

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Горные работы»

А.А. Головач, Г.А. Куптель, А.И. Яцковец

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД

Лабораторный практикум

для студентов специальности 1-51 02 01

«Разработка месторождений полезных ископаемых»

Минск 2015

УДК 622.02 (076.5) (075.8)
ББК 26.31 я 7
Ф 50

С о с т а в и т е л и:

А.А. Головач, Г.А. Куптель, А.И. Яцковец

Р е ц е н з е н т ы:

Березовский Н.И., заведующий кафедрой «Горные машины» факультета горного дела и инженерной экологии Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор.

Лис Л.С., ведущий научный сотрудник Государственного научного учреждения «Институт природопользования» Национальной академии наук Беларуси, кандидат технических наук.

Физика горных пород: лабораторный практикум для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых» / сост.: А.А. Головач, Г.А. Куптель, А.И. Яцковец. - Минск: БНТУ, 2015.

Лабораторный практикум служит руководством по самостоятельному определению студентами основных физических свойств пород. Издание предназначено для студентов высших учебных заведений по специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых».

ISBN 978-985-550-119-1

Введение

Физика горных пород – наука, изучающая физические свойства пород с целью использования их для решения задач горного производства.

Горный инженер должен разбираться в физических свойствах и процессах, происходящих в горных породах, знать основные принципы использования физических свойств пород в практике горного дела.

При подготовке горных инженеров необходимо уделять внимание не только изучению теоретического курса, но и выполнению лабораторных работ. Выполняя лабораторные работы, студент получает определенные навыки в постановке и проведении экспериментальных исследований, связанных с определением различных физических свойств горных пород, что несомненно способствует лучшему усвоению теоретического курса.

Сознательное, целенаправленное проведение эксперимента – залог успеха и гарантия правильности полученных результатов. Для этого студент заранее должен изучить приведенные в каждой работе теоретические положения, ознакомиться с приборами, методикой выполнения лабораторной работы, обработки и оформления результатов эксперимента.

После ответов на контрольные вопросы студент с разрешения преподавателя приступает к выполнению лабораторной работы.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: ознакомление с методикой практического определения влажности горных пород.

Общие сведения

Влажность горных пород является функциональной характеристикой, которая определяется внешними условиями среды, а также величиной и характером пористости породы, ее структурно-текстурными особенностями.

Чтобы исключить влияние влажности, определение физических свойств пород выполняют на воздушно-сухих образцах. В связи с этим влажность не фигурирует в классификации основных физических свойств пород. Тем не менее, в некоторых случаях может потребоваться значение величины влажности и возможных пределов ее изменения, поскольку она может оказывать весьма существенное влияние на некоторые свойства пород, например электрические, и выяснение степени этого влияния во многих случаях представляет интерес.

Наличие пор и трещин в породах предопределяет возможность их заполнения различными жидкостями и газами. Наиболее часто горные породы бывают насыщены водой, которая может содержаться в них и разным виде.

В горных породах различают химически связанную, физически связанную и свободную воду.

Химически связанная вода – вода, входящая в состав кристаллической решетки минералов (например, гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Удаление такой воды приводит к разрушению минерала, превращая его в другое – безводное состояние. Наличие в породе химически связанной воды проявляется только при ее нагревании. Она обуславливает изменение свойств породы при высоких температурах.

Физически связанная вода – вода, связанная молекулярными силами притяжения с твердыми частицами породы, обволакивая их в виде пленки. Физически (прочно) связанная вода не перемещается

в породах. Она удаляется из породы только при нагревании свыше 105–110 °С.

Свободная вода – может находиться в виде капиллярной воды, удерживаемой в мелких порах силами капиллярного поднятия, и в виде гравитационной воды, заполняющей крупные поры и передвигающейся в породах под действием силы тяжести.

В зависимости от минерального, гранулометрического состава пород и формы частиц соотношение количества различных видов воды в породе может быть разным.

Для количественной оценки содержания воды в породах наибольшее распространение получил показатель – *массовая влажность*.

Массовая влажность породы W – отношение массы воды, содержащейся в образце и удаленной высушиванием его при 100–105 °С, к массе образца в сухом состоянии, выраженное в долях единицы или процентах

$$W = \frac{M_{\text{в}} - M_{\text{с}}}{M_{\text{с}}} \cdot 100 \%,$$

где $M_{\text{в}}$ – масса образца влажной породы;

$M_{\text{с}}$ – масса образца породы, высушенной при температуре 100–105°.

Иногда содержание воды оценивается показателем **объемная влажность** – отношение объема воды, содержащейся в породе, к объему всей породы, выраженное в долях единицы или процентах.

а) Определение естественной (общей) влажности

Естественная влажность $W_{\text{е}}$ – относительное количество воды, которое содержится в породе в ее естественном залегании.

Для определения влажности горных пород, в том числе и естественной, широко применяется **термостатный метод**.

Для определения влажности термостатным методом образец выдерживают до постоянной массы в сушильном шкафу при 100–105 °С, что достигается многократным высушиванием с последующим взвешиванием его. Образец считается доведенным до постоянной массы, если относительные расхождения между двумя по-

следующими взвешиваниями не превышают трехкратной ошибки взвешивания.

Первичное высушивание глинистых и торфяных пород проводят в течение 4–5 часов, песчаных и крупнообломочных – 1–2 ч, второе и последующие – от 0,5 до 2 ч.

Величину навески пробы устанавливают с учетом размеров зерен породы. Для торфов, глин, суглинков и супесей с размерами зерен до 2 мм навеска пробы должна быть не менее 5–10 г, для песков – 25 г, а для пород, содержащих отдельные зерна размером 2–20 мм, навески должны быть не менее 200 г. Для гравия с размером зерен 2–20 мм величина навески должна быть не менее 1000 г, для гальки с размером зерен 20–40 и 40–70 мм величина навески соответственно – 2000 и 3000 г.

Аппаратура: сушильный шкаф с автоматическим терморегулятором и контактным термометром; плотно закрывающиеся крышечками сосуды соответствующей емкости, например бюксы; весы соответствующей допустимой нагрузки; эксикаторы с обезвоженным хлористым кальцием; щипцы; шпатель.

Последовательность определения

1. В заранее взвешенный сосуд с крышкой (бюкс) помещают навеску влажной породы, плотно закрывают его крышкой и взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г.

2. Открыв крышечку, сосуд ставят в сушильный шкаф и высушивают породу при 100–105 °С до постоянной массы.

3. После высушивания сосуд с породой закрывают крышкой и охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе, а затем взвешивают.

4. Влажность породы W вычисляют по формуле

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_0} \cdot 100 \%,$$

где M_0 – масса пустого сосуда с крышкой, г;

M_1 – масса сосуда с влажной породой, г;

M_2 – масса сосуда с высушенной породой, г.

5. Для установления влажности породы проводят не менее двух определений. Расхождение между результатами этих определений не должно превышать 2 %. За величину влажности принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений с точностью 1 %.

6. Данные определений записываются в табл. 1.1.

Таблица 1.1

№	№ бюкса	Масса пустого бюкса $M_0,$ г	Масса бюкса с влажной породой $M_1,$ г	Масса бюкса с породой после сушки $M_2,$ г			Влажность, %	
				ос-нов-ной	I по-вторн	II по-вторн	отдель-ной пробы	сред-няя

б) Определение гигроскопической влажности

Влажность горной породы, обусловленная ее гигроскопичностью, т.е. свойством сорбировать парообразную воду из воздуха, называется гигроскопической. Она практически равна влажности воздушно-сухой породы. Так как гигроскопичность горных пород зависит от степени их дисперсности, минерального состава и других факторов, то определение гигроскопической влажности представляет практический интерес только для пород глинистых и отчасти для песков тонко- и мелкозернистых. Гигроскопическая влажность определяет содержание адсорбированной воды в горной породе в данных условиях, используется для внесения поправок в гранулометрические анализы и других целей.

Количество гигроскопической воды определяется отношением массы воды, удаляемой из образца воздушно-сухой породы высушиванием при температуре 100–105 °С до постоянной массы, к массе образца, высушенного при температуре 100–105 °С.

Для определения гигроскопической влажности необходимо то же оборудование, что и для определения влажности горных пород, следует пользоваться только стеклянными бюксами. В тех случаях, когда проба мала и навеску приходится брать небольшую (5 г), ее взвешивают на аналитических весах.

Последовательность определения

1. Пробу породы высушивают на воздухе в течение 1–2 суток, затем растирают ее в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником, чтобы разрушить крупные кусочки и агрегаты, и образовавшийся мелкозем просеивают через сито с диаметром отверстий 0,5 мм.

2. Стекланный бюкс взвешивают на технических или аналитических весах и получают массу M_0 .

3. Из просеянной части пробы берут среднюю пробу квартованием. Из средней пробы берут навеску не менее 5 г (при взвешивании на аналитических весах) или не менее 15 г (при взвешивании на технических весах) в заранее взвешенный бюкс, закрывают его крышкой и взвешивают с точностью в зависимости от применяемых весов соответственно до 0,01 или 0,001 и получают массу M_1 .

4. Далее продолжают анализ, как при обычном определении влажности горной породы (см. пункты 2–6).

Вычисление гигроскопической влажности производят с точностью до 0,1 %.

в) Определение максимальной гигроскопической влажности

Максимальная гигроскопичность W_{Mz} – наибольшее относительное количество влаги, которое способна адсорбировать горная порода из воздуха, почти полностью насыщенного водяным паром (относительная влажность 96–98 %). Максимальная гигроскопическая влажность близка или практически равна максимально возможному содержанию физически связанной, адсорбированной воды в породе. Для определения W_{Mz} обычно применяют метод Митчерлиха, основанный на установлении равновесного состояния влажности породы в воздухе с относительной влажностью 95–98 % при температуре 20 °С. При этом кроме оборудования, необходимого для определения гигроскопической влажности горных пород, надо иметь дополнительно еще один эксикатор, в нижней части которого налит слой 10%-ного раствора H_2SO_4 или насыщенного раствора K_2SO_4 .

Последовательность определения

1. Глинистую породу или песок подготавливают к анализу так же, как и при определении гигроскопической влажности в соответствии с пунктами 1 и 2.

2. Из просеянной части пробы берут среднюю пробу квартованием. Из средней пробы берут навеску не менее 5 г (при взвешивании на аналитических весах) или не менее 15 г (при взвешивании на технических весах) в заранее взвешенный бюкс.

3. Бюкс с открытой крышкой помещают в эксикатор, в котором находится раствор H_2SO_4 или K_2SO_4 . Эксикатор накрывают крышкой, и бюкс с породой оставляют в нем на 1–2 сут. для установления равновесного состояния влажности породы в атмосфере, насыщенной водяным паром. Эксикатор необходимо держать в комнате при температуре 20 °С. Равновесное состояние влажности породы фиксируют периодическим взвешиванием. Получают массу M_1 .

4. Затем бюкс с открытой крышкой ставят в сушильный шкаф для высушивания породы при температуре 100–105 °С до постоянной массы. Взвешивают бюкс и получают массу M_2 .

5. Максимальную гигроскопическую влажность породы вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле

$$W_{\text{мг}} = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_0} \cdot 100\%.$$

Контрольные вопросы

1. Какие категории воды различают в горных породах?
2. Каким показателем оценивается количество воды в горной породе?
3. Сущность термостатного метода определения содержания влаги в породе.
4. Что называется гигроскопической влажностью, максимальной гигроскопической влажностью горной породы?
5. Для каких пород представляет практический интерес определение гигроскопической влажности?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ МИНЕРАЛЬНОЙ ФАЗЫ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: определение плотности минеральной фазы горных пород пикнометрическим методом.

Общие сведения

Плотностью минеральной фазы горной породы ρ_0 называется отношение массы твердой беспористой части к ее объему

$$\rho_0 = \frac{M_0}{V_0} \text{ кг/м}^3,$$

где M_0 – масса твердой фазы породы;

V_0 – объем, занимаемый твердой фазой.

Плотность минеральной фазы горных пород определяется плотностью слагающих породы минералов.

Минералы делятся на: тяжелые – $\rho_0 > 4000 \text{ кг/м}^3$;

средние – $\rho_0 = 4000\text{-}2500 \text{ кг/м}^3$;

легкие – $\rho_0 < 2500 \text{ кг/м}^3$.

Плотность минеральной части горных пород определяют в основном пикнометрическим методом, являющимся и наиболее точным.

Сущность пикнометрического метода заключается в определении объема минеральной фазы горной породы путем нахождения изменения массы пикнометра, наполненного водой, при замене части этой воды навеской исследуемой породы.

Пикнометр – узкогорлая мерная колба емкостью 25–100 см^3 , имеющая метку на горлышке, до которой ее заполняют жидкостью.

Для определения плотности засоленных горных пород, отдельные минералы которых растворимы в воде или химически взаимодействуют с ней, вместо воды в качестве пикнометрической жидкости используют спирт или керосин (обезвоженный).

