

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
«ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»
Кафедра общей геологии и гидрогеологии**

Методическое пособие к лабораторным работам

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

КАЗАНЬ

2024

УДК 551

*Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией
института геологии и нефтегазовых технологий КФУ
(Протокол № 9 от 15.05.2024)*

Рецензент:

к.г.-м.н., доцент **Кольчугин А.Н.**

Королев Э.А., Латыпов А.И., Гараева А.Н., Муравьев Ф.А., Усманов Р.М., Маннапова Л.М.

Инженерная геология / Методическое пособие к лабораторным работам (переиздание)/
Королев Э.А., Латыпов А.И., Гараева А.Н., Муравьев Ф.А., Усманов Р.М., Маннапова Л.М. —
Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2024. — с.40

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 05.03.01 «Геология». В работе приводятся описание порядка выполнения и обработки результатов лабораторных работ по курсу «Инженерная геология».

© **Королев Э.А., 2024**

© **Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2024**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОНЯТИЯ	6
1.ИЗУЧЕНИЯ РАЗМЕРА, КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТВЁРДОЙ КОМПОНЕНТЫ ГРУНТА	7
1.1.Разделение грунта на фракции без промывки водой.....	13
1.2.Разделение грунта на фракции с промывкой водой	15
1.3.Определение угла естественного откоса песчаного грунта.....	16
2.ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ	17
2.1.Определение плотности грунтов методом режущего кольца.....	19
2.2.Определение плотности твёрдой компоненты незасоленных грунтов пикнометрическим методом.....	20
2.3.Определение весовой влажности грунта термостатным методом	22
2.4.Расчёт пористости, коэффициента пористости, плотности скелета грунта и степени влажности.....	23
3.ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ	26
3.1.Определение влажности нижнего предела пластичности методом раскатывания в шнур ..	28
3.2.Определение влажности верхнего предела пластичности методом балансирного конуса ..	29
3.3.Расчёт числа пластичности, консистенции и коллоидной активности.....	30
3.4.Определение параметров усадочности грунта.	31
3.5.Определение размокаемости грунтов	33
ПРИЛОЖЕНИЕ	35
ЛИТЕРАТУРА	39

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее методическое пособие по курсу «Инженерная геология» для обучающихся по направлению подготовки 05.03.01 «Геология».

Основные понятия и термины (регламентированы ГОСТ 25100-2020), принятые в инженерной геологии, а также требования к определению инженерно-геологических параметров в лабораторных условиях изложены в главе 1. Главы 2, 3 представляют собой совокупность основных лабораторных методов, позволяющих оценить физические и физико-химические свойства грунтов, а также изучить размер, количественное и качественное содержание твёрдой компоненты грунтов. Приложение содержит вспомогательные таблицы, а также классификации, позволяющие оценить исследуемые грунты по полученным показателям. В приложение также включены формы лабораторных журналов, рекомендованные ГОСТами.

Описание работ в пособии даётся по единому плану: вначале приводится характеристика того или иного свойства (изучаемого показателя) с контрольными вопросами, затем необходимое оборудование и аппаратура для проведения исследований, далее - последовательность проведения испытаний и порядок обработки получаемых результатов.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

Грунты - Любая горная порода, почва, осадок и техногенные минеральные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы и часть геологической среды, изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью.

Грунты могут служить:

- 1) материалом оснований зданий и сооружений;
- 2) средой для размещения в них сооружений;
- 3) материалом самого сооружения.

Антропогенный грунт - грунт, созданный человеком, образованный в результате естественно-исторического освоения территорий (культурный слой), твердые бытовые и промышленные отходы, искусственные материалы, являющиеся (ставшие) компонентами геологической среды

Грунт скальный - грунт, имеющий необратимые жесткие структурные связи кристаллизационного и/или цементационного типа.

Грунт дисперсный (глина, песок, обломочный грунт) – грунт, состоящий из структурных элементов (совокупности твердых частиц), между которыми отсутствуют жесткие структурные связи.

Связный грунт - дисперсный грунт, прочностные и деформационные свойства которого определяются наличием физических и физико-химических структурных связей.

Несвязный грунт - дисперсный грунт, обладающий механическими структурными связями и сыпучестью в сухом состоянии.

Органическое вещество - органические соединения, входящие в состав грунта в виде неразложившихся остатков растительных и животных организмов, а также продуктов их разложения и преобразования.

Органический грунт - грунт, масса органического вещества в котором составляет не менее 50%.

Торф (торфяной грунт) - органический грунт болотного, озерного или аллювиально-болотного генезиса, содержащий в своем составе по массе 50% и более органического вещества, представленного преимущественно растительными остатками.

Грунт глинистый - связный грунт, обладающий свойством пластичности за счет преимущественного содержания минеральных частиц глинистой и пылеватой фракции $I_p \geq 1$.

Песок - несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером меньше 0,05-2 мм более 50% и числом пластичности $I_p < 1$ %.

Грунт крупнообломочный - несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером крупнее 2 мм составляет более 50%.

Техногенные грунты - естественные грунты, измененные, перемещенные или образованные в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Требования к определению инженерно-геологических параметров грунта. 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 таблице 1. Если разница превышает допустимую, количество определений следует увеличить.

При обработке результатов испытаний плотность вычисляют с точностью до 0,01 г/см³, влажность до 30% - с точностью до 0,1%, влажность 30% и выше - с точностью до 1%.

Погрешность измерения массы (взвешивания) не должна превышать:

при массе от 10 до 1000 г 0,02 г

от 1 до 5 кг 5 г

Данные о месте отбора образцов грунтов и результаты определений их физических характеристик записывают в журналах, форма которых приведена в приложении.

Таблица 1

Допустимая разница Δ результатов параллельных определений

	Влажность грунта W , %				
	1-5	>5-10	>10-50	>50-100	>100
Δ , %	0,2	0,6	2,0	4,0	5,0
	Влажность грунта на границе текучести W_L , %				
	до 80	80 и более			
Δ , %	2,0	4,0			
	Влажность грунта на границе раскатывания W_D , %				
	до 40	40 и более			
Δ , %	2,0	4,0			
	Плотность грунта ρ , г/см ³				
	Песчаные грунты	Пылевато-глинистые грунты			
Δ , г/см ³	0,04	0,03			
	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³				
	До 2,75	2,75 и более			
Δ , г/см ³	0,02	0,03			

Классификация грунтов осуществляется в соответствии с

ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» [7], которая построена по принципу:

- класс (подкласс) - по типу структурных связей;
- тип (подтип) - по генезису;
- вид (подвид) - по вещественному, петрографическому или литологическому составу;
- разновидность - по количественным показателям состава, строения, состояния и свойств грунтов.

Основные показатели состава и свойств грунтов для выделения разновидностей приведены в приложении А ГОСТ 25100-2020.

1. ИЗУЧЕНИЯ РАЗМЕРА, КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТВЁРДОЙ КОМПОНЕНТЫ ГРУНТА

Твёрдая компонента всех грунтов состоит из отдельных кристаллов, обломков кристаллов или обломков пород, которые называются структурными элементами. Размер структурных элементов изменяется в достаточно широком диапазоне. Глинистые частицы объединяются во фракцию <0,001 мм, пылеватые - от 0,001 мм до 0,05 мм, песчаные - 0,05-2 мм, гравий и дресва - 2-40 мм, галька и щебень 40-200 мм.

Все дисперсные породы состоят из частиц одной или нескольких фракций. Количественное содержание различных фракций первичных частиц в дисперсных породах характеризуется их гранулометрическим составом. **Гранулометрический состав** показывает, какого размера частицы и в каком количестве содержатся в том или ином грунте. При этом содержание каждой фракции выражается в процентах по отношению к массе высушенного образца. Тогда как **микроагрегатный** состав грунта следует определять по весовому содержанию в нем водостойких микроагрегатов различной крупности, выраженному в процентах по отношению к весу сухой пробы грунта, взятой для анализа.

Зерна грунта, близкие по размерам и свойствам, объединяют в группы, называемые гранулометрическими фракциями. Различают четыре фракции:

- гравийная с размером частиц крупнее 2 мм;
- песчаная с размером частиц 2 – 0,05 мм;
- пылеватая с размером частиц 0,05 – 0,005 (0,002) мм;
- глинистая с размером частиц мельче 0,005 (0,002) мм.

Каждая гранулометрическая фракция состоит из отдельных частиц, называемых гранулометрическими элементами (1, 0,1, 0,005 мм и т.д.) [5].

Согласно ГОСТ 12536-79 гранулометрический (зерновой) состав грунтов определяется с помощью методов, предусмотренных в таблице 2

Таблица 2

Методы определения гранулометрического состава

Грунты	Метод определения
Песчаные при выделении зерен песка крупностью:	
10 – 0,5 мм	Ситовой без промывки водой
10 – 0,1 мм	Ситовой с промывкой водой
Глинистые в зависимости от условий проведения анализа:	
лабораторные	Ареометрический
	Пипеточный
полевые	Метод Рутковского

Гранулометрический состав показывает предельную дисперсность пород, что делает его удобным классификационным показателем. Зная особенности грансостава, можно предположительно судить о свойствах данного грунта - пластичности, степени возможной усадки, водопроницаемости и т.д.

