грунтов следует учитывать возможность их разуплотнения после отбора образца и подъема его на поверхность посредством определения величины относительного разуплотнения ( $\varepsilon_i$ ), вычисляемой по формуле (3)

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_n}{h} = \frac{e_o(1 - S_r)}{1 + e_o}, \quad (3)$$

где  $\Delta h_n$  – увеличение высоты образца при разуплотнении, см;

$h$  – высота образца до испытания, см;

$e_o$  – начальный коэффициент пористости грунта после подъема образца на поверхность;

$S_r$  – коэффициент водонасыщения грунта после подъема образца на поверхность.

На каждой ступени нагружения образца грунта снимают отсчеты по приборам для измерения вертикальных деформаций. Отсчеты снимают в следующей последовательности: первый отсчет – сразу после приложения нагрузки, затем через 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30 минут и далее с интервалом 1ч в течение рабочего дня, а затем в начале и конце рабочего дня **до условной стабилизации деформации** образца.

За критерий условной стабилизации деформации образца принимают скорость деформации образца, не превышающую 0,01 мм за последние 4 ч наблюдений для песков, 16 ч – для глинистых и 24 ч – для органоминеральных и органических грунтов.

Вышеизложенное о назначении ступеней давления и времени их выдержки рекомендуется применять при испытании насыпных грунтов с заданными плотностью и влажностью. Для данных грунтов ступени давления и время их выдержки могут назначаться в зависимости от начального коэффициента увлажнения  $K_w$  по табл. 16.

Таблица 16 – Величины ступеней давления и времени их выдержки в зависимости от начального коэффициента увлажнения

$K_w$	$P_i$	$\Delta t_i$ , ч
< 1,2	0,02	1
1,20-1,25	0,015	3
1,26-1,35	0,010	10
>1,35	0,01	24

При разгрузке образца регистрация деформации образца производится в последовательности обратной порядку нагружения с учетом упомянутого выше критерия условной стабилизации.

После окончания испытания образца грунта необходимо удалить воду сверху образца и из поддона, опустить арретир, снять нагрузку, взвесить рабочее кольцо с грунтом, определить влажность и массу сухого грунта.

Результаты испытаний заносятся в журнал, имеющий нижеприведенную форму.

Журнал

испытания грунта методом компрессионного сжатия

Номер образца \_\_\_\_\_

Дата испытаний	Температура испытания, $T^{\circ}C$	Время снятия отсчета, $t_i$ , ч	Время от начала опыта $t_i$ , ч	Номер ступени нагружения	Масса груза на подвеске рычага, кг	Давление на образец грунта, $P_i$ , МПа	Показания индикатора деформаций			Абсолютная деформация образца $\Delta h_i$ , мм	Поправка на деформацию прибора $\Delta$ , мм	Абсолютная деформация с учетом поправки $\Delta h_i - \Delta$ .	Относительная деформация образца $\epsilon$	Примечание
							$h_1$	$h_2$	среднее					

### 5.2.3. Обработка результатов

По результатам испытаний грунта в компрессионном приборе определяется величина относительной деформации сжатия образцов грунта ( $\varepsilon$ ) при соответствующих значениях давлениях ( $P$ , МПа) по формуле 4:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h}, \quad (4)$$

где  $\Delta h_i$  – абсолютная деформация,  $h$  – высота образца.

По величинам относительной деформации строится график зависимости относительных деформаций от вертикального давления  $\varepsilon = f(p)$ . На рис. 6. дан образец графического оформления результатов испытания грунта

Вычисляют коэффициенты пористости ( $e_i$ ) по значениям относительной деформации ( $\varepsilon_i$ ) взятым с графика при любом давлении ( $P_i$ ) по формуле:

$$e_i = e_0 - \varepsilon_i (1 + e_0), \quad (5)$$

где  $e_0$  – начальный коэффициент пористости.

Коэффициент сжимаемости  $m_o, \text{МПа}^{-1}$ , в заданном интервале давлений  $P_i$  и  $P_{i+1}$ . вычисляется с точностью  $0,001 \text{ МПа}^{-1}$  по формуле:

$$m_o = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i}, \quad (6)$$

где  $e_i, e_{i+1}$  – коэффициенты пористости, соответствующие давлению  $P_{i+1} \dots P_i$ ;

Модуль деформации  $E$ , МПа в интервале давления от  $P_i$  и  $P_{i+1}$ . Вычисляют с точностью  $0,1 \text{ МПа}$  по формуле:

$$E = \frac{1 + e_0}{m_o} \times \beta, \quad (7)$$

где  $m_o$  – коэффициент сжимаемости,

$e_0$  – коэффициент пористости,

$\beta$  – поправка, учитывающая отсутствие бокового расширения грунта в компрессионном приборе, принимаемая для песков –  $0,8$ , супесей –  $0,7$ , суглинков –  $0,5$ , глин –  $0,4$ .

### 5.3. Варианты заданий для определения характеристик $m_o, E$

Во всех заданиях приведены результаты компрессионных испытаний грунтов при естественной влажности. В табл. 17 приведены показатели физических свойств, определяемые лабораторными методами. По известным формулам рассчитать остальные показатели и заполнить табл. 17.

В табл. 18 для вышеуказанных вариантов приведены значения абсолютной деформации грунта, полученные в результате компрессионных испытаний грунта.

В табл. 19 по ниже приведенной форме привести результаты обработки компрессионных испытаний.

