

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт геологии и нефтегазовых технологий

Кафедра общей геологии и гидрогеологии.

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Методическое пособие к лабораторным работам

КАЗАНЬ

2024

УДК 551

*Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией
института геологии и нефтегазовых технологий КФУ
(Протокол № 8 от 16.03.2024)*

**А.И. Латыпов, Э.А. Королев, А.Н. Гараева, Е.Н. Яббарова,
Р.М. Усманов, О.А. Софинская**

Грунтоведение. Методическое пособие к лабораторным работам (Переиздание)
А.И. Латыпов, Э.А. Королев, А.Н. Гараева, Е.Н. Яббарова, Р.М. Усманов,
О.А. Софинская . — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2024. – 81 с.

Методическое пособие к лабораторным работам предназначены для студентов направления подготовки 05.03.01 «Геология» специальности «Гидрогеология и инженерная геология». В работе приводятся описание порядка выполнения и обработки результатов лабораторных работ по курсу «Грунтоведение».

© Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОНЯТИЯ	5
1. ИЗУЧЕНИЯ РАЗМЕРА, КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТВЁРДОЙ КОМПОНЕНТЫ ГРУНТА	7
1.1.Разделение грунта на фракции без промывки водой.....	14
1.2.Разделение грунта на фракции с промывкой водой	16
1.3.Определение гранулометрического состава грунта методом Сабанина	17
1.4.Определение гранулометрического состава грунта пипеточным методом	19
1.5.Определение гранулометрического (зернового) состава грунтов ареометрическим методом.....	21
1.6.Определение угла естественного откоса песчаного грунта.....	25
1.7.Определение содержания органической компоненты с помощью метода сухого сжигания.....	27
1.8.Определение карбонатов в грунтах.....	30
2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ	32
2.1.Определение плотности грунтов методом режущего кольца.....	34
2.2.Определение плотности связных грунтов методом гидростатического взвешивания	35
2.3.Определение плотности искусственного грунта прибором стандартного уплотнения ГТ 1.4.1.....	36
2.4.Определение плотности твёрдой компоненты незасоленных грунтов пикнометрическим методом	41
2.5.Определение весовой влажности грунта термостатным методом	43
2.6.Расчёт пористости, коэффициента пористости, плотности скелета грунта и степени влажности.....	45
2.7.Определение максимальной молекулярной влагоёмкости методом влагоёмких сред	47
3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ	48
3.1.Определение влажности нижнего предела пластичности методом раскатывания в шнур ..50	
3.2. Определение нижнего предела пластичности на приборе ГТ 1.8.2.....	51
3.3.Определение границы раскатывания (пластичности) методом прессования.....	53
3.4.Определение влажности верхнего предела пластичности методом балансирного конуса ..54	
3.5.Определение верхнего предела пластичности на приборе Казагранде ручной S170.....	55
3.6.Расчёт числа пластичности, консистенции и коллоидной активности	57
3.7.Определение коррозионной активности на приборе АГАК.....	58
3.8.Определение параметров набухаемости грунтов.	62
3.9.Определение параметров усадочности грунта.....	64
3.10.Определение размокаемости грунтов	66
ПРИЛОЖЕНИЕ	68
ЖУРНАЛЫ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ	76
ЛИТЕРАТУРА	81

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее методическое пособие по курсу «Грунтоведение» для обучающихся по направлению подготовки «Геология» 05.03.01 (направленность (профиль) подготовки «Инженерная геология и гидрогеология»).

Основные понятия и термины (регламентированы ГОСТ 25100-2020), принятые в грунтоведении, а также требования к определению инженерно-геологических параметров в лабораторных условиях изложены в главе 1. Главы 2, 3 и 4 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.

Ил - нелитифицированный морской или пресноводный минеральный или органоминеральный донный осадок текучей консистенции.

Сапрпель - органо-минеральный или органический осадок пресноводных застойных водоемов (или погребенный осадок), у которого масса органического вещества более 10%, текучепластичной или текучей консистенции.

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%.

Органоминеральный грунт - грунт, масса органического вещества в котором составляет от 10% до 50% (ГОСТ 25100-2020) или от 3% до 50% (ГОСТ 23740-2016) от массы сухого грунта.

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. Для целей инженерной геологии 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.

Примечание: будьте внимательны! Существуют и другие классификации частиц по размерам, в зависимости от страны – разработчика и области применения.

Все дисперсные породы состоят из частиц нескольких фракций. Количественное содержание различных фракций первичных частиц в дисперсных породах характеризуется их гранулометрическим составом. **Гранулометрический состав (ГМС)** показывает, какого размера частицы и в каком количестве содержатся в том или ином грунте. Содержание каждой фракции ГМС выражается в процентах по отношению к массе абсолютно сухого образца. ГМС грунта во многом определяется минералогическим составом и зависит от устойчивости минералов к выветриванию.

Обычно в дисперсных грунтах частицы самопроизвольно организуются в трехмерные образования, внутри которых они связаны между собой прочнее, чем с внешними частицами, но слабее, чем составляющие внутри первичной частицы. Если такие образования имеют диаметр < 0,25 мм, то они называются **микроагрегатами** (К.К. Гедройц, 1926), а их распределение по размерам – **микроагрегатным составом (МАС)**. МАС так же выражается в процентах по отношению к массе абсолютно сухого образца и определяется тем же набором методов, что и ГМС.

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

ГМС 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 ГМС 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.

Диспергация (разделение) частиц при пробоподготовке.

Перед проведением ГМС и МАС сперва обычно необходимо отобрать новообразования, например, карбонатные и гипсовые конкреции (при необходимости их анализируют отдельно). Далее проводят отделение друг от друга частиц определенного рода: в случае МАС требуется разрушить крупные агрегаты, в случае ГМС – микроагрегаты. Применяемые способы разделения частиц можно сгруппировать как:

- механические,
- физические,
- физико-химические,
- химические.

Механический способ разделения осуществляют растиранием грунта в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником, а затем высушивают до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу. Для определения ГМС и МАС грунтов, содержащих органические вещества, следует брать образцы природной влажности. При определении МАС применяют интенсивное взбалтывание в дистиллированной воде и очень слабое механическое дробление.

Внимание! Измельчение образца грунта с помощью фарфорового или агатового пестика, а также различного рода мельниц повышает риск разрушения первичных частиц грунта.

Физическое воздействие заключается в обработке суспензии образца ультразвуком частотой 22 кГц в течение 4 минут, что обеспечивает всестороннее мягкое разрушение агрегатов. Обработка ультразвуком используется только при определении ГМС.

Физико-химическую диспергацию используют для удаления из обменного комплекса глинистых частиц двух- и трёхвалентные катионы. Глинистые частицы с преобладанием таких катионов имеют разный заряд внешних оболочек, поэтому «слипаются» между собой (коагулируют) в ходе анализа, и, следовательно, результаты гранулометрического анализа будут неверны. Для замещения обменных катионов используется введение в раствор одновалентных катионов: наиболее широко применяемыми в практике инженерно-геологических исследований дисперсных грунтов являются ионы Na^+ и NH_4^+ . С уменьшением валентности катионов возрастают электрокинетический потенциал и толщина диффузного слоя ионов вокруг частиц.

Это приводит, в свою очередь, к увеличению количества связанной воды на поверхности частиц, что обуславливает диспергацию грунта.

В качестве веществ – антикоагулянтов обычно выбирают аммиак, пирофосфат натрия или щелочь. При этом 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 анализе МАС используют на порядок меньшие концентрации антикоагулянтов, чем при анализе ГМС.

Химическая обработка образца применяется только в особых случаях и только при анализе ГМС, поскольку вызывает глубокое изменение состава грунта, некоторые его составные части растворяются, и поэтому не могут быть учтены при анализе. Если грунт содержит карбонаты или органические вещества, обладающие цементирующими свойствами, то их разрушают с помощью соляной кислоты (карбонаты) и перекиси водорода (легко окисляемые органические соединения).

Седиментация частиц в суспензии с образом грунта. После этапа разделения частиц осуществляется определение содержания частиц того или иного размера. Методы седиментационного анализа основаны на применении закона Стокса для равномерного движения шарообразных частиц в жидкости:

$$r = \sqrt{\frac{9v\mu}{2g(\rho_s - \rho_w)}}$$

где r - радиус частиц, v - скорость падения твердофазных частиц в жидкости, g - ускорение свободного падения, ρ_s и ρ_w – плотности твердой фазы почвы и воды, μ - динамическая вязкость суспензии.

Внимание! Реальные глинистые частицы не имеют шарообразной формы, поэтому результаты анализа ГМС являются не точными, а условными.

Порядок осуществления анализа. При определении ГМС состава песчаных грунтов ситовым методом с промывкой водой применяют водопроводную или профильтрованную дождевую (речную) воду, а при определении ГМС или МАС глинистых грунтов - *дистиллированную воду.*

При определении ГМС или МАС 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 ГМС или МАС грунтов должны определяться с погрешностью до 0,1%. Пример оформления представлен в таблице 4.

Представление результатов анализа. 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 C_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	$C_u \leq 3$
Неоднородные	$C_u > 3$

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

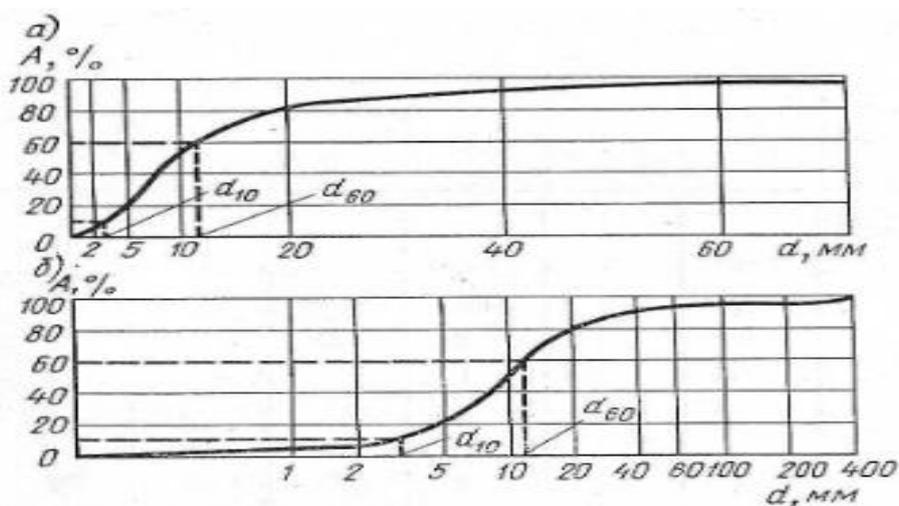
Пример.

Пример оформления результатов гранулометрического анализа

Таблица 4

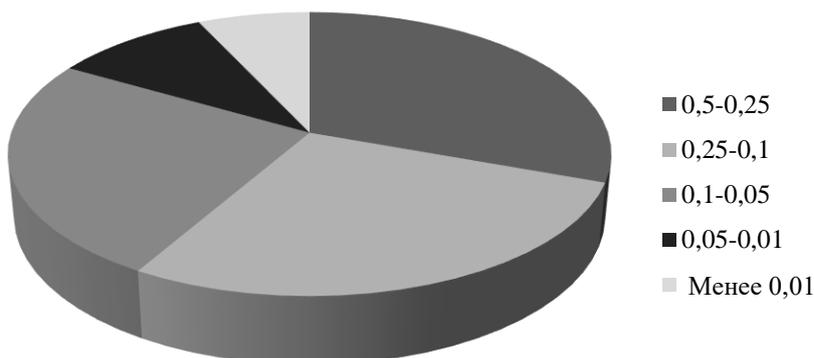
Диаметр фракций, мм	Содерж. фракций, гр	Диаметр по совокуп. фракций	Процент по совокуп. фракций, %	Диаметр по совокуп., микрон	Логарифмы диаметров	Умноженный. на принятый масштаб 4 см
1,0-0,5	28	1,0	100	1000	3,0	1,2
0,5-0,25	22	0,5	72	500	2,69	10,7
0,25-0,1	20	0,25	50	250	2,39	9,6
0,1-0,05	18	0,1	30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

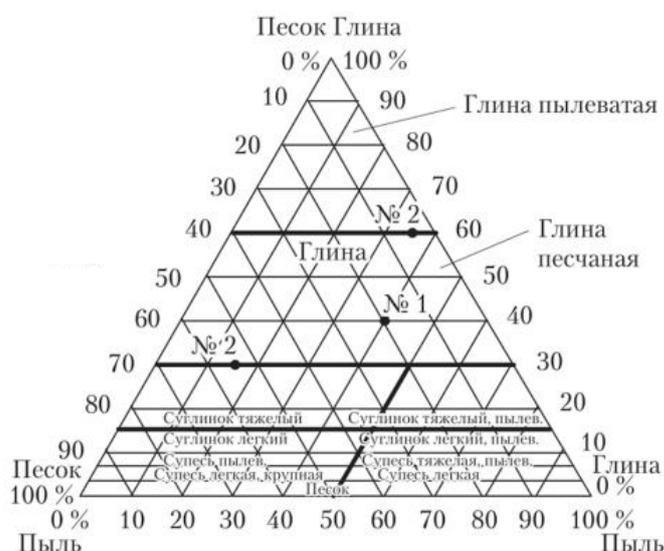


Круговые циклограммы (круговые диаграммы). Площадь круга, очерченного произвольным диаметром, разбивается на секторы с длинами дуг, пропорциональными содержанию каждой фракции. Площади секторов закрашиваются или заштриховываются в соответствии с принятыми условными обозначениями фракций. Возле каждого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

Пример оформления циклограммы



Пример оформления треугольных диаграмм Ферре



Треугольные диаграммы Ферре. Для изображения результатов гранулометрического анализа применяют равносторонние треугольники. Этот метод наиболее удобен при большом числе анализов. В треугольнике Ферре 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.