По результатам определения гранулометрического состава оценивается неоднородность дисперсных грунтов. Для этой цели используется **коэффициент неоднородности**:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}},$$

где d_{60} - диаметр частиц, меньше которого в данной пробе содержится по массе 60% частиц; d_{10} - диаметр частиц, меньше которого в породе содержится 10% частиц.

Оба диаметра частиц находятся по интегральной кривой гранулометрического состава. При коэффициенте неоднородности песков более 3 и глин более 5 эти породы считаются неоднородными.

Перед проведением гранулометрического анализа необходимо подготовить грунт к исследованию. Для этого осуществляют растирание грунта в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником (агатовый или фарфоровый пестик будет разрушать частицы грунта), а затем высушивают до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу (механическая подготовка).

Для определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава грунтов, содержащих органические вещества, следует брать образцы природной влажности.

Если грунт содержит карбонаты или органические вещества, обладающие цементирующими свойствами, то их необходимо разрушить с помощью соляной кислоты (карбонаты) и перекиси водорода (органику), т.е. осуществить химическую подготовку грунта.

При этом происходит глубокое изменение состава грунта, некоторые его составные части растворяются, и поэтому не могут быть учтены при анализе. По этой причине химические способы подготовки применяются только в особых случаях.

Наиболее широко используются при проведении гранулометрических анализов дисперсных грунтов физико-химические методы подготовки. Если в обменном комплексе глинистых частиц преобладают двух- и трёхвалентные катионы, то они будут «слипаться» между собой (коагулировать) из-за небольших оболочек связной воды вокруг частицы, и, следовательно, результаты гранулометрического анализа будут неверны. Поэтому перед проведением анализа необходимо насытить грунт одновалентными катионами. Одновалентные катионы вступают в обменные реакции и замещают содержащиеся в грунте, двух- и трёхвалентные катионы. С уменьшением валентности катионов возрастают электрокинетический потенциал и толщина диффузного слоя ионов вокруг частиц. Это приводит, в свою очередь, к увеличению количества связной воды на поверхности частиц, что обуславливает диспергацию грунта.

Наибольшее распространение в практике инженерно-геологических исследований дисперсных грунтов получили методы физико-химической диспергации, основанные на введении в обменный комплекс ионов Na^+ и NH_4^+ .

Катион Na^+ обладает меньшей величиной ионного радиуса и большей способностью гидратироваться, чем ион NH_4^+ . Поэтому степень диспергации грунтов при введении в обменный комплекс ионов Na^+ выше, чем при введении в обменный комплекс ионов NH_4^+ .

При определении гранулометрического (зернового) состава песчаных грунтов ситовым методом с промывкой водой применяют водопроводную или профильтрованную дождевую (речную) воду, а при определении гранулометрического (зернового) или микроагрегатного состава глинистых грунтов - дистиллированную воду.

При определении гранулометрического (зернового) или микроагрегатного состава глинистых грунтов пипеточным методом цилиндры, в которых производится отстаивание суспензии, должны быть защищены от колебания температуры и не подвергаться сотрясениям.

Взвешивание проб грунта на технических весах должно производиться с погрешностью до 0,01 г, а при весе проб грунта 1000 г и более взвешивание допускается производить с погрешностью до 1 г.

Взвешивание на аналитических весах должно производиться с погрешностью до 0,001 г.

Результаты вычисления гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава грунтов должны определяться с погрешностью до 0,1%. Пример оформления представлен в таблице 4.

Во многих случаях возникает необходимость в графическом отображении результатов гранулометрического анализа. Для этого строят интегральные кривые однородности грансостава, диаграммы - треугольники, циклограммы и гистограммы.

Интегральные кривые строят в прямоугольной системе координат в простом или полулогарифмическом масштабе. На оси абсцисс откладывают диаметры частиц в миллиметрах или логарифмы этих величин (точнее размеры, пропорциональные логарифмам), на оси ординат - процентное содержание фракций.

Для построения кривой однородности результаты анализов пересчитывают по совокупности фракций. Начиная с самой мелкой фракции, проценты суммируют до 100. Каждая из промежуточных цифр полученного ряда будет показывать суммарное процентное содержание в породе фракций меньше определённого диаметра. Выполнив перерасчет, приступают к построению кривой. Для этого на оси абсцисс находят диаметры частиц, начиная с самых мелких, а на соответствующих ординатах точками отмечают процентное содержание фракций меньше определённого диаметра. Затем все точки соединяют плавной кривой, которая изображает состав породы.

Кривые, построенные в полулогарифмическом масштабе, получаются менее растянутыми, чем кривые, построенные в простом масштабе. Логарифмический масштаб позволяет сократить длину графика и в то же время как бы «растянуть» ось абсцисс в зоне мельчайших частиц, что облегчает построение графика. Для того чтобы не получать отрицательных логарифмов, размеры частиц берут в микронах.

Для выбора масштаба оси абсцисс будем считать, что $\lg 10 = 1$ соответствует 4 см. В начале координат ставим число 0,1, затем откладываем отрезок 4 см два раза и ставим отметки 0,01, 0,1, 1,0 и 10,0. Далее на логарифмическую кривую отображаются диаметры фракций 0,05; 0,25; 0,5; 2,0 ; 5,0 с учетом логарифмов. Например, $\lg 10 = 1$, что соответствует 4 см, то диаметр фракции 2,0 мм, на логарифмической кривой рассчитывается, как $\lg 2 = 0,301$, умножая на принятый масштаб $0,301 \times 4 = 1,2$ см и т.д расчет ведётся для всех фракций.

Найденные отрезки откладывают по оси абсцисс от начала координат и от каждой метки, ограничивающей отрезок длиной 4 см (отметки 0,01, 0,1, 1,0 и 10,0). Данные гранулометрического состава в процентном отношении процентам наносят на график и получают суммарную кривую (кривую однородности грунта). Проводя горизонтальные прямые, соответствующие 10 % и 60 %, до пересечения с кривой, определяем d_{10} и d_{60} – диаметры частиц, мельче которых в данном грунте содержится соответственно 10 % и 60 % частиц, и вычисляем степень неоднородности грунта. Разновидности крупнообломочных грунтов и песков по степени неоднородности гранулометрического состава S_u выделяют в соответствии с таблицей 3 ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» [7]:

Таблица 3

Разно видность крупнообломочных грунтов и песков	Степень неоднородности гранулометрического состава
Однородные	$Cu \leq 3$
Неоднородные	$Cu > 3$

Характер кривых так же показывает степень однородности состава грунта. Если кривая крутая, то грунт однородный по составу, если пологая – неоднородный.

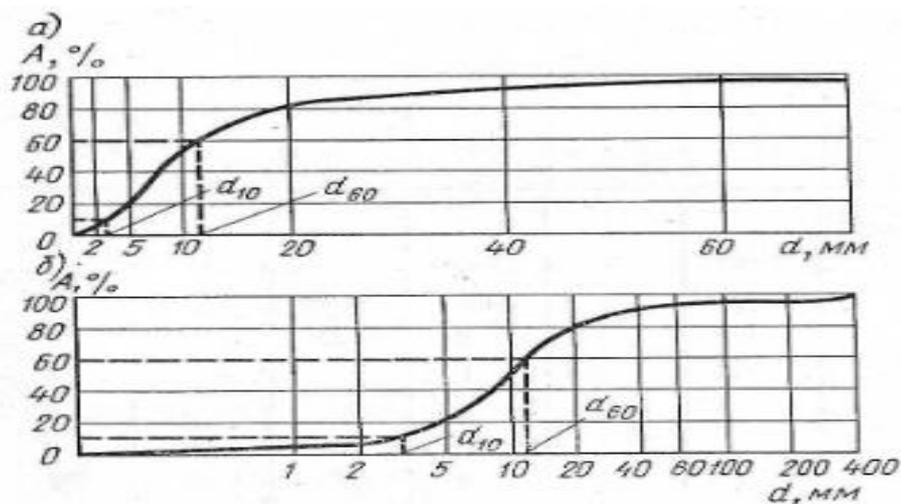
Пример.