Таблица 17 – Физико-механические свойства грунтов

Варианты	Показатели свойств грунта										
	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	W, %	$S_r$ , д.е.	n, д.е.	e, д.е.	$W_L$ , %	$W_P$ , %	$I_P$ , д.е.	$I_L$ , д.е.
1	2,70	2,0		23				42	22		
2	2,68	2,08		22				36	21		
3	2,68	2,01		25				33	22		
4	2,73	1,85		35				80	39		
5	2,73	1,96		21				53	27		
6	2,68	2,03		26				30	22		
7	2,68	2,03		24				32	21		
8	2,70	2,04		18				43	20		
9	2,68	1,99		25				35	25		
10	2,70	2,10		16				42	20		
11	2,73	2,01		25				58	24		
12	2,73	2,04		25				64	25		
13	2,70	2,09		19				46	22		
14	2,68	2,01		27				36	23		
15	2,70	2,07		22				46	21		
16	2,74	1,96		20				51	25		
17	2,67	2,01		23				31	20		
18	2,71	1,99		25				34	21		
19	2,67	2,02		24				36	25		
20	2,72	1,98		22				54	23		

Таблица 18 – Результаты компрессионных испытаний

Условия испытаний. При естественной влажности. Высоте кольца – 2,5 см

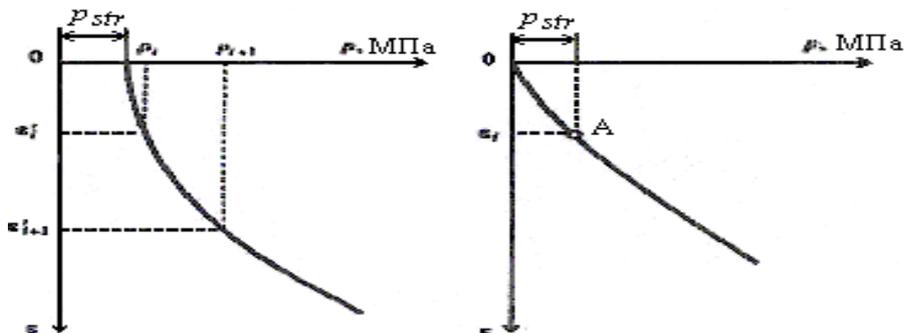
Давление на образец P, МПа	Абсолютная деформация, $\Delta h_i$ , мм									
	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,050	0,34	0,4	0,13	0,08	0,14	0,11	0,16	0,27	0,30	0,10
0,1	0,43	0,54	0,25	0,14	0,19	0,23	0,30	0,39	0,40	0,18
0,15	0,49	0,67	0,37	0,20	0,28	0,38	0,46	0,48	0,48	0,22
0,2	0,58	0,75	0,53	0,30	0,37	0,48	0,58	0,55	0,58	0,29
0,25	0,69	0,85	0,59	0,38	0,45	0,56	0,72	0,61	0,70	0,37
0,3	0,75	0,95	0,67	0,45	0,53	0,62	0,85	0,85	0,74	0,42
$\beta$	0,743	0,565	0,534	0,565	0,9	0,534	0,534	0,9	0,565	0,9

Давление на образец P, МПа	Абсолютная деформация - $\Delta h_i$ , мм									
	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,050	0,33	0,16	0,04	0,10	0,14	0,36	0,09	0,06	0,12	0,31
0,1	0,45	0,22	0,10	0,26	0,19	0,45	0,15	0,12	0,24	0,43
0,15	0,51	0,30	0,15	0,42	0,26	0,451	0,21	0,17	0,40	0,49
0,2	0,57	0,37	0,22	0,58	0,36	0,60	0,31	0,24	0,56	0,55
0,25	0,68	0,42	0,27	0,7	0,40	0,71	0,39	0,29	0,68	0,66
0,3	0,73	0,47	0,33	0,82	0,45	0,76	0,46	0,35	0,80	0,71
$\beta$	0,743	0,9	0,534	0,534	0,743	0,734	0,534	0,534	0,534	0,734

Таблица 19 – Обработка результатов компрессионных испытаний

Давление на образец P, МПа	Абсолютная деформация. $\Delta h_i$ , мм	Относительная деформация, $\epsilon_i = \Delta h_i / h$	Коэффициент пористости, $e_i$	Коэффициент уплотнения, $m_o$ , МПа <sup>-1</sup>	Модуль деформации, E, МПа
0,0500					
0,1000					
0,200					
0,250					
0,300					

Построить график зависимости относительной деформации от давления. Структурную прочность грунта ( $P_{str}$ ) принять равной 0,01МПа.



*Относительное сжатие водонасыщенного грунта в зависимости от давления P*

*Относительное сжатие глинистого грунта при частичном разуплотнении в зависимости от давления P*

Рис. 6. График  $\epsilon = f(p)$

Масштаб графиков: по горизонтали 10 мм – 0,025 МПа для P; по вертикали 10 мм – 0,02 для  $\epsilon$ .

A – точка графика, принимаемая по ординате равной  $\epsilon = \Delta h_i / h$ ;  $P_{str}$  – структурная прочность при испытании грунта в компрессионном приборе

**Вывод сделать по следующей схеме:** Наименование типа грунта, разновидности по показателю текучести, привести значения показателей природной влажности, плотности и коэффициента пористости, отметить особенность изменения величины относительной деформации, коэффициента уплотнения и модуля деформации в интервале нагрузок.

## **Тема 6. Прочностные свойства грунтов. Методика изучения. Обработка результатов**

**Цель.** Ознакомиться с методом и методикой определения сопротивления срезу образцов грунтов на одноплоскостных срезных приборах с фиксированной плоскостью среза, применяемых при исследованиях грунтов оснований фундаментов зданий и сооружений.

### **Задание.**

1. Ознакомиться с ГОСТ 12248–96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости». Дать краткое описание прибора, используемого для определения прочностных характеристик по методу одноплоскостного среза.

2. Ознакомиться с методикой проведения опыта на срез. Описать методику лабораторных испытаний грунта. При описании методики отразить применяемые схемы испытаний, особенности их выбора и обоснование размера ступеней.