Расчет величины плотности минеральной фазы производится по формуле:

$$\rho_0 = \frac{(M_2 - M_1)\rho_{ж}}{(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)},$$

где M_1 – масса сухого пикнометра;

M_2 – масса пикнометра с породой;

M_3 – масса пикнометра с породой и жидкостью;

M_4 – масса пикнометра с жидкостью;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости при температуре опыта.

Таблица 2.1
Плотность воды при различных температурах

Температура, °С	Плотность, г/см ³	Температура, °С	Плотность, г/см ³
15	0,9991	23	0,9976
16	0,9990	24	0,9973
17	0,9988	25	0,9971
18	0,9986	26	0,9968
19	0,9984	27	0,9965
20	0,9982	28	0,9963
21	0,9980	29	0,9960
22	0,9978	30	0,9957

Аппаратура: весы аналитические с разновесами, пикнометр, ступка с пестиком для измельчения пробы породы (фарфоровая для песчаных и глинистых пород, агатовая или яшмовая для скальных и полускальных), сито с диаметром отверстий 0,5 мм, пипетка, бюксы стеклянные, дистиллированная вода или керосин (при исследовании засоленных пород), сушильный шкаф, баня водяная, вакуумный насос (при исследовании засоленных пород), воронка.

Последовательность определения

1. Пробу горной породы, находящейся в воздушно-сухом состоянии, не содержащей случайных, не характерных для данного типа пород включений, измельчают в ступке до крупности 0,25–0,5 мм. Отбирают среднюю пробу методом квартования массой 100–200 г и просеивают через сито с диаметром отверстий 0,5 мм. Остаток на сите измельчают в ступке и просеивают через то же сито.

2. Из просеянной и тщательно перемешанной средней пробы в стеклянный бюкс отбирают навеску из расчета 15 г на каждые 100 см³ емкости пикнометра.

3. Навеску породы высушивают в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С до постоянной массы и охлаждают в эксикаторе.

4. Берут два сухих чистых пикнометра и определяют массу каждого M_1 на аналитических весах (все взвешивания производят с точностью до 0,0001 г).

5. Измельченную и высушенную навеску породы делят на две части и через воронку засыпают в сухие пикнометры. Определяют массу пикнометра с породой M_2 .

6. В пикнометр с породой заливают примерно на 0,3–0,5 его вместимости прокипяченную дистиллированную воду. Для удаления воздуха из породы пикнометры помещают в водяную баню и кипятят в течение 0,5 ч при исследовании грубозернистых пород и 1 ч при исследовании тонкозернистых и глинистых.

При определении плотности минеральной части засоленных горных пород применяют вместо дистиллированной воды керосин, а вместо кипячения – вакуумирование. Керосин необходимо обезвоживать и профильтровать. Обезвоживание керосина производят путем взбалтывания его с силикагелем, который предварительно прокаливают в муфеле при 500 °С в течение 4 ч. На 1 л керосина берут 250 г силикагеля. Плотность обезвоженного керосина устанавливают ареометром.

Для удаления воздуха из породы применяют вакуумирование с помощью вакуумного насоса. Степень разрежения при вакуумировании определяют по началу выделения пузырьков воздуха. Жидкость в пикнометре под вакуумом должна находиться около 1 ч (до прекращения выделения пузырьков воздуха из породы).

7. После удаления воздуха пикнометры охлаждают до комнатной температуры и доливают до мерной черты на горлышке прокипяченную дистиллированную воду. Уровень воды в пикнометре устанавливают строго по нижнему краю мениска, для чего пипеткой добавляют или удаляют необходимое количество воды. Пикнометр тщательно обтирают и определяют массу его с породой и водой M_3 .

8. Освобождают пикнометры от содержимого и, тщательно ополоснув их, наполняют прокипяченной дистиллированной водой до метки на горлышке. Определяют массу пикнометра с водой M_4 .

9. Результаты эксперимента записывают в табл. 2.2.

На основании полученных данных вычисляют плотность минеральной фазы породы. Расхождение между результатами двух параллельных определений допускается не более чем на $0,02 \text{ г/см}^3$. За плотность породы принимается среднее арифметическое значение с точностью до $0,01$ двух параллельных определений.

Таблица 2.2

Название породы	№ пикнометров	Масса пикнометра, г				Плотность минеральной фазы, г/см ³	
		сухого, M_1	с породой, M_2	с породой и водой, M_3	с водой, M_4	отдельной пробы	средняя

Контрольные вопросы

1. Что называется плотностью минеральной фазы горных пород?
2. В чем сущность пикнометрического метода определения плотности минеральной фазы пород?
3. В чем состоят особенности определения плотности минеральной фазы засоленных горных пород?

Лабораторная работа №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: практическое ознакомление с методиками определения средней плотности горных пород.

Общие сведения

Средняя плотность (плотность) ρ – это масса единицы объема горной породы в ее естественном состоянии (с порами, трещинами и т.д.).

Плотность определяется обычно на образцах породы в воздушном состоянии.

Плотность малопористых пород зависит в основном от их минерального состава. Если порода сложена из минералов примерно одинаковой плотности, то ее плотность зависит от пористости. Плотность большинства пород колеблется от 1500 до 3500 кг/м³. Большой плотностью обладают рудные полезные ископаемые (до 5000 кг/м³). Низкую плотность имеют гидрохимические осадки (гипс – 2300 кг/м³; каменная соль – $\rho = 2100$ кг/м³). Еще ниже плотность у каменных углей и торфов (720–2000 кг/м³).

Знание плотности необходимо для определения количества горной массы при расчете запасов полезного ископаемого, производительности горных предприятий и оборудования, емкости складов, транспортных средств, объема отвалов, расхода взрывчатых веществ и т.д.

Для определения плотности необходимо взвесить образец породы и установить его объем. Объем устанавливается в зависимости от характера пробы одним из методов: а) методом непосредственных измерений размеров; б) методом режущего кольца; в) методом гидростатического взвешивания.

а) Метод непосредственных измерений

Непосредственное измерение размеров применимо для образцов правильной геометрической формы. Такие измерения удобно вы-

полнять на цилиндрических образцах, предназначенных для определения упругих или прочностных свойств горных пород.

Аппаратура: весы технические с разновесами, линейка, штангенциркуль.

Последовательность определения

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

2. Взвешивают образец на технических весах с точностью до 0,01 г и получают его массу M .

3. Измеряют образец линейкой или штангенциркулем и вычисляют объем V .

Для определения диаметра образца цилиндрической формы по каждому из параллельных оснований цилиндра штангенциркулем измеряются два взаимно перпендикулярных диаметра. Расчетное значение диаметра устанавливается как среднеарифметическое четырех измерений.

Высота образца цилиндрической формы вычисляется как среднеарифметическое измерений четырех образующих цилиндра, расположенных по двум взаимно-перпендикулярным плоскостям, пересекающим цилиндр по его продольной оси.

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

$$\rho = \frac{M}{V}.$$

Величина плотности цилиндрического образца может рассчитываться по формуле:

$$\rho = 1,274 \frac{M}{d^2 h},$$

где M – масса образца, г;

d – диаметр образца, см;

h – высота образца, см.

Для каждой пробы горной породы делают два параллельных определения, а затем вычисляют среднее значение с точностью до 0,01. Расхождение результатов между параллельными определениями допускается до 0,02 г/см³.

5. Все данные измерений и вычислений записывают в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№ пп	Размеры образца, см			Объем образца, см ³	Масса образ- ца, г	Плот- ность, г/см ³
	длина или диаметр	ширина	высота			

б) Метод режущего кольца

Этот метод определения плотности применим для мягких горных пород – глин, суглинков, песков, из которых можно вырезать образец режущим кольцом. Режущее кольцо изготавливается из некорродирующего металла, имеет заостренную режущую кромку. Диаметр кольца должен быть не менее 50–70 мм, высота – не более диаметра и не менее половины диаметра, толщина стенок 1,5–2 мм.

Аппаратура: режущее кольцо, весы технические, штангенциркуль, нож.

Последовательность определения

1. Измеряют внутренний диаметр и высоту кольца, вычисляют его объем V .
2. Взвешивают кольцо с точностью до 0,01 г и получают массу M_1 .
3. Ставят кольцо заостренной кромкой на защищенную и ровную поверхность монолита горной породы. Остро отточенным ножом тонкими срезами вырезают столбик породы высотой 1–2 см и диаметром на 1 мм больше внутреннего диаметра кольца. По мере вырезывания кольцо постепенно надевают на столбик горной породы, лишняя часть которой срезается при этом острыми краями кольца. После того как столбик породы выступит над краем кольца, лишнюю часть породы срезают вровень с нижним и верхним его

краями. Задавливание кольца в монолит нежелательно, т.к. это нарушает естественное сложение породы.

4. Кольцо с породой взвешивают и получают массу M_2 .

5. Вычисляют плотность породы по формуле

$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

Для каждой пробы породы производят два параллельных определения и затем вычисляют среднее значение с точностью до 0,01. Расхождение результатов между параллельными определениями должно превышать 0,02 г/см³.

6. Данные измерений и вычислений записывают в табл. 3.2.

Таблица 3.2

№ п/п	Масса кольца, г		Масса образца породы, г	Объем кольца, см ³	Плотность, г/см ³	
	пустого	с породай			отдельного образца	средняя

в) Метод гидростатического взвешивания

Гидростатическое взвешивание применяется для образцов неправильной формы и заключается в определении объема вытесненной породой жидкости. Для этого производится взвешивание образца в воздухе и воде. Плотность рассчитывается по формуле

$$\rho = \frac{\rho_e \cdot M_1}{M_1 - M_2}$$

где M_1 и M_2 – масса образца в воздухе и в воде, г;

ρ_e – плотность воды, г/см³.

В этом случае вода может проникать в поры породы, что приводит к занижению в определении объема образца, поэтому данный

метод используется для плотных малопористых скальных и полускальных пород.

Чтобы исключить ошибки в определении объема образца пористой породы, обычно производится его парафинирование.

Вычисление плотности производится по формуле

$$\rho = \frac{M\rho_n\rho_в}{\rho_в(M_1 - M_2) - \rho_n(M_1 - M)},$$

где M – масса образца в воздухе, г;

M_1 – масса запарафинированного образца в воздухе, г;

M_2 – масса запарафинированного образца в воде, г;

ρ_n – плотность парафина, г/см³;

$\rho_в$ – плотность воды, г/см³.

Плотность парафина определяется также гидростатическим взвешиванием и рассчитывается по формуле

$$\rho_n = \frac{\rho_в M_0}{M_0 - (M_1 - M)},$$

где M_0 – масса парафина в воздухе, г;

M – масса груза, г;

M_1 – масса парафина с грузом в воде, г;

$\rho_в$ – плотность воды, г/см³.

Аппаратура: весы технические с подставкой к ним для взвешивания образца в воде (или денситометр), лабораторный стакан, нож, иголка, ванная с парафином, дистиллированная вода, фильтровальная бумага, измерительная линейка, штангенциркуль, нитки.

Последовательность определения

1. Вырезают из монолита образец горной породы по возможности правильной формы (но может быть и неправильной) не менее 30 см³. Определяют массу образца в воздухе M , подвешенного на шелковой нити или проволочке к дужке весов.

2. Опускают взвешенный образец на 1–2 секунды в сосуд с расплавленным парафином, температура которого должна быть 70–80 °С (более высокая температура недопустима, т.к. парафин становится жидким и может проникнуть в поры образца. А при более низкой температуре густой парафин не прилипает к поверхности образца породы). Пузырьки воздуха в застывшей парафиновой оболочке толщиной 0,5–1 мм удаляют, прокалывая над ними оболочку и заглаживая место прокола нагретой иглой.

3. Определяют массу запарафинированного образца в воздухе M_1 .

4. Определяют массу запарафинированного образца в воде M_2 . При этом необходимо следить, чтобы образец не касался стенок сосуда и был полностью погружен в воду.

5. Извлекают из воды запарафинированный образец, просушивают его фильтровальной бумагой и еще раз взвешивают на воздухе, чтобы убедиться, не проникла ли вода в образец. Если обнаружится увеличение его массы более, чем на 0,02 г по сравнению с первоначальной массой, образец бракуется.

6. Вычисляют плотность породы и результаты эксперимента записывают в табл. 3.3. Расхождения результатов двух параллельных определений не должны превышать 0,02 г/см³.

Таблица 3.3

№ п/п	Масса образца в воздухе M_1 , г	Масса запарафинированного образца, г		Плотность, г/см ³	
		в воздухе M_1	в воде, M_2	отдельного образца	средняя

Контрольные вопросы

1. Что называется средней плотностью горных пород?
2. В чем заключается сущность методов измерения линейных размеров, гидростатического взвешивания?
3. Для чего производится парафинирование образцов породы?

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ РЫХЛЫХ ПОРОД

Цель работы: практическое ознакомление с методикой определения насыпной плотности рыхлых пород.