Пример оформления результатов гранулометрического анализа

Таблица 4

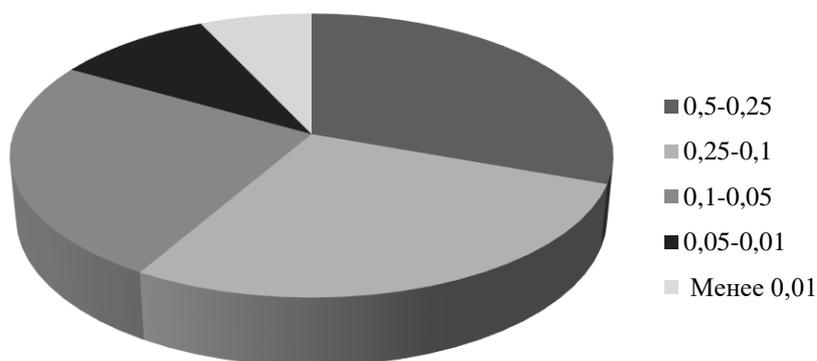
Диаметр фракций, мм	Содерж. фракций, гр	Диаметр по совокуп. фракций	Процент по совокуп. фракций, %	Диаметр по совокуп., микрон	Логарифмы диаметров	Умноженный. на принятый масштаб 4 см
1,0-0,5	28	1,0	100	1000	3,0	1,2
0,5-0,25	22	0,5	72	500	2,69	10,7
0,25-0,1	20	0,25	50	250	2,39	9,6
0,1-0,05	18	0,1	30	100	2,00	8,0
0,05-0,01	7	0,05	12	50	1,69	6,8
Менее 0,01	5	0,01	5	10	1,00	4,0

Пример графического отображения кривой однородности грунта в простом масштабе (а) и в полулогарифмическом масштабе (б)

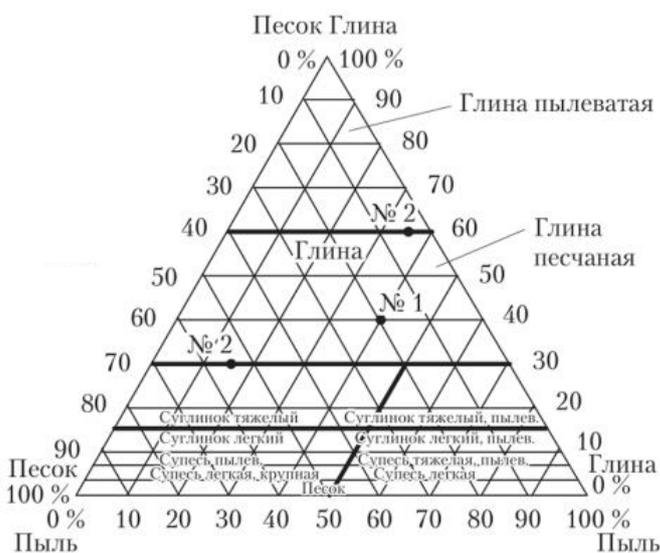


Круговые циклограммы (круговые диаграммы). Площадь круга, очерченного произвольным диаметром, разбивается на секторы с длинами дуг, пропорциональными содержанию каждой фракции. Площади секторов закрашиваются или заштриховываются в соответствии с принятыми условными обозначениями фракций. Возле каждого отрезка дуги снаружи указывается процентное содержание соответствующей фракции.

Пример оформления циклограммы



Пример оформления треугольных диаграмм Фере



Треугольные диаграммы Фере. Для изображения результатов гранулометрического анализа применяют равносторонние треугольники. Этот метод наиболее удобен при большом числе анализов. В треугольнике Фере использовано основное свойство равностороннего треугольника, состоящее в том, что сумма перпендикуляров, опущенных из какой-либо точки внутри треугольника на три стороны, равна высоте треугольника. Это даёт возможность отобразить состав грунта точкой, если разделить высоту треугольника на 100 частей и откладывать содержание в грунте глинистых, пылеватых и песчаных частиц, выраженное в процентах, от разных сторон треугольника.

Вопросы к самоконтролю:

1. Для чего необходимо определять гранулометрический состав грунтов?
2. Чем отличается гранулометрический состав грунта от его микроагрегатного состава?
3. В каком виде представляются данные ситового анализа грунта?
4. Какие методы используются для определения гранулометрического состава грунта?
5. Каким методом определяется гранулометрический состав песчаных грунтов?
6. Каким методом определяется гранулометрический состав глинистых грунтов?
7. По какой формуле рассчитывается коэффициент неоднородности грунта?
8. Как классифицируются грунты в зависимости от их коэффициента неоднородности?

1.1. Разделение грунта на фракции без промывки водой

Необходимое оборудование:

Для определения гранулометрического (зернового) состава песчаных грунтов ситовым методом необходима следующая аппаратура: набор сит (с поддоном); сита с размером отверстий 10; 5; 3; 2; 1; 0,5, 0,25, 0,1 мм; весы лабораторные; стаканчики стеклянные; ступка фарфоровая и пестик с резиновым наконечником; чашка фарфоровая; нож.

Подготовка к испытанию:

1. Сита монтируют в колонку, размещая их от поддона в порядке увеличения размера отверстий. На верхнее сито надевают крышку.
2. Среднюю пробу для анализа следует отбирать методом квартования. Для этого распределяют грунт тонким слоем по листу плотной бумаги или фанеры, проводят ножом в продольном и поперечном направлениях борозды, разделяя поверхность грунта на квадраты, и отбирают понемногу грунт из каждого квадрата.
3. Вес средней пробы должен составлять: для грунтов, не содержащих частиц размером более 2 мм, - 100 г; для грунтов, содержащих до 10% (по весу) частиц размером более 2 мм, - не менее 500 г; для грунтов, содержащих от 10 до 30% частиц размером более 2 мм, - 1000 г; для грунтов, содержащих свыше 30% частиц размером более 2 мм, - не менее 2000 г.

Проведение испытания:

1. Среднюю пробу грунта надлежит отобрать в воздушно-сухом состоянии методом квартования и взвесить на технических весах.
2. Взвешенную пробу грунта следует просеять сквозь набор сит с поддоном. При просеивании пробы весом более 1000 г следует высыпать грунт в верхнее сито в два приема.
3. Фракции грунта, задержавшиеся на ситах, высыпают, начиная с верхнего сита, в ступку и дополнительно растирают пестиком с резиновым наконечником, после чего вновь просеивают на этих же ситах.
4. Полноту просеивания фракций грунта проверяют встряхиванием каждого сита над листом бумаги. Если при этом на лист выпадают частицы, то их высыпают на следующее сито; просев продолжают до тех пор, пока на бумагу перестанут выпадать частицы.
5. Фракции грунта, задержавшиеся после просеивания на каждом сите и прошедшие в поддон, следует перенести в заранее взвешенные стаканчики или фарфоровые чашечки и взвесить.
6. Сложить веса всех фракций грунта. Если полученная сумма веса всех фракций грунта превышает более чем на 1% вес взятой для анализа пробы, то анализ следует повторить.
7. Потерю грунта при просеивании разносят по всем фракциям пропорционально их весу.

Обработка результатов:

1. Содержание в грунте каждой фракции A в % надлежит вычислять по формуле:

$$A = \frac{g_{\phi}}{g_1} \cdot 100 ,$$

где g_{ϕ} - вес данной фракции грунта, г; g_1 - вес средней пробы грунта, взятой для анализа, г.

2. Результаты анализа регистрируют в журнале (см. приложение), в котором указывают процентное содержание в грунте фракций: с размером более 10; 10-5; 5-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,1.

3. Построить кривую однородности в простом и полулогарифмическом масштабе.

4. Вычислить коэффициент неоднородности.

5. Дать название грунту согласно ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» [7].

1.2. Разделение грунта на фракции с промывкой водой

Необходимое оборудование:

Для определения гранулометрического (зернового) состава песчаных грунтов ситовым методом необходима следующая аппаратура: набор сит (с поддоном); сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм; весы лабораторные; стаканчики стеклянные; ступка фарфоровая и пестик с резиновым наконечником; чашка фарфоровая; нож; сушильный шкаф; эксикатор с прокалённым хлористым кальцием.

Проведение испытания:

1. Следует отобрать среднюю пробу грунта.
2. Пробу грунта надлежит высыпать в заранее взвешенную фарфоровую чашку, смочить водой и растереть пестиком с резиновым наконечником. Затем следует залить грунт водой, взмутить суспензию и дать отстояться 10-15 с. Слить воду с неосевшими частицами (взвесь) сквозь сито с отверстиями размером 0,1 мм.
3. Взмучивание и сливание следует производить до полного осветления воды над осадком: смыть оставшиеся на сите частицы при помощи резиновой груши в фарфоровую чашку, а отстоявшуюся воду слить.
4. Промытую пробу грунта необходимо высушить до воздушно-сухого состояния и
5. взвесить чашку с грунтом.
6. Вес частиц грунта размером менее 0,1 мм следует определить до разности между весом средней пробы, взятой для анализа, и весом высушенной пробы грунта после промывки.
7. Грунт следует просеять сквозь набор сит. Полноту просеивания фракций грунта сквозь каждое сито следует проверять над листом бумаги.
8. Каждую фракцию грунта, задержавшуюся на ситах, следует взвесить отдельно. Потерю грунта при просеивании разносят по фракциям пропорционально их весу.