3. По представленным данным, полученным при испытании образца на срез построить график зависимости сопротивления грунта срезу от нормального давления,  $\tau = f(\sigma)$ .

4. Вычислить по формулам угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $C$ , МПа.

5. По результатам лабораторных испытаний сделать вывод о прочности исследованного образца грунта.

### **Контрольные вопросы.**

1. В чем заключается сущность метода одноплоскостного среза?

2. Охарактеризуйте основные схемы испытаний грунтов методом одноплоскостного среза. Каковы основные критерии выбора схемы испытаний и размера ступеней нагрузок?

3. Охарактеризовать принципиальные особенности установки, используемой для испытаний образцов грунта методом одноплоскостного среза.

4. В чем заключаются особенности проведения испытаний образцов по схеме консолидированного–дренированного одноплоскостного среза?

5. В чем заключаются особенности проведения испытаний образцов по схеме неконсолидированного–недренированного одноплоскостного среза?

6. Какие способы используются при обработке результатов, полученных при испытании образцов грунтов методом одноплоскостного среза? В чем суть этих способов?

## 6.1. Общие сведения о методе одноплоскостного среза и используемом оборудовании

Испытание грунта методом одноплоскостного среза проводят для определения следующих характеристик прочности: сопротивления грунта срезу  $\tau$ ; угла внутреннего трения  $\varphi$ ; удельного сцепления  $c$  для песков (кроме гравелистых и крупных), глинистых и органо-минеральных грунтов.

Эти характеристики определяют по результатам испытаний образцов грунта в одноплоскостных срезных приборах с фиксированной плоскостью среза путем сдвига одной части образца относительно другой его части касательной нагрузкой при одновременном нагружении образца нагрузкой, нормальной к плоскости среза. Не допускается испытывать грунты, выдавливаемые в процессе испытания в зазор между подвижной и неподвижной частями срезной коробки.

Сопротивление грунта срезу определяют как предельное среднее касательное напряжение, при котором образец грунта срезается по фиксированной плоскости при заданном нормальном напряжении. Для определения  $c$  и  $\varphi$  необходимо провести не менее трех испытаний при различных значениях нормального напряжения.

Для испытаний используют образцы грунта ненарушенного сложения с природной влажностью или в водонасыщенном состоянии, или образцы нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности (в т.ч. при полном водонасыщении), или образцы, отобранные из уплотненного массива, для искусственно уплотненных грунтов.

Образцы просадочных грунтов испытывают в водонасыщенном состоянии, в необходимых случаях сопротивление срезу для просадочного грунта может определяться при природной влажности или при влажности на границе раскатывания, если последняя превышает природную;

Образцы набухающих грунтов испытывают при природной влажности. В необходимых случаях – в условиях полного водонасыщения после стабилизации свободного набухания или набухания (уплотнения) при заданном нормальном давлении;

Образцы засоленного грунта испытывают после предварительно выщелоченного грунта после стабилизации суффозионной осадки при заданном нормальном давлении;

Образцы насыпных грунтов – при их максимальной, требуемой или достигаемой плотности.

Образцы должны иметь форму цилиндра диаметром не менее 70 мм и высотой от 1/2 до 1/3 диаметра. Для однородных глинистых грунтов (без включений) допускается при испытаниях в полевых лабораториях уменьшать диаметр образца до 56 мм.

В состав установки для испытания грунта методом одноплоскостного среза должны входить:

- срезная коробка, состоящая из подвижной и неподвижной частей и включающая рабочее кольцо с внутренними размерами не менее 70 мм, жестких сплошного и перфорированного штампов;

- механизм для вертикального нагружения образца;

- механизм создания касательной нагрузки;

- устройства для измерения деформаций образца и прикладываемой нагрузки.

Для испытания образца песчаных грунтов применяют срезную коробку с нижней подвижной частью.

Конструкция срезного прибора должна обеспечивать первоначальное вертикальное давление на образец (от веса штампа и измерительных приборов на нем) не более 0,025 МПа.

При тарировке срезной коробки в соответствии с паспортом на прибор устанавливают поправки на преодоление трения подвижной части срезной коробки.

При необходимости предварительного уплотнения образца могут применяться уплотнители, позволяющие производить уплотнение при заданном давлении и сохранении природной или заданной влажности, а также в условиях полного водонасыщения.

В состав уплотнителя должны входить следующие основные узлы:

- цилиндрическая обойма, в которую помещается рабочее кольцо с образцом;

- жесткий перфорированный штамп;

- механизм для вертикального нагружения образца;

- ванна для водонасыщения образца;

- гидроизолирующие элементы;

- устройство для измерения вертикальных деформаций образца.

## **6.2. Методика испытаний**

### **6.2.1. Подготовка к испытаниям**

Испытания проводят по следующим схемам:

- консолидированно-дренированное испытание – для песков и глинистых грунтов независимо от их степени влажности в стабилизированном состоянии;

- неконсолидированно-недренированное испытание – для водонасыщенных глинистых и органо-минеральных грунтов в нестабилизированном состоянии и просадочных грунтов, приведенных в водонасыщенное состояние замачиванием без приложения нагрузки.

Изготовленный образец взвешивают и в зависимости от схемы испытания и вида грунта приступают или к его предварительному уплотнению, или сразу к испытанию на срез.

Предварительное уплотнение образца при консолидированно-дренированном испытании проводят непосредственно в рабочем кольце срезного прибора или в уплотнителе.

При предварительном уплотнении в уплотнителе рабочее кольцо с подготовленным образцом грунта следует поместить в обойму уплотнителя, а затем собранную обойму установить в ванну уплотнителя на перфорированный

вкладыш (предварительно торцы образца необходимо покрыть влажным бумажным фильтром). Далее необходимо установить на образец перфорированный штамп, произвести регулировку механизма нагрузки, установить приборы для измерения вертикальных деформаций грунта и записать их начальные показания.