Общие сведения

Рыхлые породы подразделяются на естественно рыхлые и разрыхленные в результате ведения горных работ.

Естественно рыхлые (так называемые сыпучие) породы – это в первую очередь, пески разной крупности.

Насыпная плотность ρ_n – масса единицы объема рыхлой горной породы в ее насыпном состоянии, $кг/м^3$.

Величина насыпной плотности зависит от плотности минеральной фазы горной породы, крупности частиц, влажности, плотности укладки частиц или уплотнения.

Для определения насыпной плотности рыхлой породы необходимо знать ее массу в мерном цилиндре, заполненным стандартным способом.

Аппаратура: весы технические; набор металлических мерных цилиндров; штатив с воронкой; линейка.

Последовательность определения

1. Породу высушивают до воздушно-сухого состояния и просеивают через сито с диаметром отверстий 5 мм, включения крупнее 5 мм удаляют.

2. Взвешивают пустой мерный цилиндр.

3. Устанавливают мерный цилиндр на штатив и наполняют его породой небольшой струйкой через воронку, удлиненный носик которой поддерживают на высоте 1–2 см над концом цилиндра, а затем, по мере наполнения, – над поверхностью породы. Избыток

породы удаляют линейкой, чтобы поверхность ее была на одном уровне с краями мерного цилиндра.

4. Заполненный рыхлой породой мерный цилиндр взвешивают.

5. Величину насыпной плотности ρ_n рыхлой породы определяют как среднее из трех определений и вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{M - M_0}{V},$$

где M_0 – масса пустого мерного цилиндра, г ;

M – масса мерного цилиндра, заполненного рыхлой породой, г ;

V – объем мерного цилиндра, $см^3$.

6. Данные определений записывают в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Масса мерного цилиндра $M_0, г$	Объем мерного цилиндра $V, см^3$	Масса образца породы, г				Насыпная плотность	
		M_1	M_2	M_3	M_{cp}	г/см ³	кг/м ³

Контрольные вопросы

1. Что называется насыпной плотностью или насыпной массой рыхлой породы?

2. В чем заключается сущность метода определения насыпной плотности рыхлых пород?

3. Какие факторы влияют на величину насыпной плотности горных пород?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: определение пористости горных пород методом расчета и методом насыщения.

Общие сведения

Пористость горных пород имеет определенное значение для их физических свойств. При этом общая пористость служит характеристикой структуры породы, открытая пористость может существенно характеризовать влажность породы, влияние которой на разные физические свойства пород различно и притом неоднозначно. Поэтому очевидно, что при изучении физических свойств горных пород характеристикам общей и открытой пористости необходимо уделять значительное внимание.

Практически любая порода состоит из минерального и порового объема. Поровый объем оценивается **пористостью** – относительным объемом пустот (пор), заключенных в единице объема породы между минеральными частицами или их агрегатами. Различают пористость общую и открытую (эффективную).

Пористость общая n – относительный объем всех пор, имеющих в единице объема породы

$$n = \frac{V_n}{V_0 + V_n} \cdot 100\%,$$

где V_n – объем пор, $м^3$;

V_0 – объем минерального скелета, $м^3$.

Общая пористость выражается в процентах или долях единицы.

Отношение объема пор в породе к объему минерального скелета (минеральной составляющей) называется **коэффициентом пористости**. Коэффициент пористости e выражается в долях единицы.

$$e = \frac{V_n}{V_0}.$$

Общую пористость и коэффициент пористости обычно рассчитывают по значениям плотности, плотности минеральной фазы, влажности, плотности скелета породы.

Общую пористость n определяют по формулам:

$$n = \left[1 - \frac{\rho}{\rho_0 (1 + 0,01W)} \right] \cdot 100; \quad n = \frac{\rho_0 - \rho_{ск}}{\rho_0} \cdot 100,$$

где ρ – плотность, г/см³;

ρ_0 – плотность минеральной фазы, г/см³;

W – влажность, %;

$\rho_{ск}$ – плотность скелета, г/см³.

Плотность скелета породы равна отношению массы породы, высушенной при температуре 100–105 °С до постоянной массы, к ее первоначальному объему, т.е. до высушивания.

Плотность скелета может быть рассчитана по формуле

$$\rho_{ск} = \frac{\rho}{1 + 0,01W}.$$

Коэффициент пористости вычисляют по формулам:

$$e = \frac{n}{100 - n} \quad \text{или} \quad e = \frac{\rho_0 - \rho_{ск}}{\rho_{ск}}.$$

Поры часто могут соединяться с внешней средой и между собой, образуя сплошные извилистые каналы. Общий объем таких пор, отнесенный к объему всей породы, называется **открытой (эффektivной) пористостью** n_0 . При этом $n_0 < n$.

По происхождению поры делятся на первичные, сформированные при образовании пород, и вторичные, появившиеся в результате процессов метаморфизма, выщелачивания, перекристаллизации и т.п.

По величине поры подразделяются на субкапиллярные (диаметр пустот менее 0,2 мкм), капиллярные (диаметр пустот 0,2–100 мкм) и сверхкапиллярные (диаметр пустот более 100 мкм). Практически к порам в породах следует относить пустоты любых размеров и форм, однако такие пустоты в породах, как трещины и каверны, принято выделять и рассматривать отдельно.

По форме поры могут быть самого различного типа – межзеренные, пузырчатые, каналовидные, щелевидные, ветвистые и т.д.

Форма и размер отдельных пор и их взаимная связь определяют форму порового пространства породы. Поровое пространство обуславливает различные физические процессы, например перемещение в породах воды и газов.

Пористость горных пород изменяется в значительных пределах: бывают породы практически непористые и такие, в которых пористость достигает 90 %. В среднем же пористость горных пород составляет 1,5–30 %.

а) Скальные и полускальные горные породы

Величина **открытой пористости** может быть установлена экспериментально методом насыщения по объему жидкости, вошедшей в поровое пространство образца. При этом объем образца определяется гидростатическим взвешиванием в той же жидкости. В качестве жидкости для определения открытой пористости скальных и полускальных пород рекомендуется применять керосин, т.к. он хорошо смачивает породы и поэтому легко проникает в поры. Кроме того керосин почти не летуч, что обеспечивает высокую точность определений и не вызывает разрушения погружаемых в него слабосцементированных образцов.

Аппаратура: весы технические с подставкой к ним для взвешивания образца в жидкости, сушильный шкаф, лабораторный стакан, керосин, фильтровальная бумага, эксикатор, вакуумный насос.

Последовательность определения

1. Высушивают образец породы объемом не менее 30 см³ в сушильном шкафу при 100–105 °С до постоянной массы.

2. Подвешивают высушенный образец на проволочке и взвешивают его в воздухе, получают массу M_1 .

3. В течение 30 минут насыщают образец под вакуумом чистым фильтрованным керосином. После насыщения подвешенный к проволочке образец взвешивают в керосине, получают массу M_2 .

4. Просушивают образец фильтровальной бумагой и взвешивают его вместе с проволочкой в воздухе, получают массу M_3 .

5. Вычисляют величину открытой пористости η_0 по формуле

$$\eta_0 = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} \cdot 100 \%$$

Таким образом, открытая пористость равна объему керосина, пошедшего на насыщение образца. Зная общую и открытую пористость, легко вычисляют закрытую пористость. Для каждой пробы проводят два параллельных определения.

6. Результаты определений и вычислений записывают в табл. 5.1.

Таблица 5.1

№ пп	Название породы	Масса образца, г			Пористость, %		
		сухого в воз- духе, M_1	насы- щенного в керо- сине, M_2	насы- щенного в возду- хе, M_3	от- кры- тая, η_0	об- щая, η	за- кры- тая, η_3

б) Рыхлые несвязные породы

Для непосредственного определения пористости песков и песчаных пород нарушенного сложения применяют метод насыщения их водой.

Аппаратура: стеклянный химический стакан с делениями вместимостью 500 см³, бюретка, штатив, технические весы.

Последовательность определения

1. Взвешивают стеклянный стакан и получают массу M_1 .

2. Песок высушивают на воздухе, наполняют им стакан до метки при той плотности, при которой необходимо определить пористость. Получают объем песка $V, \text{ см}^3$. Стакан с песком взвешивают, получают массу M_2 .

3. Стакан с песком ставят на штатив под бюретку, нижний конец которой погружают в песок так, чтобы он находился на высоте 2–3 мм над дном стакана.

4. Бюретку наполняют водой до метки. Периодически приоткрывая зажим у бюретки, начинают медленно насыщать песок до появления пленки воды на поверхности песка.

5. Извлекают бюретку из песка. Если при этом пленка воды на поверхности исчезнет, в стакан дополняют воды до появления пленки. Затем берут отчет по бюретке и записывают объем воды $V, \text{ см}^3$, который пошел на насыщение песка.

6. Стакан с насыщенным водой песком взвешивают, получают массу M_3 .

7. Вычисляют пористость песка, выражая ее в долях единицы или в процентах, по формуле

$$n = \frac{V}{V}.$$

Одновременно вычисляют отвечающие этой пористости показатели плотности скелета песка $\rho_{\text{ск}}$ и плотности ρ следующим образом:

$$\rho_{\text{ск}} = \frac{M_2 - M_1}{V}; \quad \rho = \frac{M_3 - M_1}{V}.$$

Для каждой пробы проводят два параллельных определения пористости для каждой плотности.

8. Данные опыта записывают в табл. 5.2.

Таблица 5.2

№ Ш	Масса стака- на, г		Масса песка, г		Объем воды для насыщения песка, см ³	Объем песка в стакане, см ³	Пористость, %	Плотность скелета, г/см ³	Плотность, г/см ³
	пустого	с сухим песком	с песком, насы- щенным водой	сухого					

Контрольные вопросы

1. Методы определения пористости различных горных пород.
2. Что называется общей пористостью, коэффициентом пористости, открытой пористостью?
3. Что называется плотностью скелета породы?
4. Классификация пор по размерам.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСЧАНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Цель работы: ознакомление с методами определения гранулометрического состава пород и способами подготовки их к анализу, приобретение практических навыков выполнения анализов ситовым и ареометрическим методами.

Общие сведения

Гранулометрический состав – важнейшая характеристика рыхлых горных пород, дающая количественную оценку структуры и существенно влияющая на физико-механические свойства пород.

Гранулометрический состав породы – это процентное содержание в ней групп (фракций) частиц различной крупности по отношению к массе абсолютно-сухой породы.

Таким образом, определение гранулометрического состава заключается в разделении породы на фракции (группы частиц, близкие по крупности) и установлении их процентного содержания. Размер фракций, слагающих породу, выражают обычно в миллиметрах. Учитывая определенное содержание тех или иных фракций в составе обломочных или глинистых пород, их классифицируют по гранулометрическому составу, приблизительно оценивают водопроницаемость пород по эмпирическим формулам, пригодность их для использования в качестве насыпей для дорог, плотин и т.д.

Для определения гранулометрического состава пород применяют различные методы, которые можно разделить на две группы: прямые (ситовой, Сабанина, пипеточный и др.) и косвенные (визуальный и ареометрический).

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

Косвенные методы не предусматривают деления породы на фракции. Эти методы основаны на изучении некоторых свойств по-

роды, по изменению которых судят о содержании тех или иных фракций в породе.

Ситовой метод – считается основным для анализа песчано-гравелистых пород и позволяет определить содержание фракций диаметром более 0,1 мм. Метод прост при использовании и дает достаточно точные результаты.

Методы Сабанина и пипеточный – заключаются в том, что разделение частиц породы на фракции основано на различной скорости падения их в воде при отмучивании. Скорость падения частиц в воде можно определить по формуле Стокса

$$v = \frac{2}{9} g \cdot r^2 \frac{\rho_0 - \rho_в}{\eta},$$

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

g – ускорение свободного падения, $см/с^2$;

r – радиус частиц, $мм$;

ρ_0 – плотность частиц, $г/см^3$;

$\rho_в$ – плотность воды, $г/см^3$;

η – вязкость воды, $П$.

Метод Сабанина может быть рекомендован для анализов мелкозернистых песков, имеющих небольшое содержание (не более 10 %) частиц диаметром менее 0,01 мм. Этим методом с достаточной точностью выделяют фракции диаметром более 0,1; 0,1–0,05; 0,05–0,01 мм. При определении процентного содержания частиц диаметром менее 0,01 мм получаются значительные погрешности, т.к. при отмучивании вместе с такими частицами обычно осаждаются и более крупные. Анализ требует продолжительного времени, сравнительно сложной аппаратуры, многочисленных операций по взвешиванию и высушиванию. В настоящее время метод Сабанина используется в основном тогда, когда необходимо выделить и собрать отдельно песчаные и пылеватые фракции.

Пипеточный метод может быть рекомендован для анализа мелкопесчаных, супесчаных и главным образом глинистых пород. Им обычно пользуются для определения содержания в породе фракций диаметром менее 0,1 мм. При наличии в породе более крупных

фракций этот метод может применяться в комбинации с ситовым. Пипеточный метод дает наиболее правильные результаты по сравнению с другими и лучше согласуется со свойствами породы, а поэтому может быть рекомендован даже как контрольный. Им одновременно можно выполнять 20–30 анализов.