Расчет агрегированности частиц грунта проводится для определения типа структурных связей в глинистых грунтах. Тип структурных связей, преобладающий в грунте, влияет на его реологические и прочностные свойства. В инженерной геологии используют алгоритм расчета коэффициента агрегированности K_a , предложенный И. М. Горьковой (упрощенный вариант) [Горькова И. М. *Физико-механические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях*. М., Стройиздат, 1975, 150 с.]:

$$K_a = S_{ГМС} / S_{МАС}$$

где $S_{ГМС}$ - содержание частиц $< 0,005$ мм в глинистой породе при подготовке образца к анализу ГМС; $S_{МАС}$ - то же при подготовке образца к анализу МАС.

По величине K_a устанавливают тип структурных связей:

- $K_a = 1-1,2$ - стабилизационный и коагуляционные А, Б;
- $K_a = 1,3-2$ - пластифицированно-коагуляционные В;
- $K_a = 2-20$ - коагуляционно-цементационные;
- $K_a > 20$ - цементационные Г2.

При наличии в породах структурных связей коагуляционно-цементационного типа сцементированы преимущественно агрегаты, тогда как межагрегатные связи имеют коагуляционный или стабилизационный характер. При преобладании в породах цементационных связей они, как правило, сцементированы во всем объеме (например, каменные лессы).

Вопросы к самоконтролю:

1. Для чего нужно определять гранулометрический состав грунтов?
2. Чем отличается гранулометрический состав от микроагрегатного?
3. В каком виде можно отобразить данные ситового анализа?
4. Какие методы анализа используют для определения гранулометрического состава?
5. Каким методом определяют гранулометрический состав песчаных грунтов?
6. Каким методом определяют гранулометрический состав глинистых грунтов?
7. По какой формуле определяют коэффициент неоднородности грунта?
8. Как классифицируются грунты по коэффициенту 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.

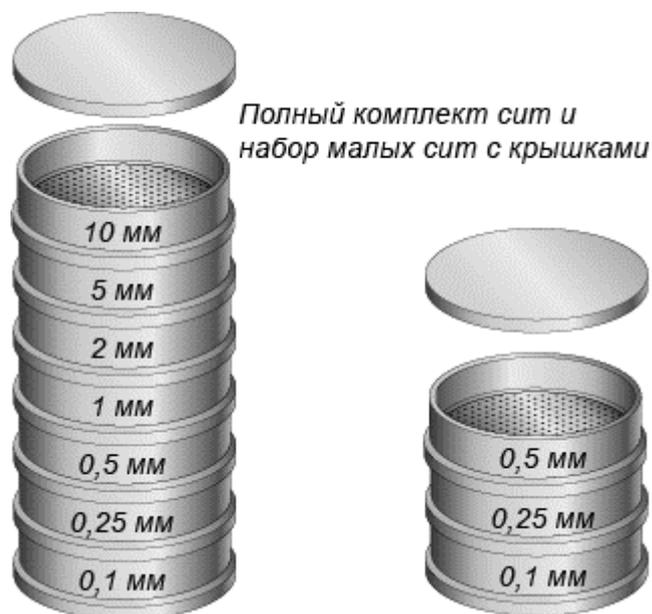


Рис.1. Набор сит для гранулометрического анализа

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 взвесить чашку с грунтом.
5. 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.
6. Грунт следует просеять сквозь набор сит. Полноту просеивания фракций грунта сквозь каждое сито следует проверять над листом бумаги.
7. 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 гранулометрического состава грунта методом Сабанина

Необходимое оборудование:

Прибор Сабанина состоит из штатива (1) и столика (2), двух сосудов, большего (3) и меньшего (6) объёма. Малый имеет высоту 160-180 мм и внутренний диаметр около 55 мм. Со дна сосуда на стенке нанесены деления через 20 мм. В описываемый сосуд устанавливается сифон (4) дугообразной формы для отвода жидкости и стеклянная палочка с резиновым наконечником для взмучивания (5). Навеска породы (3,5-4 г) берётся в воздушно-сухом состоянии

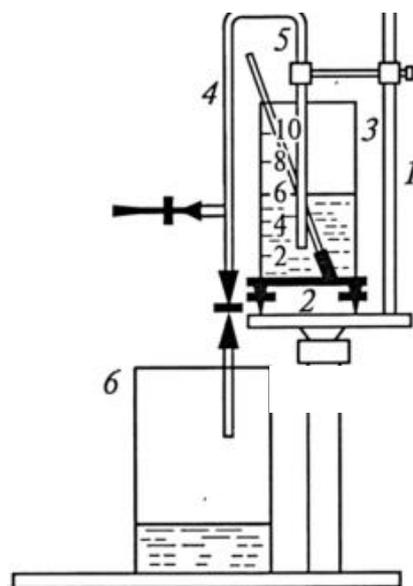


Рис.2. Прибор Сабанина А.Н.

Порядок работы:

1. Отделение частиц меньше 0,01 мм.

1. Взять большую фарфоровую чашку. Высыпать в чашку навеску фракции менее 0,25 мм (оставшуюся после ситового анализа).
2. Залить породу дистиллированной водой, взмутить и оставить в покое на 20 секунд.
3. Далее слить воду с не осевшими частицами из большой чашки в малую, а затем оставить в покое на 50 секунд.
4. Установить малый сосуд на специальный столик рядом со штативом, а затем опустить короткий конец сифона в сосуд до уровня 20 мм.
5. По истечении 50 секунд мутную жидкость из малой чашки сливать в большой сосуд так, чтобы упавшие на дно частицы грунта остались в чашке, а затем долить воды до отметки 40 мм.
6. Тщательно взмутить жидкость в сосуде и оставить в покое на 100 секунд. Затем с помощью зажима слить слой жидкости с 40 до 20 мм в большой стакан А, вместимостью 2-3 литра. Скорость падения частиц меньше 0,01 мм в воде 0,2 мм/с, поэтому с водой сливаются частицы меньше 0,01 мм.

7. Повторять операции 2-6 до тех пор, пока через указанные промежутки в чашках и стакане (между отметками 40 и 20 мм) не будет получаться совершенно чистая прозрачная жидкость без взвешенных в ней частиц породы.

2. Отделение частиц от 0,02 до 0,01 мм

1. Долить в малый сосуд Сабанина воду до отметки 120 мм и взмутить. Через 30 секунд слить жидкость до отметки 60 мм в особый большой сосуд В. За время в 30 секунд частицы с диаметром от 0,02 до 0,01 мм, падающие со скоростью 2,0 мм/с, пройдут как раз 60 мм, и выше уровня сливания частиц с диаметром больше 0,02 мм не будет.

2. Повторять указанное в п.1 отмучивание до полного осветления верхнего слоя жидкости. В слитой жидкости будет фракция 0,02-0,01 мм, фракция 0,02-0,25 мм будет на дне малого сосуда.

Заключительная обработка

1. Оставшуюся породу из сосуда перенести в фарфоровую чашку с известной массой для дальнейшего выпаривания и высушивания.

2. Воду с грунтом из сосуда В выпарить на водяной бане в фарфоровой чашке с известной массой. Затем просушить в сушильном шкафу в течение необходимого времени.

3. Взвесить полученные фракции (0,25-0,02 мм, 0,02-0,01 мм). Вес фракции менее 0,01 мм найти как разницу между весом всего образца и суммы вышеуказанных фракций. Выразить содержание каждой фракции в породе в процентах.

4. Фракцию менее 0,01 мм, полученную в начале эксперимента (сосуд А), следует использовать для определения гранулометрического состава пипеточным методом.

Обработка данных гранулометрического анализа:

1. Объединить результаты исследований.
2. Построить кривую однородности в простом и полулогарифмическом масштабе.
3. Вычислить коэффициент неоднородности.
4. Дать название грунту согласно ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» [7].

1.4. Определение гранулометрического состава грунта пипеточным методом

Необходимое оборудование:

Весы аналитические; цилиндр с отметками глубины ёмкость 1 л; пипетка Федулова — Качинского — Захарьева — Робинсона - Кёхля ёмкостью 25 см³ (при отсутствии таковой — пипетка ёмкостью 25 см³); резиновая груша; бутылка ёмкостью 5 л; стеклянные бюксы; сушильный шкаф.

Подготовка к испытанию:

Суспензию, оставшуюся после анализа методом Сабанина с фракцией менее 0,01 мм, поместить в пятилитровую бутылку, довести объём до 1 л и взбалтывая перелить в цилиндр. Перед отбором каждой пробы необходимо измерить температуру суспензии.

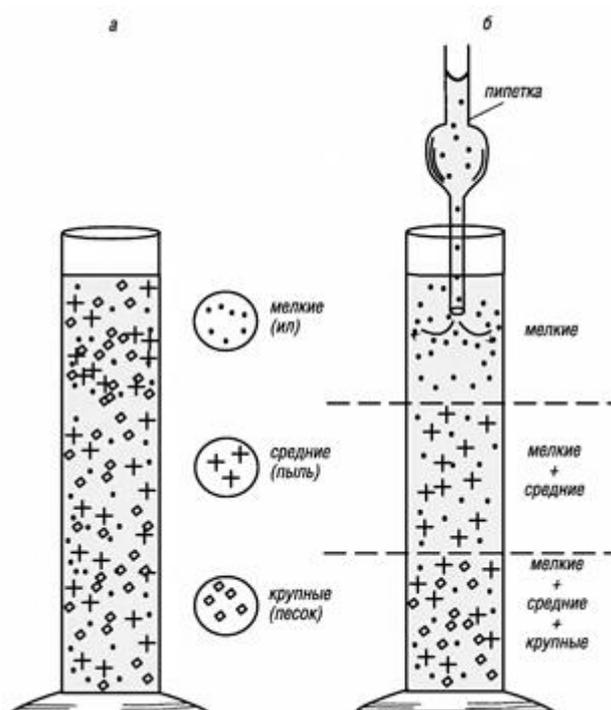


Рис.3. Схема определения фракций гранулометрических элементов по осаждению в стоячей воде и отбору проб с помощью пипетки

Испытание:

1. Приготовленную суспензию перед отбором пробы следует взбалтывать в течение 1 мин до полного взмучивания осадка со дна цилиндра, не допуская выплёскивания суспензии, и оставить цилиндр в покое до момента взятия пробы.
2. Затем погрузить кончик пипетки, на определённую глубину и отобрать 25 мл суспензии, которую необходимо вылить в стеклянный бюкс с известной массой.
3. Время отбора проб суспензии (с размерами частиц менее 0,05; 0,01; 0,005 и 0,001 мм) после начала отстаивания надлежит определять, в зависимости от удельного веса грунта и температуры по таблице приложения.
4. Пипетку необходимо промыть небольшими порциями дистиллированной воды, сливая ее в тот же бюкс.
5. Суспензию в бюксе следует сушить в сушильном шкафу при 105°С до постоянного веса и взвесить на аналитических весах.

Таблица 3

Размер частиц, мм	Глубина взятия пробы, см	Продолжительность взятия пробы, с
0,01-0,005	10	16
0,005-0,001	10	20
менее 0,001	7	30

Обработка результатов:

Взвесить бюкс с высушенным и охлаждённым грунтом. Вычислить массу полученной фракции по следующей формуле:

$$x = a \cdot \frac{1000 \text{ см}^3}{25 \text{ см}^3}$$

где x - полный вес фракции, а - вес пробы, взятой из бюкса.

Обработка данных гранулометрического анализа:

1. Объединить результаты исследований по трём вышеуказанным методам (пересчитать процентное содержание каждой фракции к общей массе пробы).
2. Построить кривую однородности в простом и полулогарифмическом масштабе.
3. Вычислить коэффициент неоднородности.
4. Дать название грунту.

1.5. Определение гранулометрического (зернового) состава грунтов ареометрическим методом

Ареометрический анализ применяется для определения гранулометрического состава глинистых грунтов и основан на проявлении разной скорости осаждения в воде различных по крупности частиц грунта.