Обработка результатов:

1. Содержание в грунте каждой фракции A в % надлежит вычислять по формуле:

$$A = \frac{g_{\phi}}{g_1} \cdot 100 ,$$

где g_{ϕ} - вес данной фракции грунта, г; g_1 - вес средней пробы грунта, взятой для анализа, г.

2. Результаты анализа регистрируют в журнале (см. приложение), в котором указывают процентное содержание в грунте фракций: размером более 10; 10-5; 5-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,1 и менее 0,1 мм - при разделении грунта с промывкой водой.
3. Построить кривую однородности в простом и полулогарифмическом масштабе.
4. Вычислить коэффициент неоднородности.
5. Дать название грунту согласно ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» [7].

1.3. Определение угла естественного откоса песчаного грунта

Углом естественного откоса (α) – угол, при котором неукрепленный откос грунта сохраняет равновесие или угол, под которым располагается свободно насыпанный грунт (рис.2.)

На величину угла естественного откоса влияют силы трения, возникающие при перемещении частиц материала относительно друг друга, и сил сцепления между ними. Угол естественного откоса песков зависит от: шероховатости зерен, степени их увлажнения, гранулометрического состава и формы. По углам естественного откоса определяются максимально допустимые углы откосов уступов и бортов карьеров, насыпей, отвалов и штабелей, судят об устойчивости склонов, о подвижности осыпей.

В сухом состоянии крупно- и среднеобломочные грунты имеют средний угол откоса 35-37°, мелко- и разнообломочные - 30-32°. В чистых сухих песках угол естественного откоса приближенно соответствует величине угла внутреннего трения (ϕ).

Необходимое оборудование:

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

Последовательность определения:

Стеклянный сосуд ставят на ровную поверхность и в него помещают опорный столик. На опорный столик устанавливают съемный конус. В съемный конус насыпают песок до полного его заполнения, слегка постукивая по поверхности конуса. Осторожно снимают конус. По шкале против вершины конуса отсчитывают величину угла естественного откоса.

Для определения угла естественного откоса песков под водой после заполнения конуса песком стеклянный сосуд наполняют водой. Как только песок полностью увлажнится, определяют угол естественного откоса описанным выше способом. После 3–4-кратного повторения опыта берут среднее арифметическое значение. Данные опытов заносят в таблицу лабораторной тетради.

Опыт повторяют 2-3 раза и берут среднее арифметическое показание. Расхождение между повторными определениями не должно превышать 1.

Таблица 5

Наименование грунта	№ опыта	Угол естественного откоса, °			
		в сухом состоянии	средний	под водой	средний
	1				
	2				

Вопросы к самоконтролю:

1. Что такое угол естественного откоса?
2. От чего зависит угол естественного откоса?
3. Каково практическое применение определение угла откоса?

2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Плотность

Плотность – это физическое свойство грунтов, количественно оцениваемое величиной отношения их массы к занимаемому объёму. При инженерно-геологических исследованиях используются следующие показатели, характеризующие это свойство: плотность твёрдых частиц, плотность грунта, плотность скелета грунта и т.д.

Плотность твёрдых частиц. Плотностью твёрдых частиц (твёрдой компоненты, твёрдой фазы) грунта называется масса единицы их объёма. Численно она равна отношению массы, твёрдой компоненты грунта к её объёму. Единицей измерения этого свойства в системе СИ является кг/м^3 , в системе СГС - г/см^3 ; коэффициент между ними равен 1000.

Величина плотности твёрдых частиц определяется минеральным составом и присутствием органических и органоминеральных веществ и представляет собой средневзвешенную плотность этих компонент грунта. В соответствии с плотностью наиболее распространённых породообразующих минералов плотность твёрдых частиц большинства грунтов изменяется от 2,50 до 2,80 г/см^3 . Она увеличивается с повышением содержания в грунтах тяжёлых минералов. Поэтому у основных и ультраосновных пород плотность твёрдых частиц существенно выше (до 3,00-3,40 г/см^3), чем у кислых (у гранитов - 2,63-2,75 г/см^3). Наличие органических веществ резко снижает её величину, поскольку их плотность невелика по сравнению с минеральной компонентой (плотность гумуса 1,25-1,40 г/см^3).

Плотность твёрдых частиц отдельных типов дисперсных грунтов, не содержащих примесей органических веществ и воднорастворимых солей, является величиной довольно постоянной. Её среднее значение для песков 2,66, супесей - 2,70, суглинков - 2,71 и глин - 2,74 г/см^3 .

Величина плотности твёрдых частиц используется при расчете серий показателей свойств грунтов, в частности, пористости и коэффициента пористости; поэтому на точность её определения необходимо обращать серьёзное внимание.

Плотность грунта. Плотность грунта, или плотность влажного грунта - масса единицы объёма грунта с естественной влажностью и природным (ненарушенным) сложением. Эту величину измеряют в г/см^3 или кг/м^3 .

Величина плотности грунта зависит от минерального состава, влажности и характера сложения (пористости) грунтов:

- с увеличением содержания тяжёлых минералов плотность грунта увеличивается, а при увеличении содержания органических веществ уменьшается;
- с увеличением влажности плотность грунта возрастает; максимальной при данной пористости она будет в случае полного заполнения пор водой;
- с увеличением пористости плотность грунта уменьшается.

Величина плотности дисперсных грунтов (глинистых, лёссовых, песчаных и крупнообломочных) колеблется обычно от 1,3 до 2,2 г/см^3 . Грунты, характеризующиеся наличием жёстких кристаллизационных связей между частицами, обладают большей плотностью, величина которой при малой пористости приближается к значению плотности твёрдых частиц грунта. Так, плотность магматических пород изменяется чаще всего в пределах 2,50-3,40 г/см^3 (она возрастает от кислых пород к основным и ультраосновным), аргиллитов и алевролитов – 2,20-2,50 г/см^3 , известняков – 2,40-2,60 г/см^3 , мергелей – 2,10-2,60 г/см^3 , песчаников 2,10-2,60 г/см^3 .

Плотностью скелета грунта, или плотностью сухого грунта, называют массу твёрдой компоненты в единице объёма грунта при естественной (ненарушенной) структуре. Её значение изменяется в более узком пределе по сравнению с величиной плотности грунта, поскольку она зависит только от минерального состава и характера сложения (пористости) грунта. Чем ниже пористость и выше содержание тяжёлых минералов в грунте, тем выше плотность его скелета. В

дисперсных грунтах, не содержащих значительных примесей органических веществ, плотность скелета грунта практически зависит только от характера сложения.

Вопросы к самоконтролю:

1. Как определяется плотность глинистого грунта?
2. Каким методом можно определить плотность частиц грунта?
3. Что такое плотность сухого грунта?
4. Что такое плотность твердых частиц грунта?
5. Каким методом можно определить плотность влажного грунта?
6. Каким методом можно определить плотность скелета грунта?
7. Какая из этих плотностей, одного и того же образца, будет выше?
8. От чего и как зависит плотность влажного грунта?
9. От чего и как зависит плотность частиц грунта?
10. От чего и как зависит плотность скелета грунта?
11. В каком диапазоне меняется обычно плотность влажного грунта?

2.1. Определение плотности грунтов методом режущего кольца.

Необходимое оборудование:

Режущее кольцо из некорродируемого металла с толщиной стенок 1,5-2,0 мм; штангенциркуль, нож для зачистки образца с прямым лезвием, технические весы.

Последовательность определения:

1. Определить массу режущего кольца g_1 .
2. Замерить штангенциркулем высоту h и диаметр режущего кольца и определить его объем V по формуле:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}.$$

На выровненную площадку монолита глинистого грунта поставить кольцо острым краем вниз. Придерживая кольцо левой рукой, вырезать острым ножом столбик грунта диаметром, на 0,5-1,0 мм превышающим наружный диаметр кольца. Одновременно понемногу нажимать на кольцо, чтобы грунт заходил в полость кольца. После заполнения всей полости кольца грунтом столбик подрезать снизу и отделить кольцо с грунтом от монолита. Избыток грунта, выступающий из кольца, срезать вровень с краями кольца. В песчаные грунты кольцо вдавливается.

Наружную поверхность кольца тщательно очистить от приставшего грунта, кольцо вместе с грунтом взвесить. При работе с песчаными грунтами свободные поверхности грунта следует покрыть заранее взвешенными плоскими стёклами и взвесить кольцо вместе с грунтом и стёклами. Все взвешивания следует проводить на технических весах с точностью до 0,01 г.

Рассчитать плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{(g - (g_1 + g_2 + g_3))}{V}, \text{ г/см}^3$$

где g - масса кольца с-грунтом и стёклами (г); g_1 - масса кольца (г); g_2, g_3 - масса стёкол (г); V - объём грунта, равный внутреннему объёму кольца (см³).