Визуальный метод является полевым, дает приближенное представление о гранулометрическом составе породы. Хотя никаких цифровых данных о процентном содержании в породе тех или иных фракций этот метод не дает, но, учитывая, что анализ занимает непродолжительное время и почти не требует оборудования, он может быть рекомендован для массовых исследований и приближенного суждения о составе как песчаных так и глинистых пород.

Ареометрический метод основан на измерении плотности суспензии, приготовленной из породы, плотность которой изменяется по мере выпадения из нее более крупных частиц. Он позволяет определить содержание частиц диаметром менее 0,1 мм. При наличии в породе более крупных фракций ареометрический метод должен применяться в комбинации с ситовым. По точности ареометрический метод приближается к пипеточному и рекомендуется для массовых анализов глинистых и мелкопесчаных пород.

Твердые частицы песчаных и глинистых пород могут быть образованы обломками минералов, обломками горных пород и агрегатами различных размеров и прочности, образующихся на разных этапах формирования породы под влиянием процессов коагуляции, цементации и др. Агрегаты глинистых частиц могут возникнуть в процессе анализа вследствие коагуляции частиц в суспензии под влиянием электролитов, образующихся при растворении солей, содержащихся в породе.

Гранулометрический анализ должен давать характеристику естественной дисперсности породы. Поэтому, чтобы разрушить агрегаты, перед гранулометрическим анализом необходимо произвести подготовку породы. Применяют следующие три способа подготовки породы к анализу.

1. **Дисперсный способ.** Механической и химической обработкой породы разрушаются как неустойчивые, так и частично устойчивые агрегаты. Породу тщательно растирают, обрабатывают соляной кислотой и промывают. В случае присутствия органических ве-

ществ (более 2 %) породу предварительно обрабатывают перекисью водорода.

2. **Полудисперсный способ.** Механической и физической обработкой разрушают водонеустойчивые агрегаты породы. Породу перед анализом замачивают, кипятят и растирают в присутствии стабилизаторов и пептизаторов суспензии (аммиак, едкий натр и др.)

3. **Агрегатный способ.** Подготовка породы к анализу состоит только в размачивании в воде и соответственно разрушении неустойчивых крупных агрегатов.

При инженерно-геологических исследованиях песчаных и глинистых пород для предварительной подготовки их к гранулометрическому анализу применяют только полудисперсный способ.

а) Ситовой метод

Ситовой метод применяют для определения гранулометрического состава песчаных пород. Породу с помощью специального набора сит просеивают на отдельные фракции, определяют массу и процентное содержание в ней каждой фракции. Стандартный набор сит состоит из девяти сит с отверстиями 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25; и 0,1 мм. Сита собирают в колонку так, чтобы отверстия их уменьшались сверху вниз. Под нижнее сито подставляют поддон, а на верхнее надевают крышку.

Аппаратура: набор стандартных сит; технические весы с разновесами; фарфоровая ступка и пестик с резиновым наконечником; фарфоровые чашечки, тигли или бюксы; ложка или совок; лист бумаги.

Последовательность определения

1. Пробу породы доводят до воздушно-сухого состояния путем просушивания на воздухе в течение 1–2 суток в тонком слое на листе бумаги.

2. Из воздушно-сухой породы отбирают среднюю пробу массой:
а) 200 г – для пород, не содержащих частиц крупнее 2 мм; б) 500 г – для пород, содержащих гравий и гальку до 10 %; в) 2000 г – для пород, содержащих гравий и гальку от 10 до 30 %, при большем содержании – 3000 г.

Средняя проба отбирается квартованием следующим образом. На листе бумаги породу тщательно перемешивают, рассыпают тонким слоем и при помощи шпателя делят двумя взаимно перпендикулярными линиями на четыре равные части (квадраты). Две части, лежащие накрест, отбрасывают, а две другие соединяют, перемешивают, разравнивают, делят на четыре части и т.д. Так поступают до тех пор, пока не останется необходимая для анализа масса средней пробы породы.

Если порода состоит из слипшихся комочков, ее растирают в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником. Растирать породу следует осторожно, чтобы избежать разрушения отдельных зерен.

3. Пробу породы взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Для удобства расчета анализа желательно, чтобы общая масса пробы была равна целым граммам.

4. Взвешенную породу помещают в колонку сит и осторожно встряхивают до тех пор, пока не будет достигнута полная сортировка частиц породы на фракции.

5. При определении гранулометрического состава глинистых песков отбирают среднюю пробу, как указано в п. 2. Взвешенную пробу песка помещают в фарфоровую чашку и отмывают из него глинистые частицы. Для этого песок заливают водой и растирают пестиком с резиновым наконечником, а затем после отстаивания воды (30–60 с) верхний слой ее со взвешенными в ней пылевато-глинистыми частицами осторожно сливают. Последовательно повторяя таким образом промывку песка, продолжают ее до полного просветления слоя воды над песком.

Оставшийся в чашке промытый песок высушивают и затем просеивают через набор сит так, как указано в п. 4.

6. Фракции, оставшиеся после просеивания на ситах и в поддоне, собирают в предварительно взвешенные фарфоровые чашки или бюксы. Затем бюксы с фракциями взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Суммарная масса всех фракций должна быть равна массе общей навески породы.

7. Содержание в породе каждой фракции частиц в процентах вычисляют по формуле

$$X = \frac{M}{M_0} \cdot 100,$$

где X – процентное содержание фракции в породе;

M – масса фракции, г;

M_0 – масса общая навески, г.

Результаты вычислений выражают с точностью до 0,1 %.

Все данные записывают в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Размеры фракций, мм	Масса бюкса, г		Масса фракций, г	Содержание фракций, %
	пустого	с фракцией породы		

б) Ареометрический метод

Ареометрический метод применяется для массовых анализов гранулометрического состава глинистых и мелкопесчаных пород. Он основан на измерении плотности приготовленной из породы суспензии в процессе ее отстаивания.

Аппаратура: ареометр; мерный цилиндр на 1000 см³ и внутренним диаметром 60 мм; набор сит с обязательным наличием сита с диаметром отверстий 0,1 мм; весы аналитические и технические; бюксы или фарфоровые тигли, предварительно взвешенные; чашка фарфоровая диаметром 15-16 см; термометр с ценой деления шкалы 0,5 °С; промывалка или резиновая груша; песчаная или водяная баня; раствор 25%-ного аммиака; колба коническая плоскодонная вместимостью 250 см³ с обратным холодильником; секундомер; мешалка; линейка на 30 см с миллиметровыми делениями; ступка с пестиком; дополнительное оборудование для определения влажности породы.

Для гранулометрического анализа пород применяют стеклянный ареометр обтекаемой формы, рассчитанный для плотности жидкости от 0,995 до 1,030 г/см³ с ценой деления шкалы 0,001 (рис. 6.1). При работе с ареометром берут упрощенные отсчеты R_0 , отбрасыва-

вая единицу и перенося запятую на три знака вправо; в этом случае тысячные деления будут представлять целые числа, десятитысячные, которые берутся на глаз, – десятые. Например, вместо отсчета 1,0263 читают и записывают 26,3.

Гранулометрический состав пород определяется путем измерения плотности суспензии породы протарированным ареометром.

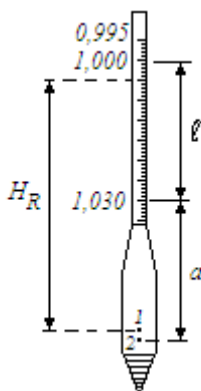


Рис. 6.1. Схема ареометра:

1 – «центр объема» ареометра; 2 – «центр объема» луковички

Тарировка ареометра

Так как погружение ареометра в мерный цилиндр с жидкостью вызывает повышение ее уровня, зависящее от соотношения их размеров, то каждый ареометр при анализе должен применяться с тем цилиндром, с которым был протарирован. Тарировку ареометра проводят в мерном цилиндре вместимостью 1000 см^3 с дистиллированной водой, имеющей температуру $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура градуировки ареометра), приняв плотность ее, равной 1 г/см^3 .

Для тарировки ареометра и расчета глубин его погружения в жидкость выполняют следующие операции.

1. Устанавливают поправку на высоту мениска S_m воды в цилиндре. Ареометры на заводах градуируют по нижнему краю мениска. Так как суспензия из породы непрозрачная, то отсчеты во время анализа берут по верхнему краю мениска и учитывают поправку на его высоту. Последнюю определяют один раз для каждого ареомет-

ра, опуская его в цилиндр с водой и снимая с его шкалы отсчеты по нижнему и верхнему краям мениска. Разница между этими отсчетами и будет поправкой на высоту мениска, которую прибавляют к каждому отсчету по шкале ареометра при замерах плотности суспензии. Так как по ареометру берут упрощенный отсчет, то поправку на высоту мениска также умножают на 1000. Например, отсчет по нижнему краю мениска 0,9998, по верхнему 0,9994, высота мениска $0,9998 - 0,9994 = 0,0004$, следовательно, поправка $C_m = 0,4$.

2. Определяют поправку C_a на показание ареометра при добавлении в дистиллированную воду антикоагулятора, который будет использован при приготовлении суспензии породы для анализа. Для этого в мерный цилиндр вводят в требуемом количестве антикоагулятор, наливают дистиллированную воду до метки 1000 см^3 , смесь взбалтывают, опускают ареометр в цилиндр и берут отсчет со шкалы ареометра по верхнему краю мениска. Разность между этим отсчетом и отсчетом, снятым в дистиллированной воде, и будет поправкой на антикоагулятор, которую вычитают из каждого отсчета по шкале ареометра при замерах плотности суспензии.

3. Измеряют (в см) длину шкалы ареометра ℓ между делениями 1,030 и 1,000.

4. Определяют объем луковицы ареометра V_0 . Для этого в цилиндр наливают $900\text{--}920 \text{ см}^3$ дистиллированной воды, погружают в нее ареометр до деления 1,030 на его шкале и отмечают подъем уровня воды в цилиндре. Разность между уровнями воды в цилиндре с ареометром и без него будет равна объему луковицы.

5. Определяют (в см) расстояние a от деления 1,030 шкалы ареометра до так называемого «центра объема» его луковицы и высоту b подъема воды в цилиндре при погружении ареометра в воду до «центра объема» луковицы. Для этого ареометр вновь погружают в воду до подъема ее на высоту b , соответствующую увеличению объема воды, равному половине объема луковицы ($\frac{V_0}{2}$). В

таком положении луковица ареометра погружена до ее «центра объема». Удерживая ареометр в этом положении, линейкой измеряют расстояние a от уровня воды до отметки 1,030. Высоту b

можно рассчитать делением объема луковицы V_0 на удвоенную площадь поперечного сечения цилиндра F , т.е. $v = \frac{V_0}{2F}$.

6. Устанавливают величины H_R – расстояние или пути, проходимые частицами породы от поверхности жидкости в цилиндре до воображаемой плоскости на уровне «центра объема» ареометра для каждого исправленного (окончательного, с учетом поправок) отсчета R по ареометру при замерах плотностей суспензии в процессе анализа.

Величины H_R рассчитывают с точностью до 0,001 по формуле

$$H_R = \frac{N - M}{N} \ell + (a - v),$$

где N – число делений на шкале ареометра между делениями 1,030 и 1,000;

M – число делений на шкале ареометра от 1,000 до поверхности суспензии, зависящее от погружения ареометра и равное отсчету по ареометру R .

Кроме поправок на высоту мениска и на антикоагулятор при проведении анализа учитывают также поправку на температуру C_p , если она отличается от 20 °С. Эту поправку определяют по табл. 6.2.

Последовательность определения

1. Из общей пробы породы естественной влажности отбирают среднюю пробу методом квартования и берут навеску в таком количестве, чтобы при пересчете на абсолютно-сухую массу она равнялась: около 10 г – для глин, 15 г – для суглинков, от 20 до 40 г – для супесчаных и песчаных пород.

Взвешивание производят на аналитических весах. Одновременно с пробой для гранулометрического состава отбирают пробы для определения влажности и плотности породы.

Таблица 6.2

Температурные поправки C_p к отсчетам по ареометру

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

При наличии в породах значительного количества фракций диаметром более 0,1 мм (устанавливается визуально) берут отдельную навеску на ситовой анализ.

Пересчет массы пробы, взятой на анализ, на абсолютно-сухую массу производят по формуле

$$M_c = \frac{M \cdot 100}{100 - W},$$

где M_c – масса навески породы в абсолютно-сухом состоянии, г;

M – масса навески естественной влажности, г;

W – влажность породы, %.

2. Взятую на гранулометрический анализ навеску породы помещают в колбу с обратным холодильником и заливают десятикратным количеством дистиллированной воды, прибавляют 1 см³ амми-

ака. Содержимое колбы кипятят в течение часа на песчаной или водяной бане (кипячение не должно быть бурным), а затем охлаждают до комнатной температуры.