Для испытаний образцов грунта в условиях полного водонасыщения необходимо предварительно замочить образцы, заполнив ванну уплотнителя водой.

При испытании просадочных грунтов, имеющих природную влажность меньше  $W_p$ , необходимо доувлажнить образцы до влажности, равной  $W_p$ .

Образцам набухающих грунтов, предназначенным для определения сопротивления срезу в условиях полного водонасыщения после стабилизации деформаций набухания при заданном нормальном давлении  $P$ , необходимо передать до начала замачивания давление  $p$ . Время насыщения образцов водой должно быть не менее значений, указанных в табл. 20

При проведении испытаний на повторный срез образец грунта разрезают на две части острым ножом или леской по плоскости первого среза, тщательно заравнивают торцевые поверхности обеих половин, соединяют их между собой и помещают в рабочее кольцо срезного прибора.

## **6.2.2. Проведение испытаний**

### **6.2.2.1. Проведение консолидированно-дренированного испытания**

Предварительное уплотнение образца, за исключением образцов просадочных грунтов, испытываемых в водонасыщенном состоянии, производят при нормальных давлениях  $p$ , при которых определяют сопротивление срезу –  $\tau$ . Нормальные давления передают на образец грунта ступенями  $\Delta p$ .

Значения  $p$  и  $\Delta p$  приведены в табл. 20.

Каждую ступень давления при предварительном уплотнении выдерживают в течение времени, указанного в таблице 20, а конечную ступень – до достижения условной стабилизации деформаций сжатия образца грунта.

Таблица 20 – Время насыщения образцов водой

Грунты	Время насыщения образцов водой, не менее	Время выдерживания ступеней, не менее	Время условной стабилизации деформаций сжатия на конечной ступени, не менее
Пески Глинистые (непросадочные и ненабухающие): - супеси - суглинки с $I_p < 12$ - суглинки с $I_p > 12$ - глины с $I_p < 22$ - глины с $I_p > 22$	3 ч  6 ч 12 ч 24 ч 12 ч 36 ч	5 мин 30 мин	20 мин
Просадочные	Как для непросадочных	30 мин	2 ч 6 ч 12 ч 12 ч 12 ч 3 ч
Набухающие	До достижения условной стабилизации деформации набухания – 0,1 мм за 24 ч	30 мин	Как для ненабухающих

За критерий условной стабилизации деформации принимают ее приращение, не превышающее 0,01 мм за время, указанное в табл. 20.

В процессе предварительного уплотнения образцов грунта, а при их испытаниях в водонасыщенном состоянии и в период замачивания регистрируют в журнале испытаний вертикальные деформации образцов. В конце каждой ступени нагружения записывают показания приборов для измерения деформаций, а на последней ступени так, чтобы зафиксировать наступление условной стабилизации деформации сжатия образца грунта.

При замачивании образца грунта вертикальные деформации следует фиксировать по окончании замачивания, а для набухающих грунтов фиксируют наступление условной стабилизации деформации набухания (табл. 20).

После предварительного уплотнения, если оно проводилось в уплотнителе, следует быстро разгрузить образец и перенести рабочее кольцо с образцом в срезную коробку. Далее закрепляют рабочее кольцо в срезной коробке, устанавливают перфорированный штамп, производят регулировку механизма нагрузки, устанавливают зазор 0,5-1 мм между подвижной и неподвижной частями срезной коробки, устанавливают измерительную аппаратуру для

регистрации вертикальных деформаций образца и записывают ее начальное показание в журнале испытания.

Таблица 21 – Величины нормального давления и ступеней давления, рекомендуемые при испытаниях различных типов грунтов

Грунты	Нормальное давление при предварительном уплотнении	Ступени давления
Пески средней крупности плотные; глины с $I_L < 0$	0,1; 0,3; 0,5	0,1
Пески средней крупности и средней плотности; пески мелкие плотные и средней плотности; супеси и суглинки с $I_L \leq 0,5$ ; глины с $0 < I_L \leq 0,5$	0,1; 0,2; 0,3	0,05
Пески средней крупности и мелкие рыхлые; «пески пылеватые независимо от плотности; супеси, суглинки и глины с $I_L > 0,5$	0,1; 0,15; 0,2	0,025 до $p = 0,1$ и далее 0,05

Примечание – Нормальные давления  $P$  при предварительном уплотнении образцов просадочного грунта, испытываемых в водонасыщенном состоянии, должны составлять 0,3 МПа и возрастать ступенями  $\Delta p = 0,05$  МПа

В случае предварительного уплотнения образцов грунта в условиях полного водонасыщения перед разгрузкой образца удаляют воду из ванны уплотнителя.

На образец грунта передают то же нормальное давление, при котором происходило предварительное уплотнение грунта, за исключением образцов просадочного грунта, испытываемых в водонасыщенном состоянии. В этом случае нормальное давление при срезе должно составлять 0,1; 0,2; 0,3 МПа.

Испытание на повторный срез выполняют при том же нормальном давлении, при котором был осуществлен первый срез.

Нормальную нагрузку следует передать на образец в одну ступень и выдержать ее не менее:

- 5 мин – для песков;
- 15 мин – для супесей;
- 30 мин – для суглинков и глин;
- 10 мин – при повторном срезе.

После передачи на образец грунта нормальной нагрузки приводят в рабочее состояние механизм создания касательной нагрузки и устройство для измерения деформаций среза грунта и записывают его начальное показание.