Вопросы к самоконтролю:

1. Какие параметры грунта должны быть неизменными при проведении данного испытания?
2. Какой диаметр кольца - внешний или внутренний - измеряется для определения объема кольца?
3. Почему нельзя взвешивать кольцо с остатками грунта на наружных стенках?
4. Как можно восполнить недостающий грунт в кольце, если он выпал во время вырезания?

2.2. Определение плотности твёрдой компоненты незасоленных грунтов пикнометрическим методом

Подготовка к испытаниям:

1. Образец грунта в воздушно-сухом состоянии размельчают в фарфоровой ступке, отбирают методом квартования среднюю пробу массой 100-200 г и просеивают сквозь сито с сеткой 1 мм, остаток на сите растирают в ступке и просеивают сквозь то же сито.
2. Из перемешанной средней пробы берут навеску грунта из расчета 15 г на каждые 100 мл емкости пикнометра и высушивают до постоянной массы. Навеску заторфованного грунта или торфа следует отбирать из средней пробы из расчета 5 г сухого грунта на каждые 100 мл емкости пикнометра, которая в этом случае должна быть не менее 200 мл.
3. Допускается использовать грунт в воздушно-сухом состоянии, определив его гигроскопическую влажность.
4. Дистиллированную воду следует прокипятить в течение 1 ч и хранить в закупоренной бутылки.

Проведение испытаний:

1. В пикнометр через воронку всыпают высушенную пробу грунта и взвешивают.
2. В пикнометр с грунтом доливают на $\frac{1}{3}$ дистиллированной водой,
3. Пикнометр с водой и грунтом взбалтывают и ставят кипятить на песчаную баню. Продолжительность спокойного кипячения (с момента начала кипения) должна составлять: для песков и супесей - 0,5 ч, для суглинков и глин - 1 ч.
4. После кипячения пикнометр следует охладить и долить дистиллированной водой до мерной риски на горлышке. Пикнометр охлаждают до комнатной температуры в ванне с водой. Температуру пикнометра определяют по температуре воды в ванне, измеряемой с точностью до $\pm 0,5^\circ\text{C}$ термометром, расположенным в средней части ванны между пикнометрами.
5. После охлаждения пикнометра следует поправить положение мениска воды в нем, добавляя из капельницы дистиллированную воду. В пикнометре с мерной риской низ мениска должен совпадать с ней. Возможные капли воды выше риски удаляют фильтровальной бумагой. Пикнометр вытирают снаружи и взвешивают.
6. Далее выливают содержимое пикнометра, ополаскивают его, наливают в него дистиллированную воду и выдерживают в ванне с водой при той же температуре. Затем выполняют операции, указанные в п. 4, и взвешивают пикнометр с водой.

Обратить внимание:

- Взвешивание пикнометра проводится без крышки.
- Перед каждым взвешиванием пикнометр с грунтом вытирается фильтровальной бумагой до чистого и сухого состояния.
- Охлаждение пикнометров проводится с крышками.
- Положение мениска воды в пикнометре должно быть таким же, как с грунтом и с дистиллированной водой.

Объем пикнометра $V_{\text{п}}$, см^3 , вычисляют по формуле:

$$V_{\text{п}} = \frac{(m_2 - m_{\text{п}})}{\rho_w},$$

где m_2 - масса пикнометра с дистиллированной водой при температуре тарировки, г; $m_{\text{п}}$ - масса пустого пикнометра, г; ρ_w - плотность воды (или нейтральной жидкости) при той же температуре, г/см³.

Массу пикнометра с дистиллированной водой m_2 , г, при температуре испытаний вычисляют по формуле:

$$m_2 = m_{\text{п}} + V_{\text{п}}\rho_w$$

где ρ_w - плотность воды при температуре испытаний.

Обработка результатов:

Плотность частиц грунта ρ_s , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho_s = \frac{\rho_w m_0}{(m_0 + m_2 - m_1)},$$

где m_0 - масса сухого грунта, г;

m_1 - масса пикнометра с водой и грунтом после кипячения при температуре испытания, г; m_2 - масса пикнометра с водой при той же температуре, г; ρ_w - плотность воды при той же температуре, г/см.

В случае использования грунта в воздушно-сухом состоянии то вычисляют по формуле:

$$m_0 = \frac{m}{(1 + 1,01W_g)},$$

где m – масса пробы воздушно-сухого грунта, г; W_g – гигроскопическая влажность грунта, %.

Вопросы к самоконтролю:

1. Для чего необходимо кипятить грунт?
2. Почему важно, чтобы температура воды была одинаковой при всех измерениях?
3. Почему при кипячении грунта в пикнометре не следует закрывать его крышкой?
4. На каких этапах проведения испытаний возможно допущение ошибок? Какие ошибки могут быть допущены?

2.3. Определение весовой влажности грунта термостатным методом

Всё количество воды, содержащееся в порах горных пород и почв в естественном их залегании, называется естественной влажностью. Её принято определять высушиванием из образцов до постоянного веса при температуре 105-107°C. Влажность, выраженную от отношения к весу сухой породы, называют весовой (абсолютной) влажностью породы, а влажность, выраженную по отношению к объёму породы, - объёмной влажностью породы.

Естественная влажность является важной характеристикой физического состояния породы, определяющей её прочность и другие свойства при использовании в инженерных целях.

Для характеристики физического состояния породы знание величины влажности ещё не достаточно: необходимо определить степень заполнения пор водой. Для этого находят относительную влажность (коэффициент влажности) грунта по формуле:

$$G = \frac{W_n}{n} = \frac{W\rho_s}{e}.$$

Величина G может изменяться от 0 (при $W_n=0$) до 1 ($W_n=n$). В зависимости от величины G грунты подразделяются на три категории:

маловлажные - $0 < G < 0,5$

влажные - $0,5 < G < 0,8$

насыщенные водой - $0,8 < G < 1$

Необходимое оборудование:

Бюксы, технические весы, сушильный шкаф, эксикатор, шпатель.

Последовательность определения:

1. Взвесить на технических весах бюкс с крышкой (g_0).
2. Взять пробу исследуемого грунта примерно в 10 г, поместить в бюксы с закрытой крышкой.
3. Бюкс с пробой взвесить (g_1), открыть крышку, поставить в сушильный шкаф, постепенно (в течение 1-2 часов) поднять температуру до 100-105°C и выдержать образец в шкафу при этой температуре в течение 5-6 часов.
4. Закрыть в сушильном шкафу бюкс с высушенным грунтом крышкой, перенести в эксикатор и дать остыть в течение 30-40 минут.
5. Взвесить охлаждённый бюкс с грунтом (g_2).
6. Вычислить влажность грунта W по формуле

$$W = 100 \cdot \frac{(g_1 - g_2)}{(g_2 - g_0)}, \%$$

где g_1 - масса влажного грунта с бюксом, г; g_0 - масса высушенного грунта с бюксом, г; g_2 - масса пустого бюкса, г.

Вопросы к самоконтролю:

1. Что понимается под понятием "влажность грунтов"?
2. Какая формула используется для определения влажности грунта?
3. В чем состоит суть метода определения влажности грунтов весовым способом?

2.4. Расчёт пористости, коэффициента пористости, плотности скелета грунта и степени влажности.

Все грунты являются пористыми системами. Структурные элементы, слагающие грунты при неплотном прилегании друг к другу, образуют промежутки различной величины, суммарный объём которых характеризует поровую пустотность породы. Поровая пустотность грунтов выражается с помощью двух показателей - пористости и коэффициента пористости. **Пористость грунта n** равна отношению объёма пустот (пор) ко всему объёму горной породы. **Коэффициент пористости e** находится как отношение объёма пустот (пор) к объёму твёрдой компоненты грунта. Пористость обычно выражается в процентах, а коэффициент пористости в долях единицы.

По своему характеру пористость горных пород подразделяют на открытую, закрытую, общую. Пористость называется закрытой, если она образована изолированными друг от друга порами, не сообщающимися с атмосферой. При открытой пористости такая связь существует. Суммарная величина открытой и закрытой пористости характеризует общую пористость грунта.

Наибольшей пористостью (50-80%) обладают тонкодисперсные (глинистые) осадки, не испытавшие заметной литификации. Высокая пористость характерна и для некоторых эффузивных пород – 50-60%. Наименьшую пористость (доли процента) имеют неветрелые интрузивные магматические и многие метаморфические породы. Пористость большинства осадочных пород в зависимости от степени литификации изменяется от нескольких процентов до 25-30%.

Знание общей пористости грунта бывает далеко не достаточным для оценки его свойств, так как последние зависят не только от суммарного объёма пор, но и от их размера и морфологии. Известно, например, что различные породы с одной и той же общей пористостью могут сжиматься по-разному. В глинистых породах повышение общей пористости приводит к снижению газо- и водопроницаемости, в то время как у крупнообломочных пород с повышением общей пористости наблюдается обратный эффект.