Цель данного метода – определить содержание в грунте различных фракций с размерами частиц менее 0,1 мм. Определение гранулометрического (зернового) состава глинистых грунтов ареометрическим методом производят в соответствии с ГОСТ 12536-2014 путем измерения плотности суспензии ареометром в процессе ее отстаивания при постоянных характеристиках материала частиц и среды, скорости падения частиц, пропорциональных квадрату их радиусов (диаметров). По мере выпадения частиц различной крупности в осадок уменьшается плотность суспензии грунта. Измеряя эту плотность через рассчитанные промежутки времени ареометром, можно установить содержание в суспензии (грунте) различных по крупности фракций.

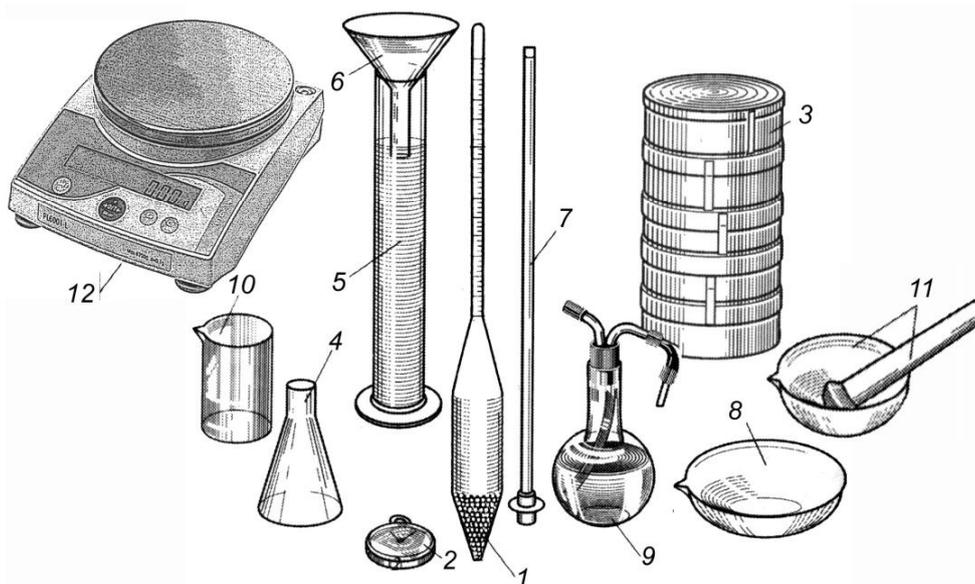


Рис.4.Необходимое оборудование

Необходимое оборудование:

Рис.4. Ареометр со шкалой 0,995-1-1,030 и ценой деления 0,001 (1); секундомер (2); набор сит с поддоном и с отверстиями: 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм (3); колба коническая плоскодонная емкостью 500 см³ (4); литровый цилиндр с внутренним диаметром 60±2 мм (5); воронка стеклянная с d порядка 4 и 14 см (6); мешалка для взбалтывания суспензии (7); чашки фарфоровые (8); промывалка (9); стеклянный стаканчик (10); ступка фарфоровая с резиновым пестиком (11); технические весы с точностью взвешивания до 0,01 г (12); термометр с погрешностью до 0,5 °С; песчаная баня; пипетка на 25 мл; 25 % - ный раствор аммиака.

Подготовка к испытанию:

1. Отбирают пробу грунта в воздушно сухом состоянии, не разрушенной структуры в количестве 35 г.
2. В колбу ёмкостью 250 мл переносят навеску грунта и доливают 100-150 мл дистиллированной воды и в получившуюся уже суспензию добавляют 1-2 мл 25% раствора аммиака под вытяжкой.
3. Колбу с исследуемым грунтом ставят кипятить в течение 5 мин после закипания и 30 мин на песчаной бане после основного кипячения.

4. После кипячения необходимо охладить суспензию до комнатной температуры.

Ход работы:

Этап 1

1. Охлажденную до комнатной температуры суспензию необходимо слить в стеклянный цилиндр вместимостью 1 л сквозь сито с размером отверстий 0,1 мм, помещенное в воронку диаметром приблизительно 14 см. Оставшиеся на внутренней поверхности колбы частицы грунта следует тщательно смыть дистиллированной водой из промывалки на поверхность сита.

2. Задержавшиеся на сите частицы и агрегаты грунта смывают струей воды в фарфоровую чашку, где их тщательно растирают пестиком с резиновым наконечником или пальцем в тонком резиновом чехле. Сливают образовавшуюся в чашке взвесь в цилиндр сквозь сито размером отверстий 0,1 мм. Растирание осадка в чашке и сливание взвеси сквозь сито в цилиндр следует продолжать до полного осветления воды над частицами, оставшимися на дне чашки. Уровень воды в цилиндре не должен превышать отметку 1000 см.

3. Частицы грунта, задержавшиеся на сите, тщательно смывают водой из промывалки в фарфоровую чашку, выпаривают на песчаной бане, высушивают в сушильном шкафу при $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. Если грунт органический, сушку проводят при температуре $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы. Высушенные до постоянной массы частицы грунта просеивают сквозь сита размером отверстий 0,5; 0,25 и 0,1 мм и взвешивают.

4. Частицы грунта, прошедшие сквозь сито размером отверстий 0,1 мм, следует перенести в цилиндр с суспензией

5. Результаты взвешивания фракций заносятся в табл. 4.

Таблица 4

Показатели	Размер частиц, мм						
	<5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1
Масса фракции							
Номер образца	$q_1=$	$q_2=$	$q_3=$	$q_4=$	$q_5=$	$q_6=$	$q_7=$

По данным таблицы определяют содержание в грунте фракции (%) крупнее 1 мм путем суммирования трех столбцов последней строки.

$$g_0 = q_1 + q_2 + q_3, g_0 = \text{_____} \% \text{. (1)}$$

Этап 2

1. Суспензию в мерном цилиндре доводят до объема 1000 см дистиллированной водой (если это необходимо)

2. Суспензию взбалтывают мешалкой в течение 1 мин на всю глубину до полного взмучивания осадка со дна цилиндра, не допуская выплескивания суспензии и вспенивания

3. Определяют по таблице 5 время взятия отсчета по ареометру после окончания взбалтывания суспензии. Затем за 10-12 с до замера плотности суспензии следует осторожно опустить в нее ареометр, который должен свободно плавать, не касаясь стенок и дна цилиндра, и взять отсчет по ареометру. Продолжительность взятия отсчета по ареометру должна быть не более 10 с.

Время взятия отсчета по ареометру

Диаметр фракций зерен грунта, мм	Время от конца взбалтывания суспензии до замера ее плотности
Менее 0,05	1 мин
Более 0,01	30 мин
Более 0,005	3 ч
Более 0,002	11 ч

Примечание - Для удобства работы с ареометром и расчетов следует брать упрощенные отсчеты, т.е. в отсчете плотности суспензии на шкале ареометра отбросить единицу и перенести запятую на три знака вправо: в этом случае тысячные деления будут представлять собой целые числа, а десятитысячные, которые берут на глаз, - десятые.

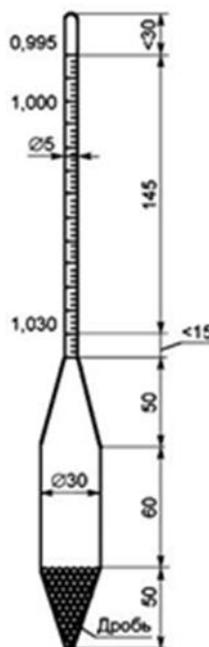


Рис.5 Ареометр со шкалой 0,995 - 1 - 1,030 и ценой деления 0,001

4. Контроль за температурой суспензии необходимо осуществлять замером температуры с погрешностью до 0,5°C в течение первых 5 мин (до начала опыта) и затем после каждого замера плотности суспензии ареометром. При температуре, отличающейся от 20°C, к отсчетам по ареометру, следует внести температурную поправку, определяемую по таблице в приложении.

В отсчеты плотности суспензии необходимо внести поправки на нулевое показание ареометра, высоту мениска (если ареометр тарирован по нижнему мениску) и диспергатор.

Обработка результатов

Массу абсолютно сухой средней пробы грунта, вычисляют с учетом поправки на гигроскопическую влажность при анализе воздушно-сухих образцов по формуле (2)

$$g_0 = \frac{g_1}{1 + 0,01W}, \quad (2)$$

где g_1 - масса средней пробы грунта в воздушно-сухом состоянии (или природной влажности), г; W - гигроскопическая (или природная) влажность, %.

Содержание фракций грунта размером более 0,5; 0,25 мм и 0,1 мм, вычисляют по формуле (3):

$$X = \frac{g_{\Pi}}{g_0} (100 - K), \quad (3)$$

где g_0 - масса данной фракции грунта, высушенной до постоянной массы, г; g_{Π} - масса абсолютно сухой средней пробы грунта (взятой для ареометра), г; K - суммарное содержание фракции грунта размером более 0,1 мм, %.

По данным каждого замера ареометром вычисляют суммарное содержание всех фракций грунта менее данного диаметра грунта, по формуле (4):

$$X = \frac{\rho_s \cdot R_{\Pi}}{(\rho_s - \rho_w) \cdot \rho_0} (100 - K), \quad (4)$$

где R_{Π} - показания ареометра с поправками; ρ_s - плотность частиц грунта, г/см³; ρ_w - плотность воды, равная 1 г/см³; g_0 - масса абсолютно сухой средней пробы грунта взятое для анализа, г; K - суммарное содержание фракции грунта размером более 1,0 мм, %.

Определив суммарное процентное содержание фракций грунта с помощью ареометра, вычисляют процентное содержание каждой фракции грунта.

Содержание фракций от 0,05 до 0,01 мм вычисляют по разности между процентным содержанием фракций менее 0,05 мм и менее 0,01 мм.

Аналогично вычисляют процентное содержание фракций грунта 0,01-0,002 мм и 0,002-0,001 мм.

Результаты анализа надлежит регистрировать 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; 0,1-0,05; 0,05-0,01; 0,01-0,002 и менее 0,002 мм, а также методы подготовки грунта к анализу. Результаты анализа необходимо сопровождать указанием процентного содержания гигроскопической влажности и химического вещества, примененного для стабилизации суспензии.

1.6. 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. 1.)

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.

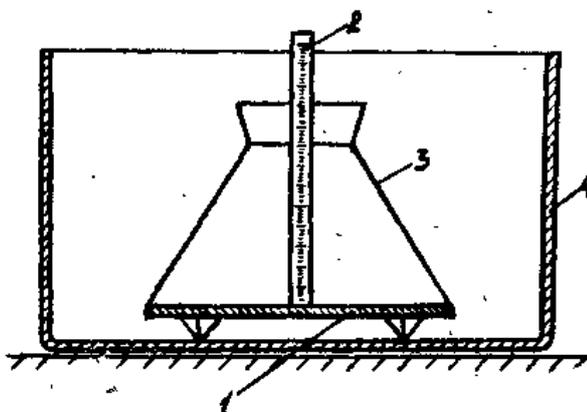


Рис.6 Схема прибора УВТ-2 для определения угла

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 6

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?
4. Чем грозит подтопление неукрепленной насыпи, угол откоса которой равен углу естественного откоса насыпи в сухом состоянии?

1.7. Определение содержания органической компоненты с помощью метода сухого сжигания

Органическое вещество содержится в различных типах грунтов, относящихся преимущественно к осадочным породам со смешанным типом структурных связей. При инженерно-геологических исследованиях содержание органического вещества изучают с целью установления его влияния на водно-физические (физико-химические) и физико-механические свойства грунтов.

Суммарное содержание органического вещества выражается в виде общего содержания органического углерода I_r или гумуса, выраженного в процентах или долях единицы по отношению к массе абсолютно сухой навески. Для определения суммарного содержания органического вещества применяют метод сухого сжигания. Он основан на способности органической компоненты сухого грунта выгорать при высоких температурах без изменения массы и состава минеральной части. О величине органической компоненты судят по разности масс образца до и после сжигания.

Необходимое оборудование:

Бюретки. Весы лабораторные. Шкаф сушильный с автоматическим регулированием температуры (105 л 2) °С. Палочки стеклянные. Перчатки термозащитные. Печь муфельная с электрическим обогревом, с устойчивой температурой нагрева с терморегулятором. Сито с отверстиями диаметром 0,25 мм с поддоном и крышкой. Стаканы стеклянные. Тигли фарфоровые, обеспечивающие вмещение пробы массой 3—5 г без уплотнения. Щипцы тигельные. Эксикатор.



Рис.7. Фарфоровый тигель на технических весах

Подготовка к анализу:

- Образцы грунта с удаленными растительными остатками, поступившие на анализ, доводят до воздушно-сухого состояния. Масса воздушно-сухой пробы грунта должна быть не менее 50 г.
- Грунт измельчают и просеивают через сито с отверстиями диаметром 0,25 мм до тех пор, пока весь грунт не пройдет через сито, тщательно перемешивают, методом квартования отбирают 20—30 г и помещают в бюксы.
- Приступая к анализу, весь грунт из бюкса высыпают на лист стекла, пластмассы или полиэтиленовой пленки, распределяют тонким слоем, затем не менее чем из 5 мест отбирают пробы шпателем или ложечкой.
- Масса анализируемой пробы — от 3 до 5 г.