При передаче касательной нагрузки ступенями их значения должны составлять 5 % от значения нормальной нагрузки, при которой производят срез. На каждой ступени нагружения записывают показания приборов для измерения деформаций среза через каждые 2 мин, уменьшая интервал между измерениями до 1 мин в период затухания деформации до ее условной стабилизации.

За критерий условной стабилизации деформации среза принимают скорость деформации, не превышающую 0,01 мм/мин.

При непрерывно возрастающей касательной нагрузке скорость среза должна быть постоянной и соответствовать указанной в табл. 21. Деформации среза фиксируют не реже чем через 2 мин.

Таблица 22 – Величины скорости среза для различных типов грунтов

Грунты	Скорость среза, мм/мин
Пески	$\leq 0,5$
Супеси	$\leq 0,1$
Суглинки	$\leq 0,05$
Глины с $I_p < 30 \%$	$\leq 0,02$
Глины с $I_p > 30 \%$	$\leq 0,01$

Испытание следует считать законченным, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит мгновенный срез (срыв) одной части образца по отношению к другой или общая деформация среза превысит 5 мм.

При проведении среза с постоянной скоростью за окончание испытаний принимают момент, когда срезающая нагрузка достигнет максимального значения, после чего наблюдается некоторое ее снижение или установление постоянного значения, или общая деформация среза превысит 5 мм.

После окончания испытания следует разгрузить образец, извлечь рабочее кольцо с образцом из прибора и отобрать пробы для определения влажности из зоны среза образца.

#### 6.2.2.2. Проведение неконсолидированно-недренированного испытания

Рабочее кольцо с образцом грунта помещают в срезную коробку и закрепляют в ней. Далее устанавливают сплошной штамп, производят регулировку механизма нагрузки, устанавливают зазор **0,5–1 мм** между подвижной и неподвижной частями срезной коробки, устанавливают приборы для измерения деформации среза и записывают начальные показания.

На образец грунта передают сразу в одну ступень нормальное давление  $p$ , при котором будет производиться срез образца. Значения  $P$  принимают по табл. 22.

Если при давлениях 0,125 и 0,15 МПа происходит выдавливание грунта в зазор между подвижной и неподвижной частями срезной коробки, необходимо их уменьшить на 0,025 МПа.

Таблица 23 – Рекомендуемые нормальные значения давления для различных типов грунтов

Грунты	Нормальное давление $p$ , МПа
Глинистые и органоминеральные грунты с показателем текучести: $I_L < 0,5$ $0,5 \leq I_L < 1,0$ $I_L \geq 1,0$	0,1; 0,15; 0,2
	0,05; 0,1; 0,15
	0,025; 0,075; 0,125

Сразу после передачи нормальной нагрузки приводят в действие механизм для создания касательной нагрузки и производят срез образца грунта не более чем за 2 мин с момента приложения нормальной нагрузки.

При передаче касательной нагрузки ступенями их значения не должны превышать 10 % значения нормального давления, при котором производится срез, и приложение ступеней должно следовать через каждые 10-15 с.

При передаче непрерывно возрастающей касательной нагрузки скорость среза принимают в интервале 2-3 мм/мин так, чтобы срез проходил в течение указанного времени.

По окончании испытания следует зафиксировать максимальную касательную нагрузку в процессе испытания.

В процессе испытания ведут журнал, по ниже приведенной форме.

Журнал  
испытания грунта на срез

Номер образца

Дата испытаний	Температура испытания, T °C	Время снятия отсчета, t <sub>1</sub> , ч	Время от начала опыта, t <sub>2</sub> , ч	Давление на образец грунта, P <sub>i</sub> , МПа	Масса груза на подвеске рычага, кг	Касательная нагрузка Q, кН	Касательное напряжение, τ, МПа	Показания индикатора деформаций среза	Абсолютная деформация среза l, мм	Абсолютная деформация среза с учетом поправки на трение в приборе l - Δ, мм	Приращение деформации среза Δ l, мм	Примечание
----------------	-----------------------------	--	---	--	------------------------------------	----------------------------	--------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	---	-------------------------------------	------------

### 6.2.3. Обработка результатов

По измеренным в процессе испытания значениям касательной и нормальной нагрузок вычисляют касательные (τ) и нормальные (σ) напряжения, МПа, по формулам\*

$$\tau = Q / A; \quad (8)$$

$$\sigma = F / A, \quad (9)$$

где Q и F – соответственно касательная и нормальная силы к плоскости среза, кН;  
A – площадь среза, см<sup>2</sup>.

Определение τ необходимо проводить не менее чем при трех различных значениях p.

Из каждого значения τ вычитают поправку за счет трения в приборе по заранее построенной тарировочной кривой. При фиксации хода испытаний автоматическими приборами в полученную диаграмму среза, также вносят поправку за счет трения в приборе.

По измеренным в процессе испытания значениям деформаций среза  $\Delta l$ , соответствующим различным напряжениям  $\tau$ , строят график зависимости  $\Delta l = f(\tau)$ .

За сопротивление грунта срезу принимают максимальное значение  $\tau$ , полученное по графику  $\Delta l = f(\tau)$  или диаграмме среза на отрезке  $\Delta l$ , не превышающем 5 мм.

Если  $\tau$  возрастает монотонно, то за сопротивление грунта срезу следует принимать  $\tau$  при  $\Delta l = 5$  мм.

Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $c$  определяют как параметры линейной зависимости

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (10)$$

где  $\tau$  и  $\sigma$  определяют по формулам (8), (9).