Для расчёта пористости и коэффициента пористости обычно используется зависимость, связывающая эти величины с плотностью твёрдых частиц ρ_s и плотностью грунта ρ или плотностью скелета грунта ρ_d .

Пористость характеризует объём пор в единице объёма грунта и вычисляется по формуле:

$$n = 1 - V_s = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} = \frac{(\rho_s - \rho_d)}{\rho_s}$$

где V_s – объём твёрдых частиц в единице объёма грунта. Пористость выражается в долях единицы или процентах.

Коэффициент пористости равен отношению объёма пор к объёму твёрдой компоненты грунта. Он выражается в долях единицы и рассчитывается по формуле:

$$e = \frac{V_{\text{п}}}{V_s} = \frac{(\rho_s - \rho_d)}{\rho_d},$$

где $V_{\text{п}}$ – объём пор.

Плотность скелета грунта - плотность сухого грунта ρ_d , г/см³, определяемая по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{(1 + W)},$$

где ρ – плотность грунта, г/см³, W - влажность грунта, д.е.

Для характеристики физического состояния грунта необходимо определять **степень заполнения пор водой** (синонимы – степень влажности, коэффициент влажности, относительная влажность). Этот показатель вычисляют по формуле

$$G = \frac{W\rho_d}{n},$$

где W - весовая влажность в долях единицы.

Произведение весовой влажности w и плотности скелета ρ_d характеризуют объёмную влажность грунта W_n . Этот показатель характеризует содержание влаги в единице объёма грунта:

$$W_n = \frac{V_{вл}}{V_{гр}}.$$

При полном заполнении пор грунта водой и отсутствии в ней газа объём влаги в порах равен объёму пор, а объёмная влажность равна пористости.

Если принять плотность воды за единицу, то её масса при полном заполнении пор грунта водой будет численно равна объёму пор. Исходя из этого можно рассчитать полную влагоёмкость как отношение массы воды к плотности скелета грунта

$$W_0 = \frac{n\rho_w}{\rho_d},$$

где ρ_w - плотность воды.

Степень влажности грунта S_r , д. е.; определяют по формуле:

$$S_r = \frac{w\rho_s}{e\rho_w}$$

где w - природная влажность грунта, д. е.;

e – коэффициент пористости грунта, д.е.;

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³;

ρ_w – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

По степени влажности S_r крупнообломочные грунты и пески подразделяют на разновидности в соответствии с таблицей 9.

Таблица 6

Разновидность крупнообломочных грунтов и песков	Степень влажности S_r , д. е.
Малой степени водонасыщения (маловлажные)	$0 < S_r \leq 0,5$
Средней степени водонасыщения (влажные)	$0,5 < S_r \leq 0,8$
Водонасыщенные	$0,8 < S_r \leq 1$

Вопросы к самоконтролю:

1. Что понимается под понятием "пористость грунтов"?
2. По какой формуле рассчитывается пористость грунта?
3. В каких единицах измеряется пористость грунта?
4. В каких единицах измеряется коэффициент пористости?

3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Пластичность грунтов

Под пластичностью грунта понимается его способность под воздействием внешних сил изменять форму (деформироваться) без разрыва сплошности и сохранять приданную ему форму после прекращения этого воздействия. Это свойство грунта характеризует возможность проявления в нём остаточных деформаций.

Пластичностью при определённой влажности и небольших давлениях обладают только глинистые и лёссовые грунты, мергели и мел, торф, почвы и некоторые искусственные грунты. В обычных условиях при небольших внешних нагрузках у других типов грунтов она отсутствует. Пластичность связных грунтов при инженерно-геологических исследованиях характеризуют двумя влажностными показателями: **верхним пределом пластичности (W_L)**, представляющим собой граничную влажность, при повышении которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее; **нижним пределом пластичности (W_p)**, также представляющий собой граничную влажность между полутвёрдым и пластичным состоянием грунта.

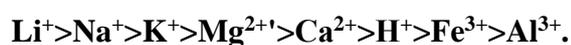
Разность в величине влажности грунта при верхнем и нижнем пределах пластичности называется **числом пластичности (M_p или I_p)**. Число пластичности показывает диапазон колебаний влажности, в котором грунт обладает пластическими свойствами. Чем больше число пластичности, тем более пластичен грунт.

Пластичность связных грунтов определяется составом и свойствами, как твёрдых частиц грунта, так и взаимодействующей с ними жидкости. К числу факторов первой группы относятся гранулометрический и минеральный составы, форма частиц, состав обменных катионов. Свойства жидкой компоненты и влияние на пластичность определяют её химическим составом и концентрацией растворённых веществ.

Гранулометрический состав является одним из важнейших факторов, влияющих на пластичность грунтов. Пластические свойства начинают проявляться у частиц диаметром меньше 5 мкм. Следовательно, пластичность очень сильно зависит от дисперсности глинистой фракции и возрастает пропорционально увеличению содержания в ней коллоидов. Особенно сильно она увеличивается в присутствии органических коллоидов.

Минеральный состав грунтов также в значительной степени определяет их пластичность, так как различные минералы неодинаково взаимодействуют с водой. Кроме того, от строения кристаллических решёток минералов зависит форма частиц, которая в свою очередь оказывает влияние на величину пластичности. Наибольшей пластичностью обладают минералы, у которых частицы имеют пластинчатую, чешуйчатую форму. Исследования Е.М.Сергеева на смесях различного минерального состава показывают, что величина пластичности грунтов больше в том случае, когда в их глинистой фракции содержатся минералы группы монтмориллонита, и меньше при содержании каолинита. Увеличение пластичности в случае присутствия в грунте минералов группы монтмориллонита связано со значительным возрастанием дисперсности и гидрофильности грунта.

Существенное влияние на пластичность связных грунтов оказывает **состав обменных катионов**. По своей способности увеличивать пластические свойства грунтов наиболее часто встречаемые катионы располагаются в последовательности:



Эта закономерность соответствует изменению содержания слабосвязанной воды и дисперсности грунтов, которая наблюдается при замещении одних катионов на другие. Влияние на пластичность обменных катионов в пределах одной валентности определяется их гидратационной способностью. Чем больше степень гидратации катионов, тем в большей мере проявляется пластичность грунтов. Пластичность повышается также при увеличении ёмкости поглощения грунта.

Существенное влияние на пластичность связных грунтов оказывают **состав и концентрация водного раствора**, с которым взаимодействует грунт. Это обусловлено тем, что состав растворённых в воде соединений влияет на состав обменных катионов в грунтах, которые, как показано выше, влияют на пластичность грунтов, а концентрация раствора во многом определяет толщину диффузионного слоя. По данным И.В.Попова, присутствие значительного количества солей понижает пределы пластичности грунтов, причём особенно сильно у высокодисперсного грунта. Это связано с процессом дегидратации и агрегации грунтовых частиц, сопровождаемых уменьшением диффузного слоя грунтовых мицелл, и естественно, уменьшением содержания слабосвязанной воды в грунтах.

Липкость (прилипаемость)

Липкость (прилипаемость) - усилие, необходимое для отрыва плоского штампа из заданного материала от грунта после их контакта в течение заданного времени при заданном давлении.

Количественной характеристикой липкости грунтов является усилие (г/см^2), требующееся для отрыва прилипшего предмета от грунта при различных его влажностях. Наиболее важные ее показатели – это влажность начального прилипания, влажность максимального прилипания и максимальное значение липкости.

Липкость начинает проявляться при относительно небольших внешних нагрузках при влажности несколько меньшей влажности максимально-молекулярной влагоемкости. При дальнейшем увеличении влажности липкость сильно возрастает, и, достигнув максимального значения, резко уменьшается.

Величина липкости и характерные значения влажности определяются гранулометрическим и минералогическим составом грунта, составом обменных катионов, состоянием грунта (его влажностью, плотностью, структурой и др.), материалом, из которого состоит прилипающий предмет, характером его поверхности, величиной нагрузки, прижимающей этот предмет к грунту, и рядом других факторов.

Вопросы к самоконтролю:

1. Что такое пластичность грунта?
2. Что означает верхний предел пластичности?
3. Что понимается под нижним пределом пластичности грунта?
4. Какие факторы влияют на пластичность связных грунтов?
5. Какие основные недостатки имеет ручная раскатка жгутов грунта и почему?
6. Как определяется влажность на границе текучести грунта?
7. Как определяется влажность на границе раскатывания грунта?
8. Что такое число пластичности и для чего оно используется?
9. Для чего определяется показатель текучести грунта?
10. От каких характеристик зависит пластичность грунта и как?

3.1. Определение влажности нижнего предела пластичности методом раскатывания в шнур

Этот метод применяется для всех связных грунтов, за исключением тех, которые содержат много растительных остатков – торфа, перегноя, корней растений и т.д.