3. Остывшую суспензию выливают в большую фарфоровую чашку, тщательно промывают колбу, чтобы на стенках ее не осталось частиц породы.

Суспензию в чашке взмучивают и оставляют в покое на 1–2 мин. Отстоявшийся слой суспензии сливают в мерный цилиндр (емкостью 1000 см³) через установленное в большую воронку сито с отверстиями 0,1 мм, а осадок растирают мягким резиновым пестиком или пальцем в резиновом напалечнике для разрушения уцелевших после кипячения агрегатов. Затем в чашку приливают чистой воды, осадок вновь взмучивают и через 1–2 мин отстоявшийся слой суспензии сливают через сито в цилиндр. Отмучивание в чашке и растирание в ней осадка продолжают до тех пор, пока после 1–2 мин. отстаивания слой воды над осадком не будет совершенно прозрачным, а в осадке останутся только песчаные фракции. Весь осадок из чашки смывают на сито, установленное над цилиндром в большой воронке и в цилиндр доливают чистой воды до метки 1000 см³. На этом заканчивается подготовка суспензии для анализа.

4. Оставшиеся на сите с отверстиями 0,1 мм песчаные фракции смывают в предварительно взвешенный бюкс или тигель, выпаривают воду, а оставшийся осадок высушивают и просеивают через набор сит. Затем каждую фракцию взвешивают и вычисляют процентное содержание в породе фракций крупнее 0,1 мм по формуле

$$x = \frac{M \cdot C}{M_c},$$

где M – масса фракций, г;

C – суммарное процентное содержание фракций, взятых на анализ ($C = 100\%$, если не было отдельно ситового анализа);

M_c – масса взятой навески, пересчитанная на абсолютно-сухое состояние породы, г.

5. Взбалтывают суспензию в цилиндре мешалкой до полного исчезновения осадка на дне, замечают время окончания взбалтывания, осторожно опускают ареометр в суспензию (ареометр должен пла-

вать, не касаясь стенок цилиндра), и берут по верхнему краю мениска первые четыре отсчета по шкале ареометра через 30 с, 1, 2 и 5 мин (после окончания взбалтывания), не вынимая ареометра из суспензии. Отсчеты берутся упрощенные и должны занимать не более 5–7 с. Затем, при последующих отсчетах, которые производят через 30 мин, 1 ч, 1,5 ч, 3 ч, 6 ч и 24 ч, ареометр вынимают из суспензии каждый раз, обмывают его дистиллированной водой и вытирают насухо. Ареометр опускают в суспензию за 5–10 с до начала очередного измерения. По окончании замера на цилиндр следует надевать футляр, чтобы избежать потери на испарение между последующими отсчетами по ареометру.

6. Измерения температуры суспензии (в центре цилиндра) производят с точностью 0,5 °С один раз в течение первых пяти отсчетов, а затем при каждом измерении.

7. Производят первичную обработку записей, для того, чтобы получить окончательные выражения отсчетов R по ареометру для каждого измерения с учетом поправок, вводимых в упрощенные отсчеты R_0 . Получив окончательные отсчеты R , рассчитывают величину H_R для каждого измерения плотности суспензии.

8. Производят расчет диаметра частиц d (в мм) по формуле

$$d = \sqrt{\frac{1800\eta H_R}{g(\rho_0 - \rho_e)t}}$$

где η – коэффициент вязкости воды, определяемый по табл. 6.3 в зависимости от температуры;

H_R – путь частиц от поверхности суспензии в мерном цилиндре до плоскости на уровне «центра объема» ареометра, соответствующий окончательному отсчету R , см;

g – ускорение свободного падения, равное 981 см/с²;

ρ_0 – плотность частиц породы, г/см³;

ρ_e – плотность воды, г/см³;

t – время оседания частиц (от окончания взбалтывания суспензии до взятия отсчета), с.

Таблица 6.3

Коэффициент вязкости воды

Температура, °С	Коэффициент вязкости, η_v	Температура, °С	Коэффициент вязкости, η_v
12	0,01236	22	0,00958
13	0,01208	23	0,00936
14	0,01171	24	0,00914
15	0,01140	25	0,00894
16	0,01111	26	0,00874
17	0,01086	27	0,00854
18	0,01056	28	0,00836
19	0,01050	29	0,00818
20	0,01005	30	0,00801
21	0,00981		

9. Вычисляют процентное содержание в суспензии всех частиц x размерами, менее диаметра d , определенного при соответствующем отсчете по формуле

$$x = \frac{\rho_0 \cdot R}{(\rho_0 - \rho_g) \cdot M_c} \cdot 100,$$

где ρ_0 – плотность частиц породы, г/см^3 ;

R – окончательный отсчет по ареометру;

ρ_g – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см^3 ;

M_c – масса сухой пробы породы, г.

10. Обрабатывают результаты анализа, вычерчивая кривую гранулометрического состава породы в полулогарифмическом масштабе: на оси абсцисс в логарифмическом масштабе откладывают диаметры частиц, на оси ординат в линейном масштабе – суммы процентов частиц. По полученной кривой определяют процентное содержание стандартных общепринятых фракций. Все данные сводят в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Журнал определения гранулометрического состава
суспензии ареометрическим методом

Ареометр № ($\ell = \underline{\quad}$, $a = \underline{\quad}$, $v = \underline{\quad}$). Навеска породы $M = \underline{\quad}$.

Поправка на мениск $C_M = \underline{\quad}$. Влажность породы $W = \underline{\quad}$.

Поправка на антикоагулятор $C_a = \underline{\quad}$. Плотность породы $\rho_0 = \underline{\quad}$.

Дата и время замера	Время отстаивания суспензии, с	Температура суспензии, °С	Отсчет по ареометру		Величина H_R , см	Размер частиц d , мм	Содержание частиц в суспензии, %	Результаты гранулометрического анализа	
			упрошенный R_0	окончательный * R				фракции, мм	содержание, %

$$* R = R_0 + C_M + (-C_a) + (\pm C_{\rho}).$$

Контрольные вопросы

1. Гранулометрический состав рыхлых пород и его практическое значение.
2. Методы гранулометрического анализа пород.
3. Виды подготовки пород к гранулометрическому анализу.
4. Какой из методов является основным для определения гранулометрического состава песчаных пород? Опишите его сущность.
5. Определение гранулометрического состава пород ареометрическим методом.

Лабораторная работа № 7

ГРАФИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД

Цель работы: приобретение практических навыков изображения результатов анализа гранулометрического состава пород графическими способами.

Общие сведения

Обычно результаты гранулометрического состава пород представляют в виде таблиц, в которых приводятся размеры фракций и их процентное содержание. Для большей наглядности и удобства сравнения различных пород между собой гранулометрический состав их изображают в виде различных графиков: диаграмм, треугольников, интегральных кривых однородности.

При изображении гранулометрического состава породы в виде диаграмм по оси ординат показывают процентное содержание фракций, а по оси абсцисс – логарифмы диаметров частиц (рис. 7.1). Диаграммами целесообразно пользоваться только для наглядного показа типичных разностей пород. На каждой диаграмме приводятся результаты одного анализа и для изображения результатов массовых анализов этот способ не пригоден.

Для изображения результатов гранулометрического состава удобно применять треугольные диаграммы (рис. 7.2 – 7.4). Способ основан на геометрическом свойстве равностороннего треугольника: сумма перпендикуляров, опущенных из любой точки внутри треугольника на его стороны, есть величина постоянная и равная высоте треугольника. Если каждую высоту треугольника разделить на 100 равных частей и провести через них параллельные линии, перпендикулярные к высоте, то и стороны треугольника разделяться на 100 частей. Отложив на каждой стороне треугольника содержание трех основных фракций (для глинистых пород – глинистых, пылеватых, песчаных, а для песчаных – грубо- и крупнозернистых, среднезернистых, мелко- и тонкозернистых) и проведя линии, параллельные соответствующим сторонам треугольника, получают в

пересечении точку, изображающую гранулометрический состав породы.

Таким образом, на треугольнике можно изобразить результаты многих анализов. Кроме того, по диаграммам, представленным на рис. 7.2 – 7.4, можно классифицировать породы по гранулометрическому составу.

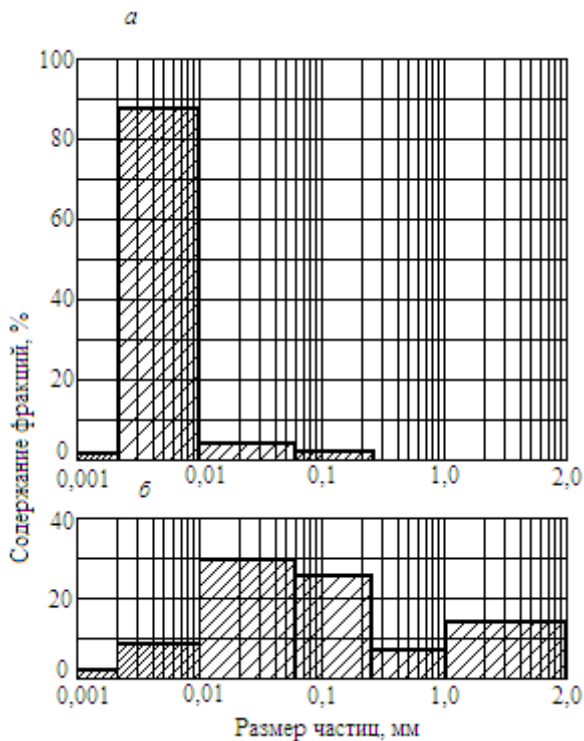


Рис. 7.1. Диаграммы гранулометрического состава однородной (а) и неоднородной (б) глинистых пород

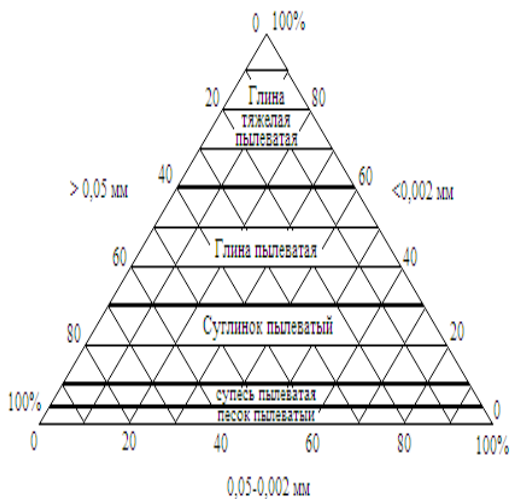


Рис. 7.2. Треугольная диаграмма для изображения гранулометрического состава глинистых пород

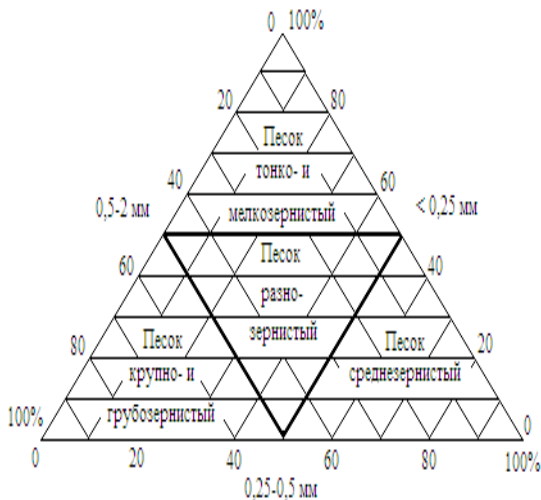


Рис. 7.3. Треугольная диаграмма для изображения гранулометрического состава песчаных пород

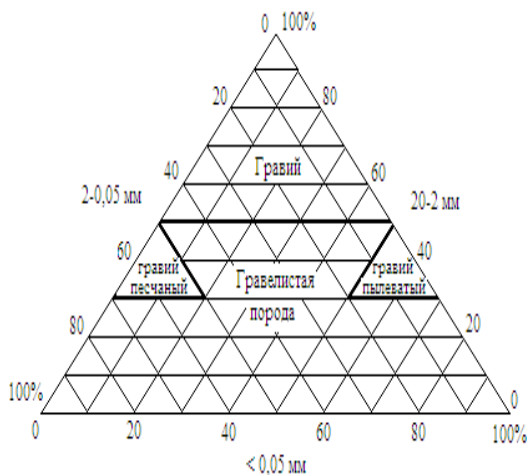


Рис. 7.4. Треугольная диаграмма для изображения гранулометрического состава гравелистых пород

Часто гранулометрический состав представляют в виде интегральных кривых однородности, которые строят в прямоугольной системе координат в простом или полулогарифмическом масштабе. Предпочтение отдается последнему, т.к. кривые получаются менее растянутыми по оси абсцисс, они более удобны и наглядны. Используя интегральную кривую (рис. 7.5), определяют коэффициент неоднородности K_H по формуле

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

где d_{10} – действующий, или эффективный диаметр частиц;

d_{60} – контролирующий диаметр частиц.