При проведении повторных срезов зависимость (10) записывают в виде

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + (\Sigma w + c_c), \quad (11)$$

где  $\Sigma w$  – удельное сцепление, определяемое по испытанию на повторный срез;  
 $c_c$  – часть общего удельного сцепления  $c$  за вычетом  $\Sigma w$

Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $c$ , МПа, вычисляют по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \Sigma \tau_i \sigma_i - \Sigma \tau_i \Sigma \sigma_i}{n \Sigma (\sigma_i)^2 - (\Sigma \sigma_i)^2}, \quad (12)$$

$$c = \frac{\Sigma \tau_i \Sigma \sigma_i^2 - \Sigma \sigma_i \Sigma \tau_i \sigma_i}{n \Sigma (\sigma_i)^2 - (\Sigma \sigma_i)^2}, \quad (13)$$

где  $\tau_i$  – опытное значение сопротивления срезу, определенное при различных значениях  $\sigma_i$  и относящиеся к одному инженерно-геологическому элементу или отдельному монолиту грунта (при  $n \geq 3$ );  $n$  – число испытаний.

График  $\Delta l = f(\tau)$

Масштабы графика: по горизонтали  
 10 мм – 1 мм для  $\Delta l$ ;  
 по вертикали 20 мм – 0,1 для  $\tau$

График  $\tau = f(\sigma)$

Масштабы графика: по горизонтали  
 20 мм – 0,1 МПа для  $\sigma$ ;  
 по вертикали 20 мм – 0,1 МПа для  $\tau$

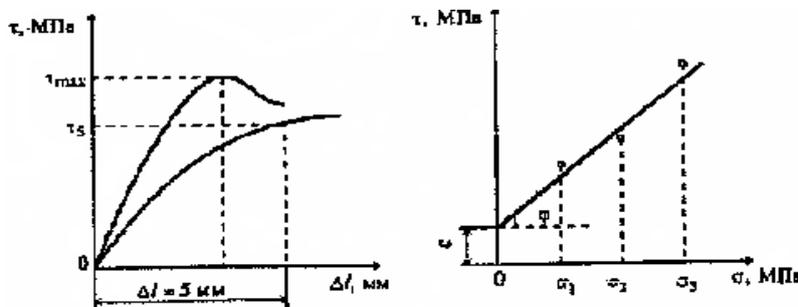


Рис. 7. Образец графического оформления результатов испытаний грунта методом одноплоскостного среза. \* Здесь и далее  $1 \text{ кН/см}^2 = 10 \text{ МПа}$ .

### 6.3. Варианты заданий для выполнения практической работы по теме «Определение прочностных свойств грунтов»

Во всех вариантах (табл. 24) применена схема испытаний на одноплоскостной срез – быстрое испытание, без уплотнения при естественной влажности. Высота кольца – 35 мм площадь кольца – 40 см<sup>2</sup>.

Таблица 24 – Результаты определения сопротивления образца грунта срезу

Нормальное давление при срезе, МПа	Сопротивление грунта срезу, МПа									
	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,1	0,060	0,055	0,080	0,060	0,065	0,065	0,070	0,085	0,075	0,060
0,2	0,110	0,093	0,105	0,115	0,118	0,135	0,125	0,110	0,100	0,135
0,3	0,145	0,120	0,135	0,165	0,175	0,175	0,155	0,130	0,118	0,170

Продолжение табл. 24

Нормальное давление при срезе, МПа	Сопротивление грунта срезу, МПа									
	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,1	0,065	0,088	0,090	0,060	0,065	0,065	0,035	0,080	0,065	0,080
0,2	0,130	0,120	0,120	0,135	0,130	0,100	0,060	0,110	0,110	0,120
0,3	0,170	0,185	0,131	0,170	0,170	0,140	0,085	0,160	0,170	0,180

График зависимости сопротивления грунта срезу от нормального давления  $\tau = f(\sigma)$  построить согласно рекомендаций, приведенных на рис. 7.

Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $c$ , МПа вычислить по формулам (12) и (13).

Вывод о прочности исследованного образца грунта. Например. Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление равны 15 град и 0,02 МПа, соответственно. Значения прочностных характеристик полученных графическим и аналитическим методами близки (отличаются незначительно).

### Тема 7. Классификации геологических и инженерно-геологических процессов и явлений

**Цель.** Ознакомиться с инженерно-геологическими классификациями современных геодинамических процессов и принципами их составления.

**Задание.**

1. Ознакомиться с известными классификации и принципами их составления.
2. Составить инженерно-геологическую классификацию и описать геодинамическую обстановку на территории (по карте, выданной преподавателем).

### **Контрольные вопросы.**

1. Назовите основные факторы, влияющие на развитие геодинамической обстановки.
2. В чем различие между факторами и условиями?
3. Как разделяются классификации по практическому назначению?
4. Какой основной классификационный признак применен при составлении общих классификаций?

### **7.1. основополагающие термины и понятия инженерной геодинамики**

Геодинамическая обстановка – совокупность природных геологических и антропогенных инженерно-геологических процессов и созданных ими явлений. Особенности геодинамической обстановки могут существенно влиять на:

- на устойчивость сооружений,
- выбор места для строительства,
- условия жизни людей и т.п.

Инженерно-геологическими процессами и явлениями называются современные геодинамические процессы и явления в горных породах, вызванные инженерной деятельностью человека.

**Процесс** в горных породах – это то, что приводит горные породы в движение, меняет их состояние, строение, состав и свойства и предопределяет формирование новых генетических типов отложений, новых форм рельефа на поверхности и внутри массива.

**Явление** – это результат процесса (тип пород, форма рельефа).

Процесс и явления неразделимы. При оценке геодинамической обстановки необходимо знать причины того или иного процесса.

**Причина процесса** – геологическая деятельность природных факторов и человека. Основными причинами могут быть: действие агентов выветривания, деятельность поверхностных, деятельность подземных вод, паводки на горных реках, действие гравитационных сил, деятельность ветра, промерзание и оттаивание грунтов, действие внутренних сил в породах, действие внутренних сил Земли, инженерная деятельность человека.