Проведение анализа

Анализируемые пробы грунтов в воздушно-сухом состоянии помещают в предварительно взвешенные фарфоровые тигли с таким расчетом, чтобы проба занимала не более 2/3 объема тигля, взвешивают их с погрешностью не более 0.001 г, помещают в холодный сушильный шкаф и нагревают его до 105 С и высушивают пробы до постоянной массы.

Определение содержания органического вещества.

Схема А Для голоценовых аквальных грунтов (органоминеральных и дисперсных связных минеральных) установить температуру прокаливанию до постоянной массы (350 ± 10) С.

Схема Б Для дисперсных связных и несвязных минеральных грунтов, по возрасту не относящихся к голоценовым. установить температуру прокаливанию до постоянной массы 450 ± 10 С. В случае, если относительное содержание органического вещества, полученное при применении схемы Б. превышает 10 %. следует применить схему В.

Схема В Для органоминеральных (заторфованных) и органических (торфов, сапропелей) грунтов установить температуру прокаливанию до постоянной массы (525 ± 25) С. Тигли с пробами грунтов, высушенными при (105 ± 2) С до постоянной массы, ставят в холодную муфельную печь и постепенно доводят температуру до значения, соответствующего выбранной схеме, и прокалывают тигли в течение 3 ч.

Тигль и с зольным остатком вынимают из муфельной печи, закрывают их крышками и ставят в эксикатор.

Охлажденные до комнатной температуры тигли взвешивают с погрешностью не более 0.001 г.

Внимание! Некоторые минеральные компоненты грунта (например, гипс и другие кристаллогидраты) начинают разлагаться при температурах менее 350 °С, поэтому результат определения содержания органического вещества методами сухого сжигания носит не точный, а условный характер.

В случае схемы В. несгоревшие частицы грунта дополнительно выжигают. Для этого в тигли добавляют несколько капель горячей дистиллированной воды температурой более 90 С или 3 %-ного раствора перекиси водорода и повторно прокалывают при температуре (525 ± 25) С в течение 1 ч. охлаждают в эксикаторе и взвешивают с погрешностью не более 0.001 г.

После охлаждения и взвешивания оценивают изменение массы зольного остатка. Если изменение массы будет менее 0.005 г. то анализ заканчивают и для расчета принимают наименьшее значение массы. При изменении массы на 0.005 г и более тигли с зольным остатком прокалывают дополнительно. Прокалывание заканчивают, если разность в массе при двух последовательных взвешиваниях будет менее 0,005 г

$$I_r, \% = 100 - \frac{(m_2 - m_0) \cdot 100}{m_1 - m_0}$$

Внимание! Окисление некоторых соединений перекисью водорода может приводить к набору дополнительной массы минеральной частью образца, поэтому применение данного способа может вносить дополнительную погрешность в определение (занижать реальные значения).

Вопросы к самоконтролю:

1. Зачем определять содержание органической компоненты?
2. Для определения каких свойств грунтов можно использовать грунт после определения содержания органической компоненты?
3. Зачем перед сжиганием помещать грунт в сушильный шкаф?
4. Зачем удалять гигроскопичную влагу?

1.8. Определение карбонатов в грунтах

Присутствие карбонатов существенно влияет на растворимость грунта, а, следовательно, и на его инженерно-геологические свойства.

Карбонаты в грунтах встречаются в виде кальцита, доломита, сидерита, родохрозита, магнезита. Под карбонатами в грунтах понимают суммарное содержание этих компонентов, причём основное внимание уделяется кальциту как наиболее типичному представителю. Содержание карбонатов в грунтах выражается в процентах CaCO_3 или CO_2 по отношению к абсолютно сухой навеске грунта.

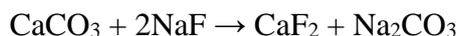
Определение карбонатов в грунте на качественном уровне производится оценкой «вскипания» грунта при обработке 10% раствором соляной кислоты. В лабораторных условиях содержание карбонатов может быть рассчитано косвенным путём на основании анализа солянокислой вытяжки и непосредственно определено объёмным (пирометрическим) способом по методу В.Е.Соколовича, с помощью кальцитометров (метод П.Ф. Мельникова) или методом Кноппа. Последние два способа более трудоёмкие, поэтому остановимся на методе В.Е. Соколовича (ГОСТ 34467-2018).

Необходимое оборудование и реактивы:

Конические колбы термостойкие объёмом 250 мл, бюретки, пипетки, соляная кислота 1 н. концентрации, спиртовой раствор фенолфталеина 0,1% (Приложение...).

Последовательность определения:

Способ основан на взаимодействии карбонатов кальция и магния с раствором фторида натрия с образованием малорастворимого фторида кальция:



При избытке фторида натрия и кратковременном кипячении реакция проходит слева направо количественно. Образовавшийся в результате указанной реакции карбонат натрия титруют раствором соляной кислоты по фенолфталеину до бикарбоната натрия. По расходу HCl вычисляют содержание углекислоты.

Выполнение определения проводят по следующей методике: карбонатные породы в воздушно-сухом состоянии растирают в ступке и просеивают через сито с отверстиями 0,25 мм. Навеску пробы 4-5 г взвешивают на аналитических весах, помещают в коническую колбу ёмкостью 150-200 мл, в которую прибавляют 70-80 мл дистиллированной воды. Суспензию перемешивают около 30 с, добавляют несколько капель индикатора фенолфталеина; в случае щелочной реакции от природных нормальных карбонатов нейтрализуют раствор 0,5 или 1 н. раствором HCl до исчезновения розовой окраски индикатора.

В нейтрализованный раствор вводят около 4 г кристаллического химически чистого фторида натрия. Суспензию взбалтывают и нагревают до кипения. После кипячения в течение 5 мин пробу охлаждают до 20-25 градусов, добавляют дополнительно несколько капель фенолфталеина. Образовавшийся раствор Na_2CO_3 титруют 0,5 или 1 н. раствором HCl до исчезновения розовой окраски индикатора в осветлённом слое суспензии. Количество кислоты, израсходованное на нейтрализацию естественной щёлочности грунта, не учитывают. Расчёт ведут только на кислоту, израсходованную на нейтрализацию раствора карбоната натрия,

образовавшегося от разложения карбонатов раствором фторида натрия. При этом 1 мл 1 н. раствора HCl соответствует 44 мг CO₂ или 100 мг CaCO₃.

$$\text{CO}_2 = \frac{a \cdot 0.044 \cdot 100}{m}, \% ; \quad \text{CaCO}_3 = \frac{a \cdot 0.1 \cdot 100}{m}, \%$$

где *a* – количество соляной кислоты, израсходованное на титрование (мл); *m* - масса сухого грунта, взятого для анализа; 0,044 и 0,1 – граммовое выражение содержания CO₂ и CaCO₃, соответствующее 1 мл 1 н. раствора соляной кислоты.

Вопросы к самоконтролю:

1. Зачем определять «карбонатность» грунтов?
2. Зачем добавляют в раствор фторид натрия?
3. Индикатором чего, в данной работе, является фенолфталеин.
4. Можно ли взять навеску грунта больше 5 г.? Почему?

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 объём 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 вдавливаются.

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 нельзя изменять при проведении данного испытания?
2. Внешний или внутренний диаметр кольца замеряется для определения объёма кольца?
3. Почему нельзя взвешивать кольцо с остатками грунта на наружных стенках кольца?
4. Как добавить грунт в кольцо, если в процессе вырезания выпал грунт с внутренней части кольца?

2.2. Определение плотности связных грунтов методом гидростатического взвешивания

Подготовка к испытаниям:

1. Вырезают образец грунта объемом не менее 50 см³ и придают ему округлую форму, срезая острые выступающие части.
2. Образец обвязывают тонкой прочной нитью со свободным концом длиной 15-20 см, имеющим петлю для подвешивания к серьге весов.
3. Парафин, не содержащий примесей, нагревают до температуры 57-60°C.

Проведение испытаний:

1. Обвязанный нитью образец грунта взвешивают.
2. Образец грунта покрывают парафиновой оболочкой, погружая его на 2-3 секунды в нагретый парафин. При этом пузырьки воздуха, обнаруженные в застывшей парафиновой оболочке, удаляют, прокалывая их и заглаживая места проколов нагретой иглой. Эту операцию повторяют до образования плотной парафиновой оболочки.
3. Охлажденный парафинированный образец взвешивают. Затем парафинированный образец взвешивают в сосуде с водой. Для этого над чашей весов устанавливают подставку для сосуда с водой так, чтобы исключить ее касание к чаше весов (или снимают подвес с чашей с серьги, уравнив весы дополнительным грузом). К серьге коромысла подвешивают образец и опускают в сосуд с водой. Объем сосуда и длина нити должны обеспечить полное погружение образца в воду. При этом образец не должен касаться дна и стенок сосуда.
4. Взвешенный образец вынимают из воды, промокают фильтровальной бумагой и взвешивают для проверки герметичности оболочки. Если масса образца увеличилась более чем на 0,02 г по сравнению с первоначальной, образец следует забраковать и повторить испытание с другим образцом.
- 5.

Обработка результатов:

Плотность грунта ρ , г/см³ вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m \rho_p \rho_w}{\rho_p (m_1 - m_2) - \rho_w (m_1 - m_2)}$$

где m - масса образца грунта до парафинирования, г; m_1 - масса парафинированного образца грунта, г; m_2 - результат взвешивания образца в воде, г; ρ_p - плотность парафина, принимаемая равной 0,900 г/см³; ρ_w - плотность воды при температуре испытаний, г/см³.

Примечание.

Плотность парафина следует уточнять для каждой партии парафина. Плотность воды, в зависимости от температуры, следует принимать по справочному приложению.

Метод гидростатического взвешивания является наиболее точным методом определения плотности дисперсных грунтов. Он используется особенно в тех случаях, когда не представляется возможным вырезать образцы геометрически правильной формы, не поддающиеся взятию в кольцо (склонные к выкрашиванию).

Метод основан на определении объёма образца через потерю его массы при взвешивании в воде, равную по закону Архимеда объёму вытесненной жидкости.

Обратить внимание:

1. Образец грунта не должен быть малого диаметра.
2. Температура парафина не должна быть выше 60°C.
3. Парафиновая оболочка должна быть абсолютно герметичной и в ней не должно содержаться пузырьков воздуха.
4. Изменение массы после парафинирования не должно быть более 20%.
5. При взвешивании в воде образец не должен касаться ни дна, ни стенок сосуда.
6. После воды образец тщательно вытирают до абсолютно сухого состояния.
7. Масса парафинированного образца до воды и после не должна отличаться более чем на 0,02 г.

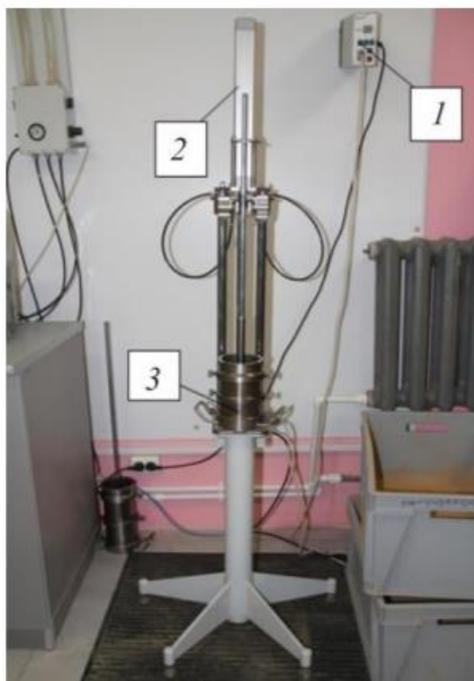
Вопросы к самоконтролю:

1. Зачем грунт парафинируют?
2. Почему температура парафина не должна быть выше 60°C?
3. Зачем взвешивать образец второй раз, после определения массы образца в воде?
4. Почему парафиновая оболочка должна быть абсолютно герметичной и в ней не должно содержаться пузырьков воздуха?
5. Почему образцу придают округлую форму?

2.3. Определение плотности искусственного грунта прибором стандартного уплотнения ГТ 1.4.1

Метод стандартного уплотнения заключается в установлении зависимости плотности сухого грунта от его влажности в результате уплотнения, при этом в ходе испытания над образцом совершается работа по уплотнению и увеличивается его влажность.

Данный метод используется для проведения испытаний над образцами грунта нарушенного сложения, отобранный из горных выработок (шурфов, котлованов, буровых скважин), в обнажениях или в складированных массивах грунта.