Действующим, или эффективным, диаметром частиц называют такой, меньше которого в породе содержится 10 % всех частиц.

Контролирующим диаметром частиц называют такой, меньше которого в породе содержится 60 % частиц.

Песчаные породы считаются неоднородными при $K_H > 3$, а глинистые – при $K_H > 5$.

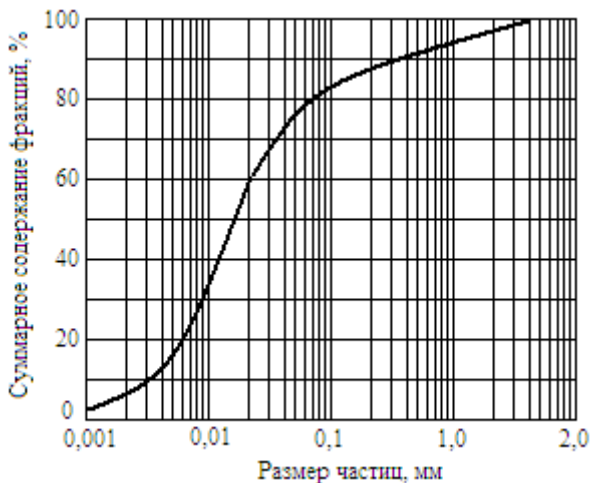


Рис. 7.5. Интегральная кривая гранулометрического состава в полулогарифмическом масштабе

Последовательность выполнения работы

Для выполнения работы используют результаты определения гранулометрического состава, полученные в лабораторной работе № 6.

1. Вычерчивают треугольную диаграмму и изображают на ней гранулометрический состав породы. Классифицируют породу, используя представленные на рис. 7.2 – 7.4 диаграммы.

2. В прямоугольной системе координат строят интегральную кривую гранулометрического состава породы в полулогарифмическом масштабе следующим образом:

а) результаты гранулометрического анализа пересчитывают по совокупности фракций. Для этого, начиная с самой мелкой фракции, последовательно суммируют содержание фракций до 100 %. Каждая из промежуточных цифр полученного ряда будет показывать суммарное процентное содержание в породе фракций, меньше определенного диаметра;

б) по оси ординат откладывают процентное содержание фракций по совокупности. По оси абсцисс откладывают не диаметр частиц в мм, а их логарифмы, точнее, размеры, пропорциональные логарифмам. Для построения шкалы по оси абсцисс выбирают основание

этой шкалы, т.е. длину отрезка (например, 4 см), соответствующего $\lg 10$. От начала координат по оси абсцисс через интервал 4 см делают граничные метки. В начале координат ставят число 0,001, а против каждой последующей метки соответственно 0,01; 0,1; 1; 10 и т.д. Если в составе породы тонкие фракции отсутствуют, то шкала может быть сдвинута влево, т.е. в начале координат ставят не 0,001, а 0,01 или 0,1.

Если $\lg 10 = 1$ будет соответствовать длине 4 см, то логарифмы предыдущих чисел будут равны следующим длинам:

$\lg 2 = 0,301$	$0,301 \times 4 = 1,2$ см
$\lg 3 = 0,477$	$0,477 \times 4 = 1,9$ см
$\lg 4 = 0,602$	$0,602 \times 4 = 2,4$ см
$\lg 5 = 0,699$	$0,699 \times 4 = 2,8$ см
$\lg 6 = 0,778$	$0,778 \times 4 = 3,1$ см
$\lg 7 = 0,845$	$0,845 \times 4 = 3,4$ см
$\lg 8 = 0,845$	$0,845 \times 4 = 3,6$ см
$\lg 9 = 0,954$	$0,954 \times 4 = 3,8$ см

Откладывая длину вычисленных отрезков от начала координат и от каждой граничной метки вправо, на шкале абсцисс делают промежуточные метки, против которых ставят соответствующие числа: в первом интервале 0,002, 0,003, 0,004 и т.д.; во втором интервале 0,02, 0,03, 0,04 и т.д.; в третьем интервале 0,2, 0,3, 0,4 и т.д.

На соответствующих ординатах точками отмечают процентное содержание фракций меньше определенного диаметра, точки соединяют плавной линией и получают интегральную кривую однородности.

3. По интегральной кривой гранулометрического состава определяют эффективный и контролирующий диаметры частиц и рассчитывают коэффициент неоднородности породы.

Контрольные вопросы

1. Каковы наиболее употребительные способы графического изображения гранулометрического состава?

2. Коэффициент неоднородности гранулометрического состава пород. Как его определить?

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: определение пределов прочности при растяжении и сжатии, построение паспорта прочности горных пород.

Общие сведения

Разрушение горных пород – основной процесс при добыче и переработке полезных ископаемых. Определяющим фактором этого процесса является прочность пород. Прочность породы определяется величиной критических напряжений, при которых происходит ее разрушение. Эти напряжения различны для различных пород и для различных видов приложенных нагрузок. Они носят название пределов прочности. Различают пределы прочности пород при сжатии, растяжении, сдвиге, изгибе и т.д. Эти показатели прочности характеризуют критическое состояние породы при ее одноосном нагружении. В реальных условиях горная порода находится в сложном напряженном состоянии, которое характеризуется различным сочетанием нормальных и касательных напряжений. Это состояние горных пород наиболее точно описывается теорией прочности Мора, основанной на зависимости между касательными и нормальными напряжениями в каждой точке тела, находящегося в сложном напряженном состоянии.

Для представления напряженного состояния породы в теориях упругости и пластичности используют графические изображения, называемые кругами напряжения Мора. Они дают возможность исследовать напряжения в плоскости с любым наклоном. Круги напряжений строят следующим образом (рис. 8.1). По оси абсцисс от начала координат откладывают максимальное σ_1 и минимальное σ_3 значения нормальных напряжений, действующих на образец породы. На разности отрезков $\sigma_1 - \sigma_3$, как на диаметре, строят круг (или полуокружность). Значения касательного и нормального напряжений в любой точке породы могут быть найдены, если задан угол наклона плоскости α , в которой определяются напряжения. Под этим углом из точки пересечения окружности с абсциссой про-

водят прямую до ее пересечения с окружностью. Ордината точки пересечения окружности с прямой численно равна значению отыскиваемых касательных напряжений τ , абсцисса – значению нормальных напряжений σ .

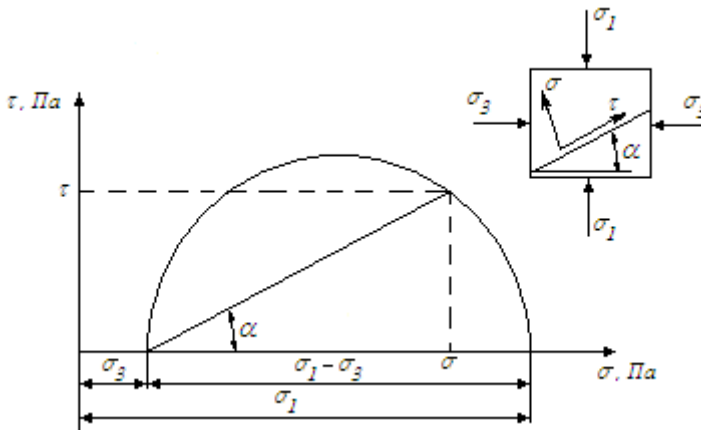


Рис. 8.1. Взаимосвязь между нормальными и касательными напряжениями в породе

Каждому частному значению предельного напряженного состояния породы соответствует свой круг напряжений. Таким образом, можно построить целое семейство кругов напряжений. Очевидно, что любое напряженное состояние породы, характеризуемое точкой на графике, лежащей вне этого семейства, является разрушающим для данной породы. Поэтому, проведя огибающую этих кругов напряжений, получают кривую, характеризующую предельное напряженное состояние тела в момент его разрушения.

Огибающую предельных кругов напряжений называют паспортом прочности горных пород.

На рис. 8.2. представлены наиболее характерные предельные круги напряжений Мора и их огибающая.

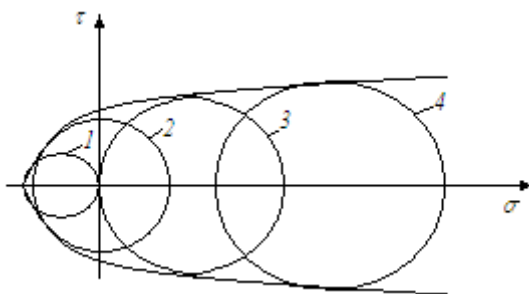


Рис. 8.2. Круги напряжений Мора и их огибающая:
 1 – одноосное растяжение; 2 – чистый сдвиг;
 3 – одноосное сжатие; 4 – всестороннее сжатие

Построение паспорта прочности производится различными методами, но наиболее широкое применение в горной практике вследствие простоты и достаточной точности получил метод растяжения и сжатия. Сущность метода заключается в построении кругов напряжений Мора для одноосного растяжения и сжатия и огибающей этих кругов.

Существуют следующие методы определения прочности пород при одноосном сжатии:

1. Определение прочности образцов правильной формы (рис. 8.3, а). В соответствии с международным стандартом должны изготавливаться образцы цилиндрической формы с отношением высоты к диаметру, равным единице. В качестве нормы рекомендуется цилиндрический образец диаметром 42 мм. Отклонение от этих размеров допускается в пределах от 40 до 45 мм, а отклонение в отношении высоты к диаметру – до 5 %. Могут применяться образцы в виде кубиков размером 50x50x50 мм. Торцы образцов должны быть строго параллельными и шлифованными. Изготовление таких образцов сопряжено с высокой трудоемкостью.

2. Определение прочности образцов полуправильной формы. В этом случае для испытания на сжатие используют кубообразные образцы с линейными размерами параллельных плоскостей 20x20 мм и допускаемыми отклонениями от каждого размера не более ± 2 мм. Эти образцы получают в результате определения прочности при растяжении методом раскалывания пластин клиньями (это

позволяет при минимальном объеме пробы получить максимальное число данных по прочности пород).

Предел прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ определяется по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{F},$$

где P – максимальная нагрузка на образец в момент разрушения, Н;
 F – площадь поперечного сечения образца, м².

3. Метод соосных пуансонов (рис. 8.3, б). Предназначен для массовых исследований прочности скальных и полускальных пород (однородных и не крупнозернистых). Сущность метода заключается в сжатии дисковых образцов (диаметром от 30 до 100 мм и толщиной 10...12 мм) двумя одинаковыми цилиндрическими соосно расположенными пуансонами. Предел прочности определяется по величине разрушающей нагрузки и диаметрам образца и пуансонов.

Методы определения прочности при растяжении подразделяются на следующие группы:

1. Методы прямого растяжения (рис. 8.3, в) заключаются в непосредственном разрыве образца. Вследствие сложности изготовления фигурных образцов и разрыва не в расчетных сечениях, а в местах концентрации напряжений на неоднородностях породы, эта группа методов для горных пород практически не применяется

2. Методы изгиба пластин или балочек (рис. 8.3, г). Существенным недостатком определения прочности при растяжении этими методами является то, что растягивающие напряжения возникают только на выпуклой стороне изгибаемого образца, вследствие чего прочность может значительно колебаться в зависимости от состояния его поверхности.

3. Методы разрыва полых образцов правильной и произвольной формы (рис. 8.3, д). Сущность методов заключается в разрыве горной породы давлением изнутри, создаваемым с помощью гидропатрона или расширяющегося под нагрузкой вязкого сплава, помещаемых в отверстие образца. Методам присущи недостатки: относительная сложность изготовления образцов породы с отверстием и невысокая точность определения прочности.

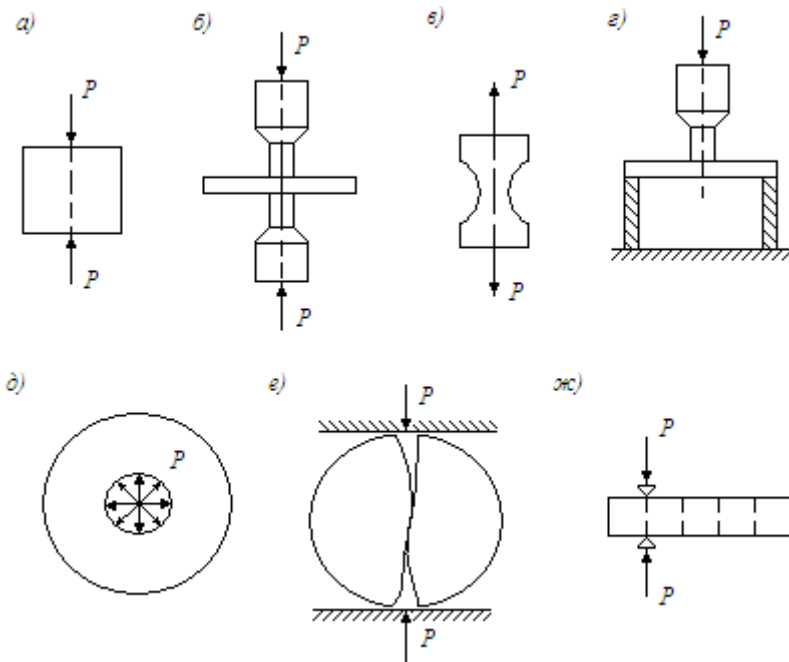


Рис. 8.3. Методы определения прочности пород

4. Метод диаметрального сжатия (рис. 8.3, е). Этот метод заключается в раскалывании цилиндрических образцов (кернов) силами, приложенными по диаметрально противоположным образующим. Возникающие в плоскости, перпендикулярной приложенной нагрузке, растягивающие напряжения разрывают образец. Метод применим, главным образом, для пород, обладающих хрупким характером разрушения.