**Условия и факторы** – это то, что предопределяет и способствуют проявлению процессов, либо сдерживающие их проявление. Ими являются основные компоненты ИГУ: горные породы, геологическое строение, гидрогеологические и геоморфологические условия и др.

Современные геологические и инженерно-геологические процессы и явления: выветривание, карст, сели, оползни, обвалы, просадочные явления в лессовых породах, овраги, болота и заболоченные земли, суффозия, эоловые

процессы, пывуны, землетрясения, речная эрозия, осыпи и др.

## 7.2. Классификации инженерно-геологических процессов и явлений и принципы их составления

В настоящее время в инженерной геодинамике разработано очень много классификаций инженерно-геологических процессов и явлений. Все классификации объединяются в четыре группы: 1) общие; 2) региональные; 3) частные; 4) специальные.

**Общие классификации** составляются для всех геологических и инженерно-геологических процессов и явлений в целом.

**Региональные** – классификации процессов и явлений каких-то регионов.

**Частные** – классификации отдельных процессов и явлений.

**Специальные** – классификации для конкретных видов хозяйственной деятельности, для решения конкретных задач.

Первая общая классификация геологических процессов и явлений была составлена Ф.П. Саваренским. Основным классификационным признаком является генезис. В ней выделены различные физико-геологических явлений и категории. Например, явления связанные с деятельностью поверхностных вод и категории (морская и речная абразия, размыв склонов, сели) и т.д. В дальнейшем при разработке классификаций сохраняется генетический подход. С учетом предложений различных авторов, обобщенная классификация представляется в следующем виде (табл.25). При решении практических задач инженерной защиты территорий и сооружений от опасных геологических процессов и явлений общая классификация процессов и явлений представлена с СНиП 2.01.15–90 [8].

По карте, выданной преподавателем составить инженерно-геологическую классификацию, руководствуясь табл. 25 и описать геодинамическую обстановку на территории, охарактеризовав основные факторы и условия влияющие на геодинамическую обстановку, а также категории пород в которых развиваются процессы и явления по ГОСТ 25100-2011.

Таблица 25 – Общая инженерно-геологическая классификация процессов и явлений

Причины возникновения и развития процессов	Геологические процессы и явления
1. Деятельность агентов выветривания	Выветривание.
2. Деятельность поверхностных вод (морей, озер, рек, каналов)	Подмыв берегов и их обрушение (эрозия, абразия), размыв склонов (овраги), сели.
3. Деятельность подземных вод	Суффозия и пывуны
4. Деятельность подземных и поверхностных вод	Болота, просадки, карст
5. Действие гравитационных сил	Оползни, обвалы, осыпи, лавины
6. Промерзание и оттаивание грунтов	Пучение, термокарст, наледи и т.д.
7. Действие внутренних сил в породах	Набухание, усадка, разуплотнение
8. Деятельность ветра	Эоловые процессы
9. Действие внутренних сил Земли	Землетрясения, вулканы.
10. Инженерная деятельность человека	Осадка, сжатие, горно-геологические процессы

## **Тема 8. Инженерно-геологические карты и принципы их составления**

**Цель работы.** Знакомство с видами инженерно-геологических карт, принципами их составления, чтение карт.

### **Задание.**

1. Ознакомиться с различными типами инженерно-геологических карт, принципами их составления и способами отображения на картах различных природных факторов.
2. Проанализировать и кратко охарактеризовать инженерно-геологические карты. При анализе и характеристике карты необходимо определить ее масштаб и назначение, принцип составления, кратко описать содержание, отметить способы изображения ИГУ и категории выделяемых на карте пород.

### **Общие сведения о картах и картировании**

Инженерно-геологические карты различаются по масштабу, назначению, принципам составления и содержанию.

В соответствии с масштабами съемок инженерно-геологические карты разделяются на мелкомасштабные (масштаб 1:1 000 000 и мельче), среднемасштабные (масштаб 1:500 000 – 1:100 000) и крупномасштабные (масштаб 1:50 000 и крупнее). В зависимости от масштаба они имеют различное назначение.

**Мелкомасштабные** карты предназначены для планирования отраслей народного хозяйства, составления схем развития отраслей хозяйства, составления рабочих гипотез об инженерно-геологических условиях при отсутствии более детальных сведений, разработки региональных мероприятий по охране и рациональному использованию геологической среды.

**Среднемасштабные** карты предназначены для решения вопросов планирования на стадиях ТЭО, районной планировки городов и поселков, выбора вариантов трасс линейных сооружений и т.д.

**Крупномасштабные** карты предназначены для предпроектных проработок, обоснования строительного проектирования, сравнения и выбора вариантов, составления и выбора вариантов генпланов городов, поселков, компоновки сооружений, разработки защитных мероприятий, выборов типов фундаментов

На инженерно-геологических картах отображаются различные категории пород.

Под **категориями** пород или геологическими телами понимается определенный объем пород, выделенный по возрастным, генетическим, петрографическим признакам, по однородности состояния и свойств.

Впервые деление горных пород на категории для отображения на инженерно-геологических картах было предложено И.В. Поповым [11].

Таблица 26 – Категории пород, выделяемые на инженерно-геологических картах

Группы карт по масштабам	Категории выделяемых пород
Мелкомасштабные	Формации, стратиграфо-генетические комплексы, с характеристикой классов по характеру структурных связей
Среднемасштабные	Стратиграфо-генетические комплексы с характеристикой групп, типов и разновидностей пород и их соотношением в разрезе по ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация»
Крупномасштабные	Стратиграфо-генетические комплексы с характеристикой типов и разновидностей пород и их соотношением в разрезе по ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация». Инженерно-геологические элементы по ГОСТ 20522–2012 «Методы статистической обработки результатов испытаний».