Условные обозначения:

1 – блок управления,

2 – механизм подъемно-сбросной,

3 – форма для формирования образца грунта с поршнем

Рис.8. Прибор стандартного уплотнения ГТ 1.4.1:

Важные условия испытания: число последовательных испытаний грунта при увеличении его влажности должно быть не менее пяти и достаточным для построения графика сухого уплотнения и выявления на нем максимального значения плотности сухого грунта. Кроме того, расхождение результатов испытаний, проводимых параллельно, не должно превышать 1,5% при определении плотности сухого грунта и 10% для определения оптимальной влажности. В противном случае требуется повторение испытания.

Оборудование и приборы:

Весы для статического взвешивания средней точности (для взвешивания 2-5 кг); весы лабораторные; линейка; мерные цилиндры вместимостью 100 и 50 мл; чашки металлические вместимостью 5 л; бюксы; фарфоровая чаша с пестиком для растирки грунта; сушильный шкаф; набор сит с диаметром отверстий 20, 10 и 5 мм; шпатель металлический; нож лабораторный с прямым лезвием.

Подготовка грунта:

1. В фарфоровой ступке размельчить грунт пестиком.
2. Грунт взвесить (m_p) и просеять через сита с отверстиями диаметром 20 мм и 10 мм.

При этом вся масса грунта должна пройти через сито 20 мм, в противном случае дополнительно растереть в чаше частицы грунта крупнее 20 мм.

3. Взвесить частицы (m_k), диаметр которых крупнее 10 мм. Если масса частиц грунта крупнее 10 мм составляет 5% и более, дальнейшее испытание проводят с пробой грунта, прошедшего через сито 10 мм. Если масса частиц грунта крупнее 10 мм составляет менее 5%, производят дальнейшее просеивание грунта через сито с отверстиями диаметром 5 мм и определяют содержание частиц крупнее 5 мм. В этом случае дальнейшее испытание проводят с пробой грунта, прошедшего через сито 5 мм.

4. Из отсеянных частиц отобрать пробы на определение влажности (w_k) и средней плотности частиц (ρ_k)

5. Из грунта, прошедшего через сито, отбирают пробы для определения влажности в воздушно-сухом состоянии (w_g)

6. Содержание крупных частиц K , % высчитывается по формуле:

$$K = \frac{m_k(1 + 0,01w_g)}{m_p(1 + 0,01w_k)} 100$$

где m_k - масса отсеянных крупных частиц, г; w_g - влажность просеянного грунта в воздушно-сухом состоянии, %; m_p - масса образца грунта в воздушно-сухом состоянии, г; w_k - влажность отсеянных крупных частиц, %.

Из просеянного грунта методом квартования отбирается проба грунта для испытания. Масса пробы 2500 г (m'_p). Отобранная проба помещается в металлическую чашку для испытаний.

Количество воды, необходимое для увлажнения грунта к испытанию высчитывается по формуле:

$$Q = \frac{m'_p}{1 + 0,01w_g} 0,01(w_1 - w_g)$$

где m'_p - масса отобранной пробы, г; w_1 - влажность грунта для первого испытания (определяется по таблице 7) w_g - влажность просеянного грунта в воздушно-сухом состоянии, %.

Таблица 7

Грунты	Влажность w_1 грунта для первого испытания, %
Песок гравелистый, крупный и средней крупности	4
Песок мелкий и пылеватый	6
Супесь, суглинок легкий	6-8
Суглинок тяжелый, глина	10-12

В отобранную пробу грунта вливается в несколько приемов рассчитанное количество воды и перемешивается шпателем.

Подготовка прибора:

1. Взвесить цилиндрическую часть формы (кольцо) (m_c) и затем установить ее на поддон.

2. Установить зажимное кольцо на верхний бортик кольца и зажать его винтами поддона и кольца.

3. Внутреннюю часть кольца смазать техническим вазелином и установить собранную форму на плиту основания прибора.

Проведение испытания:

1. В собранную форму поместить подготовленный ранее грунт, распределив его слоем в 5-6 см, слегка уплотняя его поверхность рукой.
2. Произвести уплотнение 40 ударами груза по наковальне с высоты 30 см. Аналогичное действие проводить с каждым из последующих слоев грунта, помещаемых в кольцо.
3. Срезать выступающую часть грунта, а углубления, образованные вследствие выпадения крупных частиц, заполнить вручную и выровнять ножом.
4. Взвесить кольцо с уплотненным грунтом (m_i) и вычислить плотность грунта (ρ_i) по формуле:

$$\rho_i = \frac{(m_i - m_c)}{V},$$

где m_i - масса цилиндрической части формы с уплотненным грунтом, г; m_c - масса цилиндрической части формы без грунта, г; V - вместимость формы, см.

Извлечь из формы уплотненный образец грунта и из нижней, средней и верхней его части отобрать пробы для определения влажности

Остальной грунт из формы присоединить к оставшемуся в шашке грунту, измельчить и перемешать. Увеличить влажность на 1-2% для несвязных грунтов и на 2-3% для связных. Количество воды высчитывается по выше названной формуле, где за W_g и W_1 принимаются влажности предыдущего и очередного испытания соответственно.

Повторяется цикл заполнения формы грунтом с уплотнением и отбора проб на влажность. Испытание считать законченным, когда с повышением влажности пробы при последующих двух испытаниях происходит последовательное уменьшение значений массы и плотности уплотняемого образца грунта, а также, когда при ударах происходит отжатие воды или выделение разжиженного грунта через соединения формы.

В процессе испытания заполняется таблица 8:

Таблица 8

N испытания	Определение плотности				Определение влажности						Плотность сухого грунта, г/см (по 8.1)	
	Масса, г			Плотность грунта, г/см (по 7.4)	N штака нчика для взвешивания	Масса, г			Влажность, %			
	формы	формы с уплотненным грунтом	уплотненного грунта $m_i - m_c$			пустого штака нчика	штака нчика с влажным грунтом	штака нчика с сухим грунтом	абсолютная	средняя		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

Обработка результатов:

По полученным в ходе испытания значениям влажности и плотности грунта вычисляются значения плотности сухого грунта ρ_{di} , г/см³ по формуле:

$$\rho_{di} = \frac{\rho_i}{1 + 0.01w_i},$$

где ρ_i - плотность грунта, г/см; w_i - влажность грунта при очередном испытании, %.

Строится график зависимости изменения значений плотности сухого грунта от влажности. По наивысшей точке графика для связных грунтов находят значение максимальной плотности ($\rho_{d \max}$) и соответствующее ему значение оптимальной влажности (w_{opt}). Примеры построения графиков на рис.2.

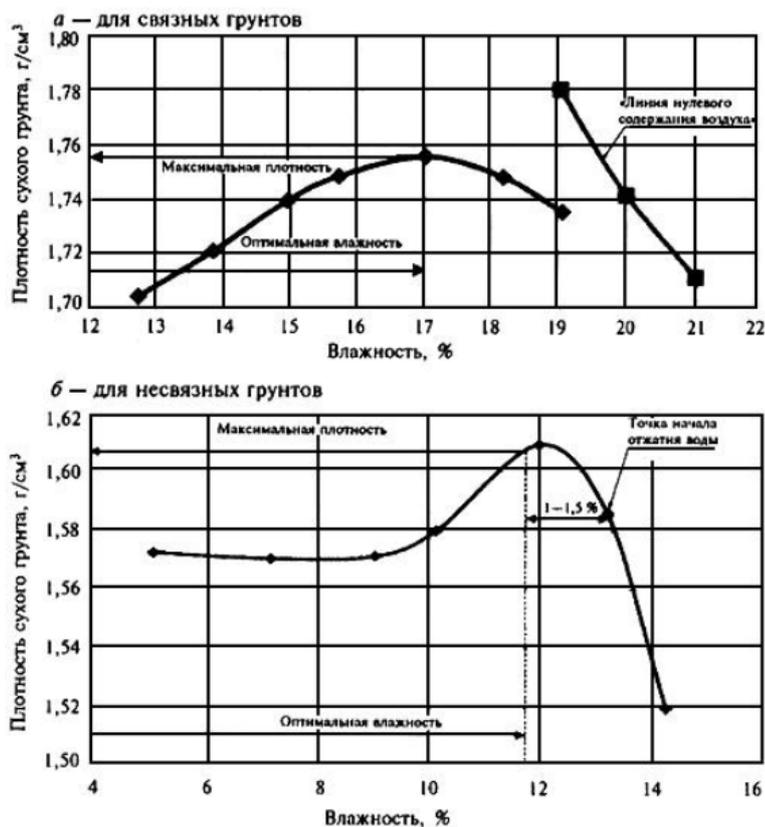


Рис.9.Образец графического оформления результатов испытания грунта методом стандартного уплотнения

Вопросы к самоконтролю:

1. В чем заключается метод стандартного уплотнения?
2. Для каких грунтов применим данный метод?
3. Какое минимальное количество испытаний требуется для получения достоверных результатов?
4. Какой признак говорит о том, что испытание окончено и последующего увлажнения грунта не требуется?

2.4.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 - 1ч.
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 $V_{п}$, 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. Зачем кипятят грунт?
2. Почему температура воды должна быть одинаковая при всех измерениях?
3. Почему при кипячении не нужно закрывать пикнометр колпачком?
4. На каких стадиях испытания можно допустить ошибки? Какие?

2.5.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.

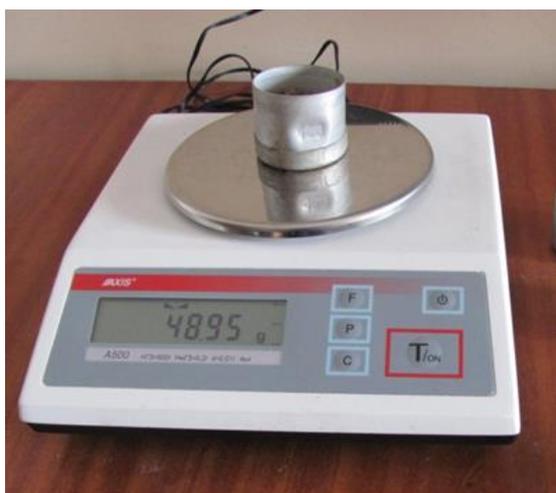


Рис.10 Технические весы



Рис. 11. Сушильный шкаф

Последовательность определения:

1. Взвесить на технических весах бюкс с крышкой (g_0).
2. Взять пробу исследуемого грунта примерно в 10 г, поместить в бюкс 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. Закрывать в сушильном шкафу бюкс с высушенным грунтом крышкой, перенести в эксикатор и дать остыть в течение 30-40 минут.

5. Взвесить охлажденный 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 называется влажностью грунтов?
2. По какой формуле можно определить влажность грунта?
3. В чем сущность метода определения влажности грунтов весовым способом?
4. Будет ли ошибкой взвешивать неостывший бюкс?

2.6. 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:

$$e = \frac{V_n}{V_s} = \frac{(\rho_s - \rho_d)}{\rho_d},$$

где V_n – 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 9

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 называется пористостью грунтов?
2. По какой формуле определяется пористость?
3. В чем измеряется пористость?
4. В чем измеряется коэффициент пористости?

2.7. Определение максимальной молекулярной влагоёмкости методом влагоёмких сред

Влажность «максимальной молекулярной влагоёмкости» $W_{\text{ММВ}}$, введённая в 1936 г. А.Ф. Лебедевым, характеризует количество в грунте всей связанной воды и часть воды переходного состояния (от связанной к свободной), а именно часть осмотически поглощённой и капиллярно-«стыковой» влаги. При этом в песчаных грунтах, в которых доля осмотической влаги мала, величина $w_{\text{ММВ}}$ помимо связанной воды отражает в основном наличие капиллярно-«стыковой» влаги. В пылеватых и глинистых грунтах величина $W_{\text{ММВ}}$ близка к начальной влажности формирования осмотически поглощённой влаги и обусловлена наличием в ультра- и микропорах грунта плёнок воды толщиной 2-10 нм.

Необходимое оборудование:

Уплотнительная ванна, сито с отверстиями 1 мм, фарфоровая чашка, фильтровальная бумага 40 листов, ступка с резиновым пестиком, резиновый шаблон, нож, малый и большой стальные круги.

Последовательность определения:

1. Грунт, высушенный на воздухе, размельчают в ступке резиновым пестиком и просеивают через сито с отверстиями 1 мм на лист бумаги.
2. Просеянный грунт в количестве около 30-40 г насыпают в фарфоровую чашку, в которую затем приливают воды, и приготавливают грунтовую массу консистенции, близкой к пределу текучести.
3. Берут 20 листов фильтровальной бумаги и на него укладывают резиновый шаблон (строго посередине), который затем наполняют грунтовой массой. Избыток грунта срезают ножом ровно по плоскости шаблона. Затем шаблон снимают, а полученную грунтовую лепёшку накрывают оставшимися 20 фильтрами.
4. Затем грунт с фильтрами укладывается на большой стальной круг и покрывается маленьким стальным кругом. Далее грунт вместе с фильтрами и стальными кругами помещают под нагрузку в уплотнительную ванну на десять минут. Величина нагрузки – $65,5 \text{ кг/см}^3$.
5. После разгрузки грунт освободить от стальных кругов и цилиндров, и поместить в заранее взвешенный бюкс. Взвесить, а затем высушить в сушильном шкафу до постоянного веса. Рассчитать влажность, которая и будет влажностью «максимальной молекулярной влагоёмкости».