Прочность при растяжении σ_p подсчитывается по формуле

$$\sigma_p = \frac{2P}{\pi \cdot F} = \frac{0,637P}{F},$$

где P – разрушающая нагрузка, Н;

F – площадь поперечного сечения образца, м^2 .

5. Метод раскалывания пластин клиньями (рис. 8.3, ж). Один из распространенных методов определения прочности горных пород на разрыв. Хотя метод и является косвенным, он позволяет получать результаты, вполне сходные с результатами испытаний пород непосредственно на растяжение. Сущность метода состоит в испытании образца пластинообразной формы на сжатие линейно сосредоточенной нагрузкой с двух сторон между клиньями. Такая нагрузка вызывает разрыв образца на две части по поверхности, проходящей вдоль контакта породы с линейно сосредоточенной сжимающей нагрузкой.

Для испытания раскалыванием используют образцы в виде пластин размером не менее 100x100 мм и толщиной 20 мм, изготавливаемые на камнерезной машине. Плоскости отреза образца должны быть параллельными. Отклонения от параллельности допускается не более 0,5 мм по минимальному размеру образца. Предел прочности при растяжении σ_p определяется по формуле

$$\sigma_p = \frac{P}{h \cdot \ell},$$

где P – разрушающая нагрузка, Н;

h – толщина образца, м;

ℓ – длина линии раскола, м.

Испытание горных пород на разрыв и сжатие чаще всего производится многократным раскалыванием пластины образца клиньями и раздавливанием полученных после раскалывания кубиков правильной формы с линейными размерами параллельных плоскостей 20x20x20 мм.

Аппаратура: пресс или универсальная машина; раскалывающее устройство в виде стальных клиньев с длиной лезвия, превышающей наибольший линейный размер образца, с углом заточки клиньев 90° и радиусом закрепления лезвий 3–5 мм; линейка; штангенциркуль.

Последовательность выполнения работы

а) Определение прочности при растяжении методом раскалывания пластин клиньями

1. На одной из поверхностей пластины породы с помощью линейки карандашом наносят сетку со стороной квадрата 20 мм. Линии сетки должны отстоять от края образца не менее чем на 10 мм.

2. Образец укрепляют между раскалывающими клиньями прессы, совмещая лезвия клиньев с одной из линий нанесенной сетки.

3. Приводят пресс в действие и раскалывают образец на бруски, а затем по поперечным линиям – на кубики полуправильной формы. При каждом раскалывании образца фиксируют максимальную разрушающую нагрузку P , измеряют штангенциркулем толщину образца h и длину линии раскола ℓ с точностью до 0,5 мм.

4. Вычисляют предел прочности при растяжении для каждого опыта (выполняют 10–15 опытов). Результаты измерений и вычислений записывают в табл. 8.1.

Таблица 8.1

№ пп	Толщина образца h , м	Длина раскола ℓ , м	Разрушающая нагрузка P , Н	Прочность при растяжении σ_p , МПа	
				отдельного образца	средняя

б) Определение прочности при сжатии образцов полуправильной формы

1. Образцы кубообразной формы, оставшиеся после раскалывания, нумеруют, измеряют стороны a и b параллельных оснований. Вычисляют площадь сечения образца как полусумму площадей верхнего и нижнего оснований.

2. Образец устанавливают между платами прессы по центру. Приводят пресс в действие, сохраняя постоянной скорость нагружения до разрушения образца. Скорость нагружения должна находиться в пределах 0,5–1 МПа/с. Фиксируют максимальную величину разрушающей образец нагрузки.

3. Вычисляют предел прочности при сжатии. Результаты измерений и вычислений записывают в табл. 8.2.

Таблица 8.2

№ пп	Размеры образца, м		Площадь образца F , м^2	Разрушающая нагрузка P , Н	Прочность при растя- жении σ_p , МПа	
	a	b			отд. образца	средняя

в) Построение паспорта прочности горных пород

1. По полученным значениям σ_p и $\sigma_{сж}$ строят паспорт прочности в виде линейной огибающей (рис. 8.4). Для этого в прямоугольной системе координат $\sigma - \tau$ строят два круга предельных напряжений радиусами $r_1 = \sigma_p / 2$ и $r_2 = \sigma_{сж} / 2$. Проводят к этим кругам касательную

$$\tau = C + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где C – сцепление породы, МПа;

φ – угол внутреннего трения.

Определяют количественные показатели прочности породы: сцепление C , угол внутреннего трения φ , коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg} \varphi$.

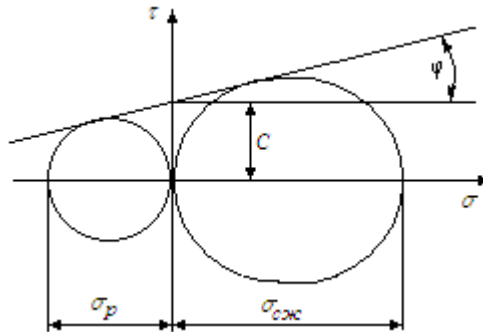


Рис. 8.4. Паспорт прочности горной породы

2. Более точно теории прочности Мора соответствует нелинейная огибающая кругов напряжений. Паспорт прочности горных пород часто представляют в виде параболы

$$\tau = \sqrt{(\sigma_p + \sigma) \left[2\sigma_p - 2\sqrt{\sigma_p(\sigma_p + \sigma_{сж})} + \sigma_{сж} \right]},$$

где $\sigma_p + \sigma$ – нормальное напряжение относительно начала координат в точке пересечения огибающей с осью абсцисс.

Паспорт прочности с огибающей в виде параболы строят не менее чем по 7 точкам: $\sigma = -\sigma_p; -0,5\sigma_p; 0; 0,25\sigma_{сж}; 0,5\sigma_{сж}; 0,75\sigma_{сж}; \sigma_{сж}$.

Контрольные вопросы

1. Методы определения прочности пород при одноосном сжатии и растяжении.
2. В чем заключается сущность метода многократного раскалывания и сжатия?
3. Как определить предел прочности при сжатии и растяжении?
4. Что представляет собой паспорт прочности?
5. Как по паспорту прочности определить коэффициент внутреннего трения и сцепление породы?

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ ПЕСЧАНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Цель работы: определение сопротивления сдвигу пород с использованием сдвигового (срезного) прибора.

Общие сведения

Изучение сопротивления пород сдвигающим усилиям имеет большое значение для правильного расчета устойчивости оснований (несущей способности), оценки устойчивости откосов, расчета давления грунтов на подпорные стенки и других инженерных расчетов.

Сопротивление сдвигу характеризует прочность песчаных и глинистых пород, т.е. их способность сопротивляться разрушению, проявляющемуся в нарушении сплошности породы в результате смещения части породы по одной или нескольким поверхностям скольжения или вдоль зоны ослабления. Разрушение породы наступает тогда, когда касательные напряжения превышают внутренние силы сопротивления.

В песчаных и других рыхлых породах внутренними силами сопротивления сдвигу являются силы трения (внутреннего трения), возникающие при взаимном перемещении сдвигающих породу частиц. В глинистых (связных) породах внутренними силами кроме сил трения являются также силы сцепления (силы структурных связей).

Сопротивление сдвигу связных пород выражается прямолинейной зависимостью, получившей название обобщенного закона Кулона

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + C,$$

где τ – предельное сдвигающее усилие, МПа;

σ – нормальное уплотняющее давление, МПа;

$\operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент внутреннего трения породы;

C – сцепление породы, МПа.

В сыпучих, несвязных породах силы сцепления практически равны нулю. Поэтому для таких пород зависимость между сдвигающими и нормальными напряжениями при сдвиге можно выразить более простым уравнением

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Сопротивление сдвигу породы зависит от ее физического состояния (степени нарушенности естественной структуры, плотности, влажности), а также от режима испытаний (способа подготовки образца, условий дренирования пород, скорости сдвига и т.д.). Поэтому при определении сопротивления сдвигу песчаных и глинистых пород для получения наиболее достоверных данных необходимо учитывать влияние этих факторов и в зависимости от конкретных условий применять ту или иную схему испытаний.

В зависимости от характера подготовки образцов породы к испытаниям различают:

1) сдвиг образцов при нормальном уплотнении, когда образцы перед опытом уплотняются под разными нагрузками до окончания процесса консолидации. Сдвиг образца производится при той же вертикальной нагрузке, под которой он уплотняется;

2) сдвиг образцов, уплотненных большими нагрузками, до окончания процесса консолидации. Сдвиг осуществляется без нагрузки или при меньших нагрузках;

3) сдвиг образцов, не уплотненных или уплотненных в течение короткого промежутка времени (полной консолидации не наблюдается). Сдвиг производится при различных вертикальных нагрузках.

В зависимости от скорости приложения сдвигающего усилия различают медленный и быстрый сдвиг. При медленном сдвиге сдвигающее усилие увеличивают только после прекращения деформации, вызванной предыдущей ступенью этого усилия. При быстром сдвиге увеличение сдвигающего усилия производят быстро, не дожидаясь прекращения деформаций.

Современная методика исследования прочности песчаных и глинистых пород в лабораторных условиях предусматривает использование следующих основных схем.

1. Испытание пород по схеме быстрого сдвига без предварительного уплотнения (при уплотняющих нагрузках, не превышающих

структурной прочности пород, природной нагрузки или веса сооружений). Сдвигающее усилие передается равномерно и непрерывно в возрастающем порядке до разрушения породы. Результаты испытаний характеризуют природную прочность пород (или прочность в начальный момент воздействия на них нагрузок от сооружений).

2. Испытание пород по схеме медленного сдвига после предварительного полного уплотнения (в условиях завершённой консолидации, при уплотняющих нагрузках, соизмеримых с весом сооружений). Сдвигающее усилие передается ступенями в возрастающем порядке до разрушения породы. Каждая новая ступень нагрузки прикладывается после завершения деформации от предыдущей. Результаты испытаний характеризуют прочность пород при гидростатическом состоянии. Эту схему часто называют стандартной.

3. Испытания пород в условиях свободного оттока воды в течение опыта (в условиях открытой системы). При этом обеспечивается полная консолидация породы от каждой ступени нагрузки, т.е. схема выполнима только при медленном сдвиге.

4. Испытание пород в условиях невозможности оттока воды (в условиях закрытой системы). В этом случае не вся внешняя нагрузка является эффективной, так как часть ее воспринимается поровой водой. Схема выполнима при быстром сдвиге (или при применении специальных приборов – стабилометров).

Таким образом, выбор схемы испытаний пород на сдвиг определяется конкретными условиями и целями исследований.

Наибольшая величина сопротивления пород сдвигу наблюдается при условиях, когда их влажность и прочность соответствуют действующей уплотняющей нагрузке и уплотнение достигает стабилизации (при гидростатическом равновесии).

Для оценки прочности песчаных и глинистых пород по сопротивлению сдвигу одним из основных является метод испытаний их в срезных приборах различной конструкции.

Аппаратура: прибор для испытаний пород на сдвиг, оборудование для определения влажности и средней плотности пород, часы.

Описание прибора

Одним из современных приборов, предназначенных для определения сопротивления сдвигу глинистых и песчаных пород без предварительного уплотнения и после уплотнения при медленном или быстром сдвиге, является прибор сдвиговой ВСВ-25 (рис.9.1).