На инженерно-геологических картах отображаются основные факторы инженерно-геологических условий; горные породы, рельеф, геоморфологические и гидрогеологические условия, а также геологические процессы и явления.

Способы изображения этих факторов регламентируются нормативным документом [13]. Практически же используются общепринятые в соответствующих отраслях знаний способы их обозначения (табл. 27).

По содержанию и принципам составления он разделяет их на 4 группы:

**1. Карты инженерно-геологических условий.** При этом рекомендуется разделять их на общие (синтетические и аналитические) и специальные (синтетические и аналитические).

На общих синтетических картах следует отображать весь комплекс природных факторов, отобранных для всех видов строительства:

Таблица 27 – Способы отображения на картах различных факторов ИГУ

Факторы ИГУ	Способ отображения
1. Горные породы	Возраст – индексом; генезис – цветом; состав – штриховкой; состояние – знаки различного цвета условия залегания – общепринятые обозначения
2. Геоморфология и рельеф	Геоморфология – общепринятые обозначения рельеф – изолинии
3. Гидрогеологические условия	общепринятые обозначения, изолинии, значки, штриховка и т.д.
4. Геологические процессы и явления	Цветом и значками

На специальных синтетических картах следует отображать весь комплекс природных факторов, отобранных для конкретных видов строительства.

На общих аналитических (или частных) – отображать один или несколько факторов инженерно-геологических условий (карты грунтовых толщ, просадочности, современных процессов и явлений, трещиноватости и т.д.).

На специальных аналитических – тоже, но применительно к конкретным видам строительства.

**2. Карты инженерно-геологического районирования.** Разделяются на общие и специальные. Это карты, на которых обособляются территории, участки однородные по инженерно-геологическим условиям.

На общих картах отображаются однородные по инженерно-геологическим условиям территории, пригодные для всех видов массового строительства.

На специальных картах – территории, пригодные для конкретного вида строительства.

**3. Прогнозные инженерно-геологические карты** – это карты, отображающие пространственно-временной прогноз изменения инженерно-геологических условий в процессе освоения территорий. Разделяются на *общие* и *специальные*.

На общих картах – прогноз изменения ИГУ вод воздействием основных видов массового освоения. На специальных картах – под воздействием конкретного вида строительства.

**4. Карты изменчивости геологической среды** – это новый вид карт, разрабатываемый в последнее десятилетие. На этих картах отображается комплекс природных и антропогенных геологических процессов и оценивается степень изменчивости геологической среды под влиянием деятельности человека. Эти карты содержат элементы карт ИГУ и карт районирования, но представляют самостоятельный тип. Разделяются на *общие* и *частные*.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Грунтоведение / Под ред. Е.М.Сергеева. - М.: МГУ, 1983.
2. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. – М.: Недра, 1984. – Том 2. Лабораторные методы.
3. ГОСТ 12536–79. Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава.
4. ГОСТ 5180–84. Грунты. Методы лабораторного определения физических свойств грунтов.
5. ГОСТ 12248–96 Грунты. Методы лабораторного определения прочности и деформируемости.
6. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Учебное пособие. – Л.: Недра, 1990.
7. Строкова Л.А. Грунтоведение. Лабораторный практикум. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002.
8. СНиП 2.01.15–90. Строительные нормы и правила. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. – М.: 1991.
9. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика. – М.: Изд-во МГУ, 1983.
10. Ломтадзе В.Д. Инженерная геодинамика. – М.: Недра, 1977.
11. Емельянова Т.Я. Инженерная геодинамика. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002.
12. Попов И.В. Инженерная геология СССР. – М.: Изд-во МГУ, 1961–1971. – ТТ. 1–4.
13. ГОСТ 21.302–96. Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям. – М., 1996.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Тема 1. Визуальное описание глинистых грунтов и классификационных показателей.....	3
Тема 2. Изучение методов и методик гранулометрического состава грунтов и способов его графического изображения .....	8
2.1. Гранулометрический состав песчаных и глинистых грунтов.....	12
2.2. Предварительная подготовка связных грунтов к гранулометрическому анализу.....	13
2.3. Способы графического изображения гранулометрического состава грунтов.....	13
Тема 3. Физико-механические свойства горных пород.....	18
Тема 4. Методы и методика изучения показателей физических свойств грунтов.....	23
4.1. Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы.....	25
4.2. Определение плотности грунта методом режущего кольца.....	26
4.3. Определение границы текучести.....	27
4.4. Определение границы раскатывания.....	28
Тема 5. Компрессионные свойства грунтов. Методика изучения. Обработка результатов.....	29
5.1. Общие сведения о методе компрессионного сжатия используемом оборудовании.....	30
5.2. Методика компрессионных испытаний.....	32
5.3. Варианты заданий для определения характеристик $m_0$ , $E$ .....	35
Тема 6. Прочностные свойства грунтов. Методика изучения. Обработка результатов.....	38
6.1. Общие сведения о методе одноплоскостного среза и используемом оборудовании.....	39
6.2. Методика испытаний.....	40
6.3. Варианты заданий для выполнения практической работы по теме «Определение прочностных свойств грунтов».....	47
Тема 7. Классификации инженерно-геологических процессов и явлений... ..	47
7.1. Основополагающие термины и понятия инженерной геодинамики... ..	48
7.2. Классификации инженерно-геологических процессов и явлений и принципы их составления.....	49
Тема 8. Инженерно-геологические карты и принципы их составления.....	50
Литература.....	53

Ольга Филипповна Зятева

## **ОБЩАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

Лабораторный практикум

Подписано к печати

Формат: 60 x 84/ 16. Бумага офсетная

Печать RISO. Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Уч. из.л. \_\_\_\_\_

Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_ Цена свободная

Издательство ТПУ. 634034, Томск, пр.Ленина, 30.