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.

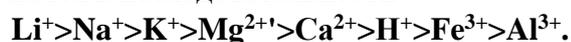
Разность в величине влажности грунта при верхнем и нижнем пределах пластичности называется **числом пластичности (M_p или I_p)**. Число пластичности показывает диапазон колебаний влажности, в котором грунт обладает пластическими свойствами. Чем больше число пластичности, тем более пластичен грунт.

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 диффузионного 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 представляет собой верхний предел пластичности?
3. Что представляет собой нижний предел пластичности?
4. Какие факторы определяют пластичность связных грунтов?
5. Какие основные недостатки ручной раскатки жгутов грунта и почему?
6. Как определяется влажность на границе текучести?
7. Как определяется влажность на границе раскатывания?
8. Что такое число пластичности и для чего оно определяется?
9. Для чего определяется показатель текучести?
10. От чего зависит пластичность 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 см³ 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 чем измеряется влажность нижнего предела пластичности?
2. Для каких грунтов определяется нижний предел пластичности?
3. Что такое нижний предел пластичности?
4. Чем характеризуется нижний предел пластичности?

3.2. Определение нижнего предела пластичности на приборе ГТ 1.8.2

Основные недостатки раскатки жгутов грунта ручным способом при определении нижнего предела пластичности – трудоемкость процесса, низкая надежность получаемых результатов из-за невозможности контролировать изменение диаметра раскатываемых жгутов.

Устройство для определения границы пластичности методом раскатывания ГТ 1.8.2. (Рис.1.) призвано ускорить процесс раскатки и улучшить ее качество.

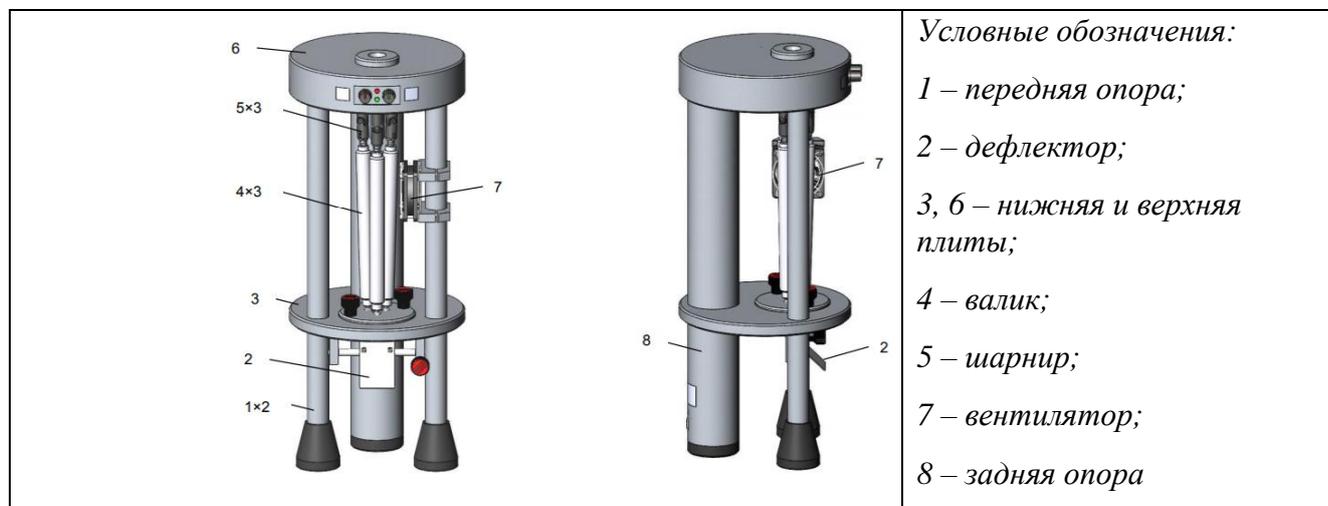


Рис.12. Внешний вид конструкции ГТ 1.8.2.

Принцип работы прибора: образец грунта, опущенный в воронку, прокатывается между тремя вращающимися валиками, приводимыми в движение электроприводом. Вентилятор осуществляет дополнительное подсушивание образца. Образец грунта при прокатывании и под воздействием вентилятора теряет часть влаги. По окончании прокатывания образец через выпускное отверстие в нижней плите попадает на дефлектор. Предел пластичности считается достигнутым, когда раскатываемый образец при попадании на дефлектор разрушается на части.

Подготовка прибора:

1. Настроить диаметр образца, изменяя зазор между валиками, для этого ослабить зажимные винты, расположенные на нижней плите, отрегулировать зазор на необходимый диаметр образца, вращая диск. Настроенный зазор зафиксировать, затянув зажимные винты.
2. Отрегулировать угол наклона дефлектора регулировочным винтом, сначала ослабив его, а затем после регулировки затянув. Оптимальным является угол в 45° по отношению к выпускному отверстию.
3. Установить оба переключателя на верхней плите в крайнее левое положение (цветными метками вверх)
4. Подключить сетевой шнур питания блока к сети электропитания. При этом на блоке питания загорается зеленый индикатор.
5. Повернуть левый переключатель (с красной меткой) по часовой стрелке, при этом загорается красный индикатор, валики начинают вращаться.
6. Отрегулировать скорость вращения валиков регулятором. При необходимости включить вентилятор поворотом правого переключателя по часовой стрелке. При включении загорается зеленый индикатор.

Последовательность определения:

1. Подготовить образец грунта вручную диаметром не более 10 мм и опустить его в воронку. Вращающиеся валики сформируют образец и опустят вниз через выпускное отверстие на пластину дефлектора
2. Если разрушения образца не произошло, то его необходимо размять и повторно поместить в загрузочную воронку
3. Как только раскатываемый образец начал распадаться по поперечным трещинам на кусочки длиной 3-10 мм, их собирают в бюксы. Когда масса грунта в бюксе достигнет 10-15 г, определяют влажность:
4. Проба взвешивается в закрытом бюксе.
5. Открытый бюкс помещается в сушильный шкаф и высушивается до постоянной массы.
6. После высушивания закрытый бюкс охлаждают до температуры помещения и взвешивают.
7. Влажность грунта на границе раскатывания W_p , % вычисляется по формуле:

$$W_p = 100 \cdot \frac{(m_1 - m_2)}{(m_2 - m_0)}, \%$$

где m_1 - масса влажного грунта с бюксом, г; m_0 - масса высушенного грунта с бюксом, г; m - масса пустого бюкса, г.

8. Взвешивание производят с точностью до 0,01 г, влажность рассчитывают с точностью до 1%, а при влажности менее 30% – с точностью до 0,1%.
9. Полученная весовая влажность и будет влажностью нижнего предела пластичности W_p .

Вопросы к самоконтролю:

1. Какие основные недостатки раскатки жгутов грунта ручным способом при определении нижнего предела пластичности?
2. Как вычислить влажность грунта на границе раскатывания?
3. Когда предел пластичности считается достигнутым?
4. С какой точностью рассчитывается влажность?

3.3.Определение границы раскатывания (пластичности) методом прессования

Границу раскатывания допускается определять как влажность грунтовой пасты, устанавливающуюся после прессования ее в контакте с целлюлозой (фильтровальной бумагой) под давлением 2 МПа (20 кг/см²) до завершения водоотдачи грунта.

Необходимое оборудование:

Сушильный шкаф, лабораторные весы, металлические или стеклянные бюксы, фарфоровая или металлическая чашка диаметром 7-8 см, шпатель, фарфоровые ступка с пестиком, сито с отверстием 1 мм, фильтровальная бумага, деревянные или металлические пластинки, пресс.

Последовательность определения:

Образец грунта, объемом около 5 см³ 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.

Шаблон толщиной 2 мм с отверстием 5 см укладывают на хлопчатобумажную ткань и заполняют грунтовой пастой, подготовленной по 7.3 настоящего стандарта. Избыток пасты срезают ножом вровень с поверхностью шаблона. Шаблон удаляют, а полученный образец покрывают сверху такой же тканью.

Снизу и сверху подготовленного образца укладывают по 20 листов фильтровальной бумаги размером 9х9 см. Подготовленный образец помещают между деревянными или металлическими пластинками и создают с помощью прессы давление на образец 2 МПа (20 кг/см² ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик) в течение 10 мин.

Затем проводят контроль завершения водоотдачи грунта. Для этого снимают давление прессы, вынимают образец и, удалив фильтровальную бумагу и ткань, сгибают образец пополам. Границу раскатывания считают достигнутой, если образец на сгибе дает трещину.

При отсутствии трещины определение повторяют на новой порции пасты, увеличив длительность прессования на 10 мин по сравнению с длительностью предыдущего испытания. Повторные прессования повторяют до тех пор, пока не будет достигнута граница раскатывания грунта в соответствии с п.К.4.3 настоящего приложения.

По достижении границы раскатывания сразу определяют влажность образца.

Для контроля применимости метода для грунтов, поступающих в лабораторию, не менее 20% общего числа образцов из каждого инженерно-геологического элемента следует испытывать параллельно методом раскатывания. Метод прессования допускается применять только при получении сопоставимых результатов контрольных определений.

3.4.Определение влажности верхнего предела пластичности методом балансирного 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 балансирный 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 острие балансирного 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%.

3.5.Определение верхнего предела пластичности на приборе Казагранде ручной S170

Один из методов нахождения величины W_L является метод определения с помощью чашки Казагранде. Процедура этих испытаний известна с 1932 г., она проста и достаточно эффективна. Устройство состоит из съемной латунной чашки, которая при помощи кулачкового привода сбрасывается на основание из бакелита (или эбонита).

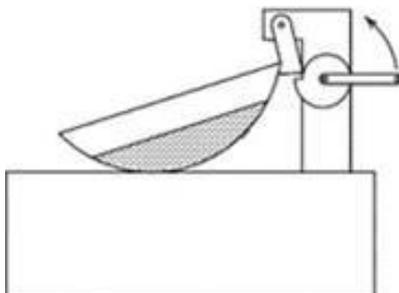


Рис.13 Схема прибора чашка Казагранде

Ход работы

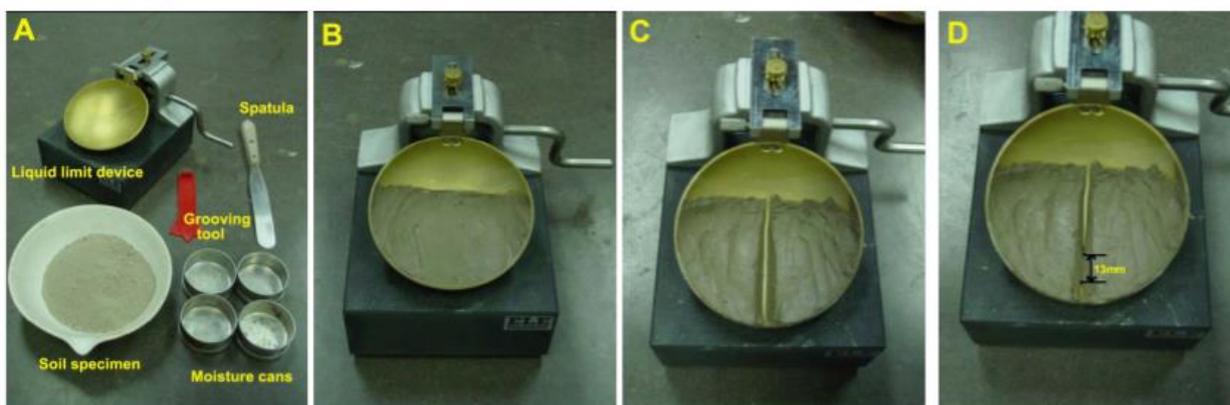


Рис.14. Ход лабораторного испытания

1. Размельчить грунт пестиком в фарфоровой чашке, увлажнить его дистиллированной водой до состояния густого теста при одновременном помешивании шпателем.
2. Грунтовую массу тщательно перемешать шпателем и заполнить ею чашку прибора как показано на рис.2. Затем грунт в чашке делится ножом на две части V-образным надрезом, после чего в нем остается бороздка шириной 1,25 см.
3. Начать вращение ручки прибора. Если при вращении ручки прибора приблизительно после 23-26 падений чашки с высоты 1 см бороздка затягивается (на участке 13 мм и более), то считается, что влажность грунта достигла границы текучести.
4. По результатам испытания строится график зависимости влажности от количества падений чашки, по которому определяют предел текучести как влажность, соответствующую 25 падениям чашки (Рис.2).
5. Когда искомая влажность верхнего предела пластичности достигнута, из чашки 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%.