Необходимое оборудование:

Сито с отверстиями 1 мм, фарфоровая чашка, шпатель, деревянная пластинка с гладкой поверхностью, бюкс, технические весы с разновесами, сушильный шкаф.

Последовательность определения:

1. Образец грунта, объёмом около 50 см^3 при естественной влажности размять шпателем или резиновым пестиком, после чего протереть или просеять (в зависимости от влажности) через сито с отверстиями 1 мм.

2. Перенести грунт в фарфоровую чашку и увлажнить дистиллированной водой до состояния густого теста, одновременно перемешивая грунт. Затем чашку с грунтом закрыть плотно крышкой или поместить в эксикатор, на дно которого налита вода, и оставить в таком положении не менее чем на два часа для равномерного увлажнения всех частиц грунта.

3. Образец в чашке ещё раз перемешать, взять из него небольшой кусочек, перемять и раскатать на гладкой деревянной дощечке до образования жгута толщиной около 3 мм. Если при такой толщине грунт не крошится и не покрывается трещинами, то смять его, перемешать и вновь раскатать до требуемой толщины. Раскатывание проводить, слегка нажимая на жгут.

4. Искомый нижний предел пластичности считается найденным, когда жгут толщиной около 3 мм начнёт покрываться по всей длине поперечными трещинками и крошиться на кусочки длиной 1-3 см. Если при любом увлажнении из анализируемого грунта невозможно раскатать грунт толщиной около 3 мм, то считается, что данный грунт не обладает нижним пределом пластичности.

5. Подобранные таким образом кусочки жгута собирают в заранее взвешенный бюкс в количестве не менее 10 г и затем определяют их весовую влажность. Взвешивание производят с точностью до 0,01 г, влажность рассчитывают с точностью до 1%, а при влажности менее 30% – с точностью до 0,1%.

6. Полученная весовая влажность и будет влажностью нижнего предела пластичности – W_p .

Вопросы к самоконтролю:

1. В каких единицах измеряется влажность грунта на нижнем пределе пластичности?
2. Для каких типов грунтов определяется нижний предел пластичности?
3. Что понимается под нижним пределом пластичности грунта?
4. Какие свойства грунта характеризует его нижний предел пластичности?

3.2. Определение влажности верхнего предела пластичности методом балансирующего конуса

Метод основан А.М. Васильевым (1949 г.). Он применим для определения W_L для любых несцементированных грунтов, за исключением тех, которые содержат значительное количество растительных остатков.

Необходимое оборудование:

Для проведения испытаний применяется стандартный балансирующий конус общей массой 76 г с углом при вершине 30° , технические весы, сушильный шкаф, эксикатор, фарфоровую чашку, стаканчик для пробы грунта диаметром не менее 4 см и высотой не менее 2 см, шпатель, бюксы, сито с отверстиями 0,5 мм.

Последовательность определения:

Образец грунта, объемом около 5 см^3 при естественной влажности размять шпателем или размельчить пестиком в фарфоровой чашке и затем протереть или просеять сквозь сито с отверстиями 0,5 мм.

Подготовленный грунт перенести в чашку и увлажнить дистиллированной водой до состояния густого теста при одновременном перемешивании шпателем. Затем чашку с грунтом закрыть плотно крышкой или поместить в эксикатор, на дно которого налита вода, и оставить в таком состоянии на 2 часа для равномерного увлажнения всех частиц грунта.

Грунтовую массу ещё раз тщательно перемешать шпателем и заполнить ею стаканчик. Поверхность грунта в стаканчике заровнять шпателем вровень с краями, при этом необходимо следить, чтобы при заполнении стаканчика в грунтовой массе не образовывалось бы пустот.

Поднести к выровненной поверхности грунта острое балансирующее конуса и, опустив конус, дать ему в течение 5 с свободно погружаться в грунтовое тесто под влиянием собственной массы.

Если за 5 с конус погрузился в грунт на глубину ровно 10 мм (т.е. до риски на конусе), то верхний предел пластичности (граница текучести) W_L считается достигнутым. Если же конус за 5 с погрузился на глубину менее 10 мм, то это показывает, что грунт имеет меньшую, чем требуется, влажность. В этом случае грунт из стаканчика вновь перекладывается в фарфоровую чашку, в него добавляется немного воды (по каплям), грунтовое тесто тщательно перемешивается, и затем повторяются операции, указанные в пункте 3 и 4.

В случае погружения конуса за 5 с на глубину, превышающую 10 мм, влажность образца превышает W_L . В этом случае грунт из стаканчика вынимают снова в чашку и подсушивают на воздухе, перемешивая шпателем. Затем повторяются операции, указанные в пункте 3 и 4.

Когда искомая влажность верхнего предела пластичности достигнута, из стаканчика берут пробу (массой не менее 10 г) и определяют обычным способом её весовую влажность, которая и является W_L . Взвешивания бюксов ведутся до 0,01 г, а вычисления W_L с точностью до 1%. При $W_L < 30\%$ влажность вычисляется с точностью до 0,1%.

3.3. Расчёт числа пластичности, консистенции и коллоидной активности

1. Используя полученные значения W_L и W_p , рассчитать число пластичности ($I_p = W_L - W_p$).
2. Дать название грунту, используя таблицу приложения.
3. Рассчитать консистенцию грунта.

В зависимости от содержащейся в грунте воды грунт находится в различном состоянии, характеризующем степень подвижности его частиц (консистенцию).

Показатель консистенции I_L вычисляется по формуле:

$$I_L = \frac{(W_e - W_p)}{I_p}, \%$$

где W_e – естественная весовая влажность, д.ед.

Дать название грунта, используя Классификацию глинистых грунтов по числу пластичности и консистенции представленная в ПРИЛОЖЕНИИ.

4. Рассчитать коллоидную активность:

$$A_k = \frac{I_p}{M_c},$$

где M_c – содержание частиц менее 0,002 мм в грунте в % (находится по результатам гранулометрического анализа).

Если $A_k > 1,25$ – высокая коллоидная активность, $A_k = 0,75-1,25$ – средняя, при $A_k < 0,75$ – низкая коллоидная активность.

Вопросы к самоконтролю:

1. Что понимается под показателем числа пластичности грунта?
2. Как можно классифицировать грунты в зависимости от их числа пластичности?
3. Что характеризуется под консистенцией грунта?
4. Какие данные необходимо знать, чтобы вычислить показатель консистенции грунта?

3.4. Определение параметров усадочности грунта

Усадкой грунта называется уменьшение его объёма в результате удаления воды при высыхании или при проявлении физико-химических процессов (синерезис, осмос). Усадка грунта может происходить как в субаэральных условиях при испарении влаги под действием разности температур (разности относительной влажности), так и в субаквальных условиях под действием разности концентраций электролитов и при старении коллоидов. Способностью к усадке обладает только влажный грунт.

В результате усадки грунт становится плотнее и после высыхания даже твёрдым. Уплотнение глинистого грунта при усадке увеличивает его сопротивление деформациям, но наличие трещин, сопровождающих усадку, повышает водопроницаемость и уменьшает устойчивость поверхностного слоя грунта в откосах.

Величину усадки грунта принято характеризовать по уменьшению линейных размеров или объёма образца. В соответствии с этим различают коэффициент линейной b_1 и коэффициент объёмной усадки b_v (%):

$$b_1 = 100 \cdot \frac{(l_1 - l_2)}{l_1} ; b_v = 100 \cdot \frac{(V_1 - V_2)}{V_1},$$

где l_1 и V_1 – начальные длина и объём образца; l_2 и V_2 – длина и объём того же образца после усадки.

Кроме того, для характеристики усадки используют величину влажности на пределе усадки W_y , определяемую либо графоаналитическим способом по перегибу кривой зависимости относительной деформации усадки от влажности, либо по формуле:

$$W_y = W_n - 100 \cdot \frac{(V_n - V_0)}{m},$$

где W_n – начальная влажность грунта, V_n – начальный объём грунта, V_0 – объём высушенного грунта; m – масса сухого образца.

Величина усадки грунтов зависит от их дисперсности (чем она выше, тем больше усадка), химико-минерального состава, влажности-пористости, структуры и текстуры.

Влияние обменных катионов и концентрации солей в поровом растворе осуществляется через изменение толщины слоя связанной воды. Если в обменном комплексе будут преобладать одновалентные катионы, то усадка будет наибольшей.

Необходимое оборудование:

Режущий цилиндр диаметром 4,5-5 см и высотой 2-3 см, нож.

Последовательность определения:

1. Вырезать из монолита с помощью цилиндра образец грунта. Внутреннюю часть цилиндра предварительно следует слегка смазать вазелином. Из остатков грунта отобрать пробу для определения начальной влажности W_n .