Вопросы к самоконтролю:

1. Что такое верхний предел пластичности?
2. Какими методами определяется верхний предел пластичности?
3. В каких единицах измеряется верхний предел пластичности?
4. В чем разница методов определения верхнего предела пластичности?

3.6.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 такое число пластичности?
2. Какое можно дать название грунту по числу пластичности?
3. Что такое консистенция грунта?
4. Какие параметры нужно знать для расчета показателя консистенции?

3.7. Определение коррозионной активности на приборе АГАК

Коррозией называется процесс разрушения материалов вследствие их химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой (газами, жидкой и твёрдой компонентами). Выделяют несколько видов коррозии. Один из них – подземная коррозия, которая выражается в разрушении металлических и неметаллических конструкций при взаимодействии с грунтом.

Коррозия металлов в грунтах в основном является электрохимической. Согласно теории электрохимической коррозии при соприкосновении металла с электролитом (жидкая составляющая грунтов) на поверхности металла возникает большое количество коррозионных элементов. Их природа аналогична природе гальванических элементов, которые возникают из-за разности электрических потенциалов отдельных участков поверхности металла, контактирующего с электролитом. Оба таких участка соединены между собой проводящим металлом и погружены в электролит, вследствие чего возникает замкнутая электрическая цепь. В этой цепи течёт постоянный электрический ток, сила которого определяет размеры коррозионных поражений. В результате на анодных участках происходит разрушение металла вследствие перехода его ионов в электролит, а на катоде, где происходит процесс деполяризации, металл не только не разрушается, но в известной степени защищён от коррозии.

Причины подземной коррозии металлов: 1) воздействие грунтовой влаги на металлические конструкции, в результате чего возникают коррозионные элементы; 2) явление электролиза, происходящее в грунтах вследствие воздействия блуждающих токов при наличии вокруг трубопроводов электролита; 3) действие находящихся в грунте микроорганизмов (вызывающих явление биокоррозии).

Скорость подземной коррозии металлических конструкций в большой степени определяется коррозионной активностью грунта. Коррозионная активность грунта определяется многими факторами. Она существенно зависит от химического состава грунтов и, в частности, от наличия и состава воднорастворимых соединений. Несмотря на то что их содержание в грунтах обычно не велико, они играют важную роль в образовании порового электролита, формировании его удельного электрического сопротивления и влияют тем самым на протекание всего процесса коррозии.

Огромное влияние на коррозионную активность грунтов оказывает их влажность. В сухих грунтах коррозионная активность не наблюдается ввиду отсутствия электролитов.

Коррозионная активность грунтов зависит также от насыщенности их газами. Воздухопроницаемые грунты в большинстве случаев более коррозионно опасны.

Существенное влияние на течение подземной коррозии оказывает жизнедеятельность микроорганизмов, в частности сульфатвосстанавливающих, железистых, водородосвязующих бактерий. Они обуславливают развитие биокоррозии.

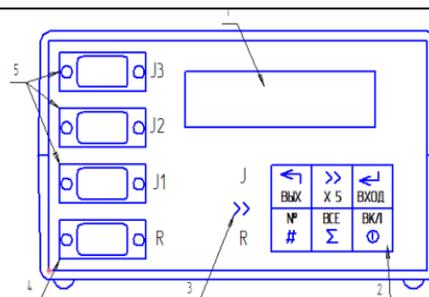
Коррозионная активность грунта – способность грунта к физико-химическому взаимодействию с металлом, ведущему к его разрушению. Это свойство грунта определяется влажностью, пористостью, проницаемостью грунта, составом газовой фазы его порового пространства, содержанием в грунте органических соединений, кислот и сульфатвосстанавливающих бактерий, а также величиной рН, минерализацией и составом минеральных солей грунтового электролита.

Коррозионная активность грунта – непостоянная величина. На неё влияет температура металлической поверхности сооружения, кроме того, она меняется под воздействием промышленных стоков минерализованных вод, вносимых в почву минеральных удобрений, повышения (понижения) уровня грунтовых вод (из-за гидромелиоративных работ) и др., что необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации подземных сооружений.

Назначение прибора



Рис.15. Прибор АГАК



1 - символьный индикатор, 2 — панель кнопок управления и включения, 3 - символы и индикаторы режимов, 4 — гнездо подключения ячейки для определения УС, 5 - гнезда подключения ячеек с электродами сравнения для определения ПКТ.

Анализатор коррозионной активности грунта АКАГ-К (именуемый в дальнейшем прибор) предназначен для качественной и количественной оценки коррозионной агрессивности грунта по отношению к стали в местах укладки подземных сооружений, в частности стальных трубопроводов, в соответствии с ГОСТ 9.602-2005 «Сооружения подземные и общие требования к защите от коррозии».

Прибор определяет удельное сопротивление грунта и среднюю плотность тока катодной защиты углеродистой и низколегированной стали на основании анализа образцов грунта помещенного в электродные ячейки. Дополнительно определяется величина защитного потенциала (потенциала коррозии) проб грунта. Предел измерения удельного сопротивления грунта $999 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ с разрешением $1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Предел определения плотности катодного тока (ПКТ) 500 мА/м^2 с разрешением $0,1 \text{ мА/м}^2$

Последовательность определения:

Измерение удельного сопротивления грунта:

Подготовить грунт в объеме примерно 1 дм^3 . Пробу песчаных грунтов смочить до полного влагонасыщения, а глинистых до достижения мягкопластичного состояния.

Перед засыпкой грунта в ячейку вставляются пластинчатые Т-образные электроды с рабочей (не изолированной) поверхностью $50 \cdot 45 \text{ мм}$. Рабочие поверхности пластинчатых электродов должны быть обращены внутрь контейнера.

Электроды перед измерением зачистить шлифовальной шкуркой зернистостью 40 или меньше, обезжирить ацетоном, промыть дистиллированной водой.

В ячейку для измерения уложить грунт и послойно утрамбовать до высоты вровень с верхним краем ячейки. При утрамбовке следует избегать деформации внутренних измерительных электродов.

Контейнер ячеек соединить клеммами на кабеле для измерения УС «R» с прибором и подключить источник питания.

После подачи питания прибор подает звуковой сигнал и переходит в режим вольтметра.

Однократное нажатие кнопки «Режим» (сопровождается коротким подтверждающим гудком) переводит прибор в режим индикации удельного сопротивления. При этом горит не

мигая светодиод «р», а на индикаторах выводится результат последнего предшествующего измерения удельного сопротивления в единицах Ом*м.

Измерение плотности катодного тока:

Подготовить грунт объемом 2 дм³ аналогично подготовке грунта для измерения удельного сопротивления. Обычно измерения проводятся одновременно в трех ячейках.

Каждая из трех ячеек ПКТ представляет собой пластиковый контейнер с внутренними размерами 100*70*70 мм и объемом 0,49 дм³ с крышкой.

Грунт послойно утрамбовать в ячейки, добиваясь максимального уплотнения. **Особенно тщательно грунт уплотняется непосредственно вокруг пластинчатых электродов. От этого зависит стабильность измерений.**

Ячейки закрыть крышкой и перевернуть в рабочее положение. Для установки электродов сравнения в крышке предусмотрены направляющие отверстия. С носика электрода сравнения снимается защитный колпачок. Электроды сравнения установить сверху ячейки в грунт, углубляя его на 1,0 – 1,5 см и соединяют штекером к гнездам кабеля контейнера ячеек. Электрод сравнения первой ячейки соединяется с гнездом на передней панели прибора под номером один – «J1», второй со вторым - «J2», третий с третьим «J3».

Перед включением прибора на измерение следует выдержать электроды сравнения в грунте не менее 10 мин, так как сам анализатор делает выдержку перед включением поляризующего тока 5 мин.

Прибор подключить к источнику питания и через разъем кабеля к контейнеру измерительных ячеек.

Несколько раз нажав на кнопку «Режим» установить режим индикации плотности катодного тока (загорится в непрерывном режиме один светодиод «J».

На цифровых индикаторах прибора выводится значения плотности катодного тока для последнего запомненного измерения в единицах мА/м². В режиме индикации катодного тока отображают номер текущей ячейки (первая ячейка – светодиод «1», вторая – светодиод «2», третья – горят оба светодиода). Оба погашенных светодиода («нулевая» ячейка) используются для индикации среднего значения величин для всех трех ячеек. Смена индуцируемой ячейки осуществляется последовательным нажатием кнопки «Режим». После индикации значения третьей ячейки прибор сменит режим индикации на режим вольтметра. Для возврата в режим индикации плотности катодного тока «J» используются последовательные нажатия на ту же кнопку «Режим».

Для начала измерения плотности тока следует в режиме индикации тока «J» при любой выбранной ячейке нажать кнопку «Пуск». При этом светодиод режима «J» переходит в режим мигания до конца режима измерения. При начале нового измерения прибор всегда переключается на индикацию первой ячейки (горит светодиод «1»).

Измерение плотности катодного тока разбито на промежутки по пять минут. Первые пять минут прибор определяет потенциал коррозии для стали в исследуемом грунте. По прошествии первых пяти минут прибор запоминает значения потенциала коррозии для каждой ячейки и начинает пятиминутные циклы измерения плотности катодного тока до конца цикла измерения. На индикаторах при этом выводятся текущие значения плотности катодного тока в единицах мА/м².

По окончании цикла измерения прибор выдает три секундных сигнала, запоминает последние показания тока для каждой из трех ячеек и переходит в режим индикации (светодиод режима перестает мигать).

Прибор можно использовать для работы с любым количеством ячеек. Если число ячеек менее трех, то среднее значение, определяемое прибором, следует игнорировать. Так как прибор для определения времени измерения использует только среднее значение величины, то при работе с числом ячеек менее трех прибор склонен завышать необходимое время измерения.

Определение степени коррозионной агрессивности на основе полученных данных:

Для оценки коррозионной агрессивности грунта по отношению к углеродистой и низколегированной стали используются следующие соотношения:

низкая – удельное сопротивление грунта свыше 50 Ом*м и плотность катодного тока менее 50 мА/м²;

средняя - удельное сопротивление грунта от 20 до 50 Ом*м и плотность катодного тока от 50 до 200 мА/м²;

высокая - удельное сопротивление грунта до 20 Ом*м и плотность катодного тока свыше 200 мА/м².

Вопросы к самоконтролю:

1. Дайте определение понятию «коррозионная активность грунта».
2. Какие параметры определяют коррозионную активность?
3. С какой целью определяют удельное электросопротивление грунта?
4. Как влияет влажность и концентрация солей на удельное электросопротивление грунта?
5. Для чего предназначен анализатор коррозионной активности грунта АКАГ?
6. Какие факторы могут влиять на точность измерений коррозионной активности грунта?

3.8. Определение параметров набухаемости грунтов

Под **набухаемостью** понимается способность дисперсных грунтов увеличивать объём в процессе взаимодействия с водой или растворами. Это свойство связано с гидрофильным характером тонкодисперсной части связных грунтов и большой их удельной поверхностью. Оно обусловлено в основном образованием в грунте слабосвязанной воды.

Набухание глинистых грунтов происходит в результате расклинивающего действия сольватных оболочек связанной воды, образующейся при гидратации глинистых минералов и тонкодисперсных органогенных и органоминеральных частиц.

Способность грунтов к набуханию характеризуют рядом показателей:

1) **деформацией набухания (R_n)**, определяемой по относительному изменению объёма или высоты при невозможности бокового расширения образца грунта после набухания и выражаемой в % или долях единицы; она определяется при свободном набухании грунта или набухании под нагрузкой;

2) **влажностью набухания (W_n)**, выраженной в %, соответствующей такому состоянию грунта, при котором прекращается процесс поглощения жидкости;

3) **давлением набухания (P_n)**, выраженным в МПа, которое развивается при невозможности объёмных деформаций в процессе набухания грунта.

При изучении процесса набухания следует иметь в виду, что в результате взаимодействия воды с грунтовыми частицами, хотя и наблюдается увеличение объёма грунта, образовавшийся объём меньше простой суммы объёмов грунта и воды, вступивших во взаимодействие. Это явление уменьшения суммарного объёма в процессе взаимодействия грунта и воды называется контракцией объёма. Она определяется как уменьшение объёма в кубических сантиметрах, которое проявляется, когда 1 г сухого набухающего вещества вбирает n граммов воды.

Явление контракции объёма грунт + вода можно объяснить образованием связанной воды. При переходе свободной воды в связанное состояние плотность её увеличивается, а объём уменьшается. Чем больше в грунте образуется связанной воды, тем больше величина контракции объёма.

Набухание наиболее характерно для связных грунтов. Супеси или совсем не проявляют набухания, или набухают очень слабо. Набухание суглинков и глин возрастает в соответствии с увеличением содержания в них глинистых и особенно коллоидных частиц. С ростом дисперсности грунтов помимо величины набухания увеличивается также время, необходимое для достижения максимальной величины набухания.

Огромное влияние на набухание грунтов оказывает их минеральный состав и главным образом состав глинистых минералов. Минералы, имеющие подвижную кристаллическую решётку, обладают несравненно большей величиной набухания по сравнению с минералами, обладающими жёсткой кристаллической решёткой.

Грунты, у которых поглощающий комплекс насыщен преимущественно двух- и трёхвалентными катионами, имеют ограниченное набухание. Влияние обменных катионов на величину набухания обусловлено тем, что с изменением их состава происходит соответствующее изменение степени дисперсности грунта благодаря различному количеству связанной воды, образующейся в диффузном слое мицеллы.

Величина набухания зависит от характера структурных связей: наибольшее набухание характерно для грунтов с коагуляционным типом контактов. Нарушение естественной структуры грунтов, способствует увеличению набухания. Наиболее резко оно возрастает у грунтов со смешанным и фазовым типом контактов.

Набухание глинистых грунтов также зависит от присутствия солей в растворах, циркулирующих в грунтах, их концентрации и величины, рН растворов. Химический состав воды

в значительной степени определяет состав обменных катионов, а, следовательно, и величину набухания грунтов. Кроме того, при наличии одних и тех же солей в природной воде величина набухания грунта будет изменяться в зависимости от их концентрации. Чем больше содержание электролитов в воде, тем менее гидратированы ионы диффузного слоя грунтовых мицелл, тем меньше в грунте образуется связанной воды и, следовательно, тем меньше будет его набухание.

Набухание грунтов является их важным свойством, которое необходимо учитывать при проведении строительных работ и эксплуатации инженерных сооружений.

Необходимое оборудование:

Прибор ПНГ; бюкс; технические весы; сушильный шкаф; часы; бумажные фильтры; монолитный нож.

Последовательность определения:

1. С помощью монолитного ножа образец грунта вырезается режущим кольцом, затем взвешивается на технических весах.

2. С двух сторон образец покрывается фильтровальной бумагой и устанавливается на донце прибора. Сверху, в насадку, устанавливается штамп и укрепляется колокол.

3. С помощью винта в отверстии колокола закрепляется индикатор в нулевое положение. Прибор ПНГ устанавливается в специальную ванночку.

4. В ванночку заливают воду и фиксируют время начала опыта. Воду наливают до уровня затопления донца и следят за постоянством уровня, периодически доливая воду. После замачивания образца регистрируются деформации через 5, 10, 30, 60 минут и далее через два часа в течение рабочего дня. За начало набухания принимается относительная деформация, превышающая 0,001. За критерий условной стабилизации деформаций свободного набухания принимается абсолютная деформация не более 0,01 мм за 16 часов. Все данные измерений заносятся в журнал.

5. По окончании опыта прибор разбирают, воду сливают, кольцо с влажным грунтом взвешивают. Берут пробу на влажность.

Обработка результатов:

По результатам проведённых, измерений рассчитывается абсолютная деформация набухания Δh (в мм) и относительная деформация образца $\varepsilon = \Delta h/h_0$. По конечному значению ε определяется величина свободного набухания (ε_{sw}). Строится график зависимости относительной деформации от времени набухания образца. Значение влажности грунта после набухания заносится в журнал.

Вопросы к самоконтролю:

1. Что понимается под определением набухаемости?
2. Перечислите показатели набухаемости.
3. От чего зависит величина набухаемости грунтов?
4. Можно ли одновременно определить давление и деформацию набухаемости?

3.9. 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 факторы определяют способность грунтов к усадке?
2. Что понимается под определением усадочности грунта?
3. Перечислите показатели усадочности.
4. Как вычислить линейную усадку грунта?
5. Как вычислить объемную усадку грунта?

3.10.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.



Рис.17 Прибор размокания грунтов

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 каких целей предназначен прибор ПРГ?
2. Расскажите об устройстве прибора ПРГ.
3. Как проводятся лабораторные испытания по размоканию грунта?
4. Как определить характер размокания грунта?
5. Какие показатели размокания определяются в ходе работы?

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	$C_u > 3$

Поправки к отсчету по ареометру.

Температура суспензии, °С	Поправки к отсчету по ареометру
10,0	-1,2
10,5	-1,2
11,0	-1,2
11,5	-1,1
12,0	-1,1
12,5	-1,0
13,0	-1,0
13,5	-0,9
14,0	-0,9
14,5	-0,8
15,0	-0,8
15,5	-0,7
16,0	-0,6
16,5	-0,6
17,0	-0,5
17,5	-0,4
18,0	-0,3
18,5	-0,3
19,0	-0,2
19,5	-0,1
20,0	0,0
20,5	+0,1
21,0	+0,2
21,5	+0,3
22,0	+0,4
22,5	+0,5
23,0	+0,6
23,5	+0,7
24,0	+0,8
24,5	+0,9
25,0	+1,0
25,5	+1,1
26,0	+1,3
26,5	+1,4
27,0	+1,5
27,5	+1,6
28,0	+1,8
28,5	+1,9
29,0	+2,1
29,5	+2,2
30,0	+2,3

Интервалы времени взятия проб суспензии глинистых грунтов при определении гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава пипеточным методом

Диаметр частиц, мм	Удельный вес частиц, гр/см ³	Глубина взятия проб, см	Интервал времени взятия проб суспензии в зависимости от температуры		
			17,5°С	20°С	22,5°С
менее 0,05	2,40	25	2 мин 20 с	2 мин 12 с	2 мин 04 с
менее 0,01	-	10	23 мин 20 с	21 мин 59 с	20 мин 41 с
менее 0,005	-	10	1 ч 33 мин 19 с	1 ч 27 мин 54 с	1 ч 22 мин 45 с
менее 0,002	-	10	6 ч 48 мин 13 с	6 ч 22 мин 05 с	6 ч 01 мин 36 с
менее 0,001	-	7	27 ч 12 мин 51с	25 ч 28 мин 20 с	24 ч 08 мин 23 с
		7			
менее 0,05	2,45	25	2 мин 15 с	2 мин 07 с	2 мин 00 с
менее 0,01	-	10	22 мин 31с	21 мин 13 с	19 мин 59 с
менее 0,005	-	10	1 ч 30 мин 05 с	1 ч 24 мин 53 с	1 ч 19 мин 54 с
менее 0,002	-	10	6 ч 31 мин 09 с	6 ч 11 мин 19 с	5ч 49 мин 36 с
менее 0,001	-	7	26 ч 16 мин 35 с	24 ч 45 мин 15 с	23 ч 31 мин 23 с
		7			
менее 0,05	2,50	25	2 мин 11с	2 мин 03 с	1 мин 56 с
менее 0,01	-	10	21 мин 46 с	20 мин 31с	19 мин 19 с
менее 0,005	-	10	1 ч 27 мин 05 с	1 ч 22 мин 01 с	1 ч 17 мин 14 с
менее 0,002	-	7	6 ч 21 мин 31 с	5ч 58 мин 56 с	5ч 37 мин 58 с
менее 0,001	-	7	25 ч 26 мин 04 с	23 ч 55 мин 43 с	22 ч 31 мин 52 с
менее 0,05	2,55	25	2 мин 07 с	1 мин 59 с	1 мин 51 с
менее 0,01	-	10	21 мин 04 с	19 мин 51 с	1 мин 41 с
менее 0,005	-	10	1 ч 24 мин 16 с	1ч 19 мин 24 с	1 ч 14 мин 44 с
менее 0,002	-	7	6 ч 09 мин 09 с	5 ч 47 мин 21 с	1 ч 27 мин 04 с
менее 0,001	-	7	24 ч 36 мин 36 с	23 ч 09 мин 23 с	1 ч 48 мин 13 с
менее 0,05	2,60	25	2 мин 02 с	1 мин 56 с	1 мин 49 с
менее 0,01	-	10	20 мин 25 с	19 мин 14 с	18 мин 6 с
менее 0,005	-	10	1 ч 21 мин 37 с	1 ч 16 мин 50 с	1 ч 12 мин 24 с
менее 0,002	-	7	5 ч 57 мин 10 с	5 ч 36 мин 29 с	5 ч 16 мин 49 с
менее 0,001	-	7	23 ч 48 мин 41 с	22 ч 25 мин 57 с	21 ч 07 мин 17 с

Диаметр частиц, мм	Удельный вес частиц, гр/см ³	Глубина взятия проб, см	Интервал времени взятия проб суспензии в зависимости от температуры		
			17,5°С	20°С	22,5°С
менее 0,05	2,65	25	1 мин 59 с	1 мин 52 с	1 мин 45 с
менее 0,01	-	10	19 мин 48 с	18 мин 39 с	17 мин 33 с
менее 0,005	-	10	1 ч 19 мин 08 с	1 ч 14 мин 34 с	1 ч 10 мин 12 с
менее 0,002	-	7	5 ч 46 мин 21 с	5 ч 26 мин 17 с	5 ч 07 мин 15 с
менее 0,001	-	7	23 ч 05 мин 26 с	21 ч 45 мин 09 с	20 ч 28 мин 59 с
	-				
менее 0,05	2,70	25	1 мин 55 с	1 мин 49 с	1 мин 42 с
менее 0,01	-	10	19 мин 13 с	18 мин 06 с	17 мин 02 с
менее 0,005	-	10	1 ч 16 ми 50 с	1ч 12 мин 24 с	1 ч 08 мин 10 с
менее 0,002	-	7	5 ч 36 мин 10 с	5 ч 16 мин 36 с	4 ч 58 мин 12 с
менее 0,001	-	7	22 ч 24 мин 42 с	21 ч 06 мин 44 с	19 ч 52 мин 47 с
	-				
менее 0,05	2,75	25	1 мин 52 с	1 мин 45 с	1 мин 39 с
менее 0,01	-	10	18 мин 40 с	17 мин 35 с	16 мин 33 с
менее 0,005	-	10	1 ч 14 мин 38 с	1 ч 10 мин 19 с	1 ч 06 мин 13 с
менее 0,002	-	7	5 ч 26 мин 35 с	5 ч 07 мин 38 с	4 ч 49 мин 40 с
менее 0,001	-	7	21 ч 46 мин 19 с	20 ч 30 мин 38 с	19 ч 18 мин 40 с
	-				
менее 0,05	2,80	25	1 мин 49 с	1 мин 43 с	1 мин 37 с
менее 0,01	-	10	18 мин 09 с	17 мин 06 с	16 мин 06 с
менее 0,005	-	10	1 ч 12 мин 34 с	1 ч 08 мин 22 с	1 ч 04 мин 22 с
менее 0,002	-	7	5 ч 16 мин 46 с	4 ч 59 мин 07 с	4 ч 40 мин 08 с
менее 0,001	-	7	21 ч 07 мин 03 с	19 ч 56 мин 28 с	18 ч 40мин 34 с

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

Классификация глинистых грунтов по относительной деформации набухания без нагрузки ε_{sw}

Разновидность глинистых грунтов	Относительная деформация набухания без нагрузки ε_{sw} , д.е.
Ненабухающий	<0,04
Слабонабухающий	0,04-0,08
Средненабухающий	0,08-0,12
Сильнонабухающий	>0,12

Классификация по относительному содержанию или степени заторфованности I_r , с учетом типа органического вещества по ГОСТ 23740

Разновидность грунтов	Относительное содержание органического вещества I_r , д.ед.	
Минеральные		
- с примесью органического вещества	С включением растительных остатков	$I_r \leq 10$
Органо-минеральные		
с низким содержанием органического вещества	слабозаторфованные	$0,1 < I_r \leq 0,25$
со средним содержанием органического вещества	среднезаторфованные	$0,25 < I_r \leq 0,4$
- с высоким содержанием органического вещества	сильнозаторфованные	$0,4 < I_r < 0,5$

Органические		
-	торф	$I_r \geq 0,5$

Приготовление спиртового раствора фенофталеина для определения карбонатности по В.е. Соколовичу

ГОСТ 4919.1-77 (СТ СЭВ 809-77)

1 г порошкового препарата растворяют в 80 мл [этилового спирта](#) (96%) и доводят объем раствора дистиллированной водой до 100 мл. 10 мл 1%-ного раствора препарата разбавляют до 100 мл 50%-ным этиловым спиртом. Срок годности рабочего раствора – 1 месяц.

ЖУРНАЛЫ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Журнал определения набухания грунтов

Грунт

Место отбора

Начальная влажность, %

Начальная плотность, г/см³

№	Время от начала набухания t, мин	Абсолютная деформация набухания Δh , мм	Относительная деформация набухания ϵ , е.д.
1	0	0	0
2	5	0,03	0,003
3	10		
4	20		
5	30		
6	1 час		

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.Н.И. Жаркова- М.:Изд.-во КГУ, 2004. – 24 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.

Латыпов Айрат Исламгалиевич
Королев Эдуард Анатольевич

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Методическое пособие к лабораторным работам