2. Вырезанный образец грунта, не вынимая из цилиндра, высушить на воздухе в течение 1-2 дней. По мере подсыхания образец сжимается и отходит от стенок. При достижении

этой стадии усадки образец грунта вынимают из цилиндра и продолжают сушить на воздухе 1 или 2 дня. Подсохший образец сушат в шкафу при температуре 105°C до постоянного веса.

3. Определяют объём высушенного образца методом непосредственных измерений или методом парафинирования.

4. Вычисляют величину и предел усадки (b_l , b_v , W_y).

Вопросы к самоконтролю:

1. Какие характеристики грунтов влияют на их способность к усадке?
2. Что означает термин "усадочность" применительно к грунтам?
3. Назовите основные показатели, характеризующие усадочность грунтов?
4. Каким образом производится расчет линейной усадки грунта?
5. Как определяется объемная усадка грунта?

3.5. Определение размокаемости грунтов

При взаимодействии грунтов с водой в статических условиях их водопрочность характеризуется размокаемостью и потерей прочности при замачивании (размягчаемостью).

Под **размокаемостью** понимают способность пород при замачивании терять свою связность и превращаться в рыхлую массу. Показателями размокания, определяемыми в лабораторных условиях, являются: а) время размокания - период, за который распадается образец грунта; б) степень размокания, характеризующая скорость процесса; в) характер размокания, оцениваемый визуально.

Перечисленные характеристики размокания во многом носят условный характер, т.к. зависят от объёма, формы и других исходных параметров образца. Поэтому указанные характеристики могут давать объективную оценку размокаемости лишь при сравнительных, исследованиях образцов с одинаковыми исходными объёмами и формой.

Необходимое оборудование:

Прибор ПРГ-1, монолитный нож, бюкс, весы, часы.

Последовательность определения:

1. Вырезать из монолита (естественной влажности) образец правильной формы - кубик с размером ребра 3-4 см. Взять пробу на влажность.
2. В корпус прибора ПРГ-1 наливают воду (или исследуемый раствор) до высоты 8 см и устанавливают стрелку прибора на нулевое деление шкалы.
3. Приподняв рукой сетку, на неё устанавливают приготовленный образец, придерживая рычаг, плавно погружают сетку с образцом в воду и записывают по шкале начальный отсчёт H_0 , а также время начала размокания.
4. Через определённые промежутки времени фиксируют текущие отсчеты H_t и данные заносят в журнал до тех пор, пока грунт полностью не провалится сквозь сетку на дно корпуса и стрелка не займёт вновь нулевое положение. Одновременно записывается характер размокания образца (образование трещин, выделение пузырьков воздуха, разбухание, оплывание по краям и т.д.)
5. По полученным данным строят график кинетики размокания вида $R=f(t)$, определяют период размокания t_p и степень размокания R в различные моменты времени, которую рассчитывают по формуле:

$$R = 100 \cdot \frac{(H_0 - H_t)}{H_0},$$

При исследовании размокаемости маловлажных пылеватых и лёссовых грунтов следует иметь в виду, что при быстром погружении образцов в воду в результате всесторонней капиллярной пропитки внутри образца возникает избыточное давление защемлённого, воздуха, приводящее к интенсивному разрушению образца. В этом случае образцы перед погружением рекомендуется предварительно увлажнить постепенной капиллярной пропиткой.

Вопросы к самоконтролю:

1. Для решения каких задач используют прибор ПРГ?

2. Опишите конструкцию прибора ПРГ.
3. Каким образом проводятся лабораторные испытания на размокание грунта?
4. Каким способом можно определить характер размокания грунта?
5. Какие параметры размокания фиксируются в процессе исследования?

**Примерная
Контрольная работа по окончании курса**

1. Дать определение, что такое грунт?
2. Дать определение, что такое плотность грунта? От чего зависит изменение плотности грунта.
3. Вычислить для глинистого грунта число пластичности, показатель текучести, коэффициент пористости, пористость, полную влагоемкость.
Определить разновидность грунта по числу пластичности, по показателю текучести.

Плотность грунта г/см ³	Плотность частиц грунта, г/см ³	Влажность грунта, % (природная)	Влажность грунта, % (на границе текучести)	Влажность грунта, % (на границе раскатывания)
1,98	2,72	24,0	31,0	10,0

4. Что такое естественная влажность грунта? Рассчитать относительную влажность грунта, если $W=20.1\%$; $\rho_d= 1.5 \text{ г/см}^3$; $n=0.41$
5. Что понимается под набухаемостью грунтов, от чего зависит данный параметр.

ПРИЛОЖЕНИЕ К ГЛАВЕ 1

Классификация крупнообломочных грунтов и песков по гранулометрическому составу

Примечание. При наличии в крупнообломочных грунтах песчаного заполнителя более 40% или глинистого заполнителя более 30% от общей массы воздушно-сухого грунта в наименовании крупнообломочного грунта добавляется наименование вида заполнителя и указывается характеристика его состояния. Вид заполнителя устанавливается после удаления из крупнообломочного грунта частиц крупнее 2 мм.

Разновидность грунтов	Размер частиц d, мм	Содержание частиц, % по массе
Крупнообломочные:		
- валунный (при преобладании неокатанных частиц - глыбовый)	>200	>50
- галечниковый (при неокатанных гранях - щебенистый)	>10	>50
- гравийный (при неокатанных гранях - дресвяный)	>2	>50
Пески:		
- гравелистый	>2	>25
- крупный	>0,50	>50
- средней крупности	>0,25	>50
- мелкий	>0,10	≥75
- пылеватый	>0,10	<75

Классификация грунтов по степени неоднородности гранулометрического состава C_u

Разновидность крупнообломочных грунтов и песков	Степень неоднородности гранулометрического состава C_u , ед.
Однородные	$C_u \leq 3$
Неоднородные	$C_u > 3$

ПРИЛОЖЕНИЕ К ГЛАВЕ 2

Классификация скальных грунтов по плотности скелета ρ_d

Разновидность грунтов	Плотность скелета ρ_d г/см ³
Очень плотный	>2,50
Плотный	2,50-2,10
Рыхлый	2,10-1,20
Очень рыхлый	< 1,2

Классификация песков по коэффициенту пористости e

Разновидность песков	Коэффициент пористости e , д.е.		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	<0,55	<0,60	<0,60
Средней плотности	0,55-0,70	0,60-0,75	0,60-0,80
Рыхлый	>0,70	>0,75	>0,80

Плотность воды при различных температурах.

Температура, °С	Плотность, г/см ³	Температура, °С	Плотность, г/см ³
0-12	1,000	24-27	0,997
12-18	0,999	29-30	0,996
19-23	0,998	31-33	0,995

ПРИЛОЖЕНИЕ К ГЛАВЕ 3

Классификация глинистых грунтов по числу пластичности I_p

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности
Супесь	1-7
Суглинок	7-17
Глина	>17

Классификация глинистых грунтов по гранулометрическому составу и числу пластичности I_p

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности I_p	Содержание песчаных частиц (2-0,5 мм), % по массе
Супесь:		
– песчанистая	1-7	≥50
– пылеватая	1-7	<50
Суглинок:		
– легкий песчанистый	7-12	≥40
– легкий пылеватый	7-12	<40
– тяжелый песчанистый	12-17	≥40
– тяжелый пылеватый	12-17	<40
Глина:		
– легкая песчанистая	17-27	≥40
– легкая пылеватая	17-27	<40
– тяжелая	>27	Не регламентируется

Классификация глинистых грунтов по наличию включений

Разновидность глинистых грунтов	Содержание частиц крупнее 2 мм, % по массе
Супесь, суглинок, глина с галькой (щебнем)	15-25
Супесь, суглинок, глина галечниковые (щебенистые) или гравелистые (дресвяные)	25-50

Классификация глинистых грунтов по показателю текучести I_L

Разновидность глинистых грунтов	Показатель текучести I_L
Супесь: – твердая – пластичная – текучая	<0 0-1 >1
Суглинки и глины: – твердые – полутвердые – тугопластичные – мягкопластичные – текучепластичные – текучие	<0 0-0,25 0,25-0,50 0,50-0,75 0,75-1,00 >1,00

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по инженерной геологии/Под ред. М.В.Чуринова. - М.:Недра, 1981. - 325 с.
2. Практикум по грунтоведению/Под ред. В.Т.Трофимова, ВАКоролёва. - М.:Изд-во МГУ, 1993. - 390 с.
3. Грунтоведение/Под ред.Е.М.Сергеева. - М.:Изд.-во МГУ, 1983. – 392 с.
4. ГОСТ 5180 - 2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. - М., 2015. - 20 с.
5. ГОСТ 12536 - 2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. - М.,2014. - 19 с.
6. ГОСТ 12248-2020. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. - М.,2020. - 78 с.
7. ГОСТ 25100 - 2020. Грунты. Классификация. - М.,2022. - 38 с.
8. ГОСТ 12536—2014. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.2015.- 19с.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Методическое пособие к лабораторным работам