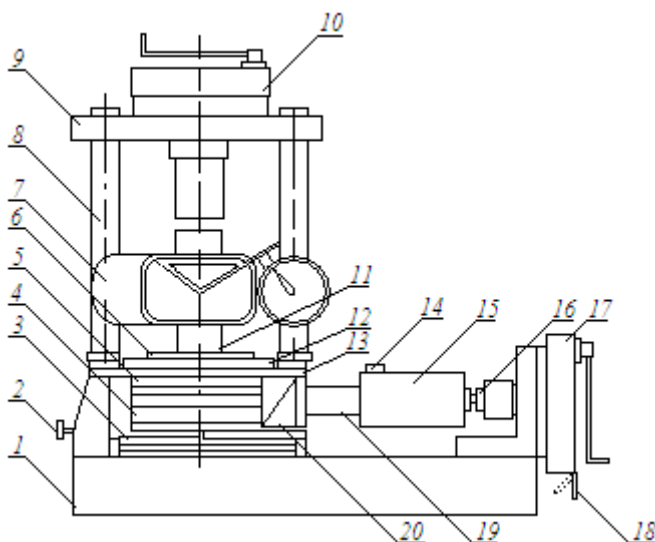


Рис. 9.1. Сдвиговой прибор ВСВ-25:

- 1 – основание; 2 – установочный винт; 3 – каретка; 4 – нижняя обойма;
 5 – срезыватель; 6 – верхняя обойма; 7 – динамометр; 8 – стойка; 9 – траверса;
 10 – редуктор; 11 – штамп; 12 – гайка; 13 – панель; 14 – тормоз; 15 – динамометр;
 16 – пиньоль редуктора; 17 – редуктор; 18 – защелка; 19 – упор; 20 - индикатор

На основании 1 установлены стойки 8 опорной рамы, в пределах которой располагается срезыватель 5; подвижная часть его входит в состав каретки 3, фиксируемой установочным винтом 2; два силовых редуктора 10 и 17 с динамометрами 7 и 15, создающими нормальное и горизонтальное сдвигающее усилия. В срезывателе прибора имеется цилиндрическая полость, в которую помещена верхняя неподвижная обойма 6 с верхним тонкостенным неподвижным срезным кольцом; нижняя подвижная обойма 4 с нижним срезным кольцом и перфорированным вкладышем, вставленным в гнездо с поддоном, закрепленным на плите каретки 3. Каретка при сдвиге перемещается относительно основания. Для уменьшения сопротив-

ления при сдвиге в канавках между плитой каретки и основания вложены шарики. Разъемные срезные кольца, в которых находится образец породы, имеют диаметр 7,14 см, т.е. площадь поперечного сечения испытуемого образца составляет 40 см². На верхнюю неподвижную обойму навинчивается гайка 12, которая служит для создания между обоймами 4 и 6 и соответственно между краями срезных колец необходимого зазора. Сверху на образец породы устанавливается штамп 11.

Уплотняющее усилие (вертикальная нагрузка) на образец создается вращением рукоятки редуктора 10, который неподвижно соединен с основанием прибора посредством траверсы 9, стоек 8 и панели 13. Измерение величины вертикальной нагрузки производится динамометром 7.

Сдвигающее усилие (горизонтальное) создается вращением рукоятки редуктора 17 и передается на каретку 3 через динамометр 15, измеряющий величину сдвигающего усилия.

При исследовании пород с различными физико-механическими свойствами требуются и различные сдвигающие усилия. Поэтому для более точного измерения сдвигающего усилия в комплект прибора входят два динамометра (ДОСМ-3-0,2 и ДОСМ-3-1), снабженные тормозом 14. При установке динамометра ДОСМ-3-1 между ним и упором 19 вставляется удлинитель.

Конструкция редукторов 10 и 17 одинакова. Для быстрого подвода и отвода пиноли 16 редуктора защелка 18 должна находиться в положении, показанном на рис. 9.1. При этом ход пиноли составляет 1 мм за 1 оборот рукоятки.

При приложении нагрузки защелку 18 необходимо поставить в положение, изображенное на рис. 9.1 штрих-пунктирной линией. В этом случае усилие, прикладываемое к рукоятке, уменьшается в 7,5 раза, а ход пиноли составляет 0,18 мм за 1 оборот рукоятки.

Для измерения деформации образца при медленном сдвиге устанавливается индикатор 20. При производстве быстрого сдвига (занимающего 20–40 секунд) индикатор на прибор не устанавливается.

Последовательность выполнения работы

1. Из монолита породы вырезают образец цилиндрической формы с размерами, совпадающими с размерами рабочей части сдви-

гающего прибора. Образец вырезается методом режущего кольца так же, как при определении плотности породы. Одновременно с вырезыванием образца берут пробу для определения влажности породы до опыта.

При испытании пород естественного сложения образцы необходимо располагать в прибор, ориентированный так же, как они залежали в естественных условиях. (Если породы имеют признаки анизотропии, их желательно испытывать по поверхностям ослабления и перпендикулярно к ним).

2. Образцы естественного сложения из песчаных пород вырезать часто не представляется возможным. В этом случае их готовят путем загрузки навески воздушно-сухого песка в прибор при плотности, соответствующей естественной или заданной.

Подготовка образцов глинистых пород нарушенного сложения производится так же, как и при испытании их на компрессию.

3. В смонтированный срезыватель 5 вставляют срезные кольца с образцом породы, покрытым с обоих торцов фильтровальной бумагой. На образец устанавливают штамп 11. Установочным винтом 2 фиксируют каретку 3.

4. Устанавливают динамометр 7 и вращением рукоятки редуктора 10 подводят пиноль к динамометру.

5. Устанавливают динамометр 15 и вращением рукоятки редуктора 17 подводят систему в рабочее положение.

6. Создают необходимый зазор (0,5–1 мм) между верхней и нижней обоймами вращением гайки 12 по часовой стрелке.

7. Вращением рукоятки редуктора 10 согласно рабочей таблице создают заданную уплотняющую нагрузку (давление) на образец. (Для каждого динамометра по их паспорту составляют рабочие таблицы, по которым определяются показания динамометров, соответствующие заданной нагрузке).

Определение сопротивления сдвигу песчаных и глинистых пород производят при трех уплотняющих нагрузках (например, при 0,05–0,1–0,2; 0,1–0,2–0,3; 0,1–0,2–0,4; 0,1–0,3–0,6 МПа). Для этого опыт на сдвиг повторяют три раза на отдельных образцах породы, вырезанных из одного и того же монолита.

По стандартной схеме испытаний при медленном сдвиге глинистую породу выдерживают под нагрузкой в течение не менее 15–

18 ч, а песчаную – не менее 0,5–1 ч для полной консолидации уплотнения; при быстром сдвиге – 10–15 мин.

8. Обеспечивают ход каретки 3 на 10–15 мм. Для этого необходимо вывернуть установочный винт 2.

9. При быстром сдвиге включают тормоз 14 динамометра 15 вращением винта тормоза по часовой стрелке до положения, когда стопор тормоза прижмется к ножке индикатора с силой, достаточной, чтобы препятствовать обратному движению ножки индикатора.

При медленном сдвиге тормоз 14 отключают вращением винта против часовой стрелки.

10. Вращением рукоятки редуктора 17 прикладывают сдвигающее усилие в случае медленного сдвига заданными ступенями (по 0,05 от нормальной уплотняющей нагрузки). Размеры каждой ступени нагрузки, а также величину полного сдвигающего усилия берут по рабочей таблице динамометра. Каждая ступень сдвигающей нагрузки выдерживается до затухания или стабилизации горизонтальной деформации образца породы. Стабилизация горизонтальной деформации считается достигнутой, если ее скорость не превышает 0,01 мм/мин. Наблюдения за деформациями породы производят через каждые 2–3 мин по индикатору 20 с точностью до 0,01 мм и записывают в специальный журнал.

Испытание при данной вертикальной нагрузке считается законченным, когда происходит непрерывный сдвиг породы или общая величина деформации превышает 4–5 мм.

11. Если в процессе сдвига изменится вертикальное давление, то вращением рукоятки редуктора 10 приводят его к заданной величине.

12. При испытании пород по схеме быстрого сдвига сдвигающее усилие прикладывают, плавно его увеличивая, вращением рукоятки редуктора 17. Сдвиг считается достигнутым, когда вращение рукоятки перестает вызывать увеличение сдвигающего усилия. Это максимальное горизонтальное усилие и характеризует сопротивление горной породы сдвигу при заданной нормальной нагрузке.

13. По окончании испытаний породы на сдвиг снимают вертикальную нагрузку и из породы в плоскости среза отбирают пробы для определения ее влажности.

14. Строят график зависимости сопротивления породы сдвигу τ от нормальной нагрузки σ . Устанавливают количественные пока-

затели прочности породы – сцепление C и коэффициент внутреннего трения $tg\varphi$.

Отрезок, отсекаемый полученной прямой на оси ординат, выражает величину сцепления, а тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс и есть коэффициент внутреннего трения.

15. Результаты правильно проведенных испытаний пород на сдвиг должны удовлетворять следующим условиям. При построении зависимости сдвигающих усилий от нормальной нагрузки все полученные точки должны лежать приблизительно на прямой (для неоднородной породы допускается отклонение точек от прямой, не превышающее 5 % от сдвигающего усилия); прямая не должна пересекать ось ординат ниже начала координат. Для песчаных пород эта прямая обычно проходит через начало координат.

16. Данные измерений и вычислений записывают в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Журнал определения сопротивления пород сдвигу

Образец № Условия опыта
 Описание образца Влажность породы до опыта
 Площадь сечения образца Влажность породы после опыта
 Диаметр образца Плотность породы до опыта
 Высота образца Дата

№	Верт. нагрузка, МПа	Сдвигающее усилие, МПа	Продолжит. сдвига, мин	Показания индикатора	Деформация образца, мм	Коэфф. внутреннего трения	Сцепление, МПа

Контрольные вопросы

1. Какие схемы применяются при изучении сопротивления песчаных и глинистых пород на сдвиг?
2. Приборы для исследования песчаных и глинистых пород. Устройство сдвигового прибора ВСВ-25.
3. Построение диаграмм сопротивления сдвигу глинистых и песчаных пород.
4. Какие показатели характеризуют прочность глинистых и песчаных пород?

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ ПЕСЧАНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Цель работы: определение условного сопротивления сдвигу песчаных и глинистых пород методом пенетрации.

Общие сведения

Пенетрацией называется метод определения сопротивления пород проникновению в них наконечников определенной формы и размеров под действием нагрузки (при условии, что глубина погружения наконечника не превышает его высоты).

Установлено, что различным состояниям песчаных и глинистых пород соответствуют определенные величины предельной прочности, довольно просто определяемые методом пенетрации. Поэтому он широко используется для сравнительной оценки состояния и прочности пород, для выявления ослабленных зон, горизонтов, прослоек пород в геологическом разрезе.

Для характеристики результатов исследований пород методом пенетрации П.А. Ребиндер предложил применять величину пластической прочности (условное предельное сопротивление сдвигу) $P_{пл}$, МПа, а В.Ф. Разоренов – величину предельного сопротивления пенетрации $R_{пн}$, МПа

$$P_{пл} = \frac{KP}{h^2}; \quad R_{пн} = \frac{P}{h^2},$$

где K – константа конического наконечника, зависящая от угла раствора конуса ($K = 0,959$ – для $\beta = 30^\circ$; $K = 0,416$ – для $\beta = 45^\circ$; $K = 0,214$ – для $\beta = 60^\circ$);

P – усилие пенетрации (вес наконечника вместе со штангой и грузом), Н;

h – глубина погружения конического наконечника под влиянием усилия P , м.

Для пенетрационных испытаний песчаных и глинистых пород рекомендуется пользоваться наконечником с углом раствора 30° .

Аппаратура: пенетромтр, оборудование для определения влажности и плотности пород, секундомер.

Последовательность выполнения работы

1. Из монолита породы естественного сложения и влажности или массы, приготовленной из породы нарушенного сложения, но определенной заданной влажности и плотности, вырезают образец режущим кольцом диаметром 7–10 см. Одновременно из монолита отбирают пробу для определения влажности породы.

2. Кольцо с образцом устанавливают на столик пенетромтра, конический наконечник подводят к поверхности образца и вдавливают в породу заданной нагрузкой. Нагрузку прикладывают ступенями, величину которых выбирают в зависимости от прочности породы: на слабые – по 0,1–0,2 Н, на породы средней плотности и прочности – по 1–5 Н, на плотные и прочные – по 5–10 Н.

Каждую ступень нагрузки прикладывают после прекращения погружения конуса или условного затухания погружения конуса (не более 0,1–0,2 мм за 30–60 с). Наблюдения за погружением конуса производят по индикатору.

3. Опыт повторяют 3–5 раз в различных точках образца. При каждом испытании прикладывают от 4 до 10 ступеней нагрузки. Общая глубина погружения конуса должна достигать 10–15 мм. После прекращения погружения (или условного затухания погружения) конуса от последующей ступени нагрузки определяют глубину погружения конуса и общую нагрузку – усилие пенетрации.

4. Вычисляют значения условного сопротивления сдвигу (пластической прочности) пород $P_{пл}$ и удельного сопротивления пенетрации $R_{пн}$. Данные измерений и вычислений записывают в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Описание образцаУгол раствора конуса.....

№	Влажность породы, %	Плотность кг/м ³	Глубина погружения конуса, м	Усиление пенетрации, Н	Условное сопротивление сдвигу, МПа	Удельное сопротивление пенетрации, МПа

Контрольные вопросы

1. Принцип измерения условного сопротивления сдвигу песчаных и глинистых пород методом пенетрации.
2. Какие характеристики получают в результате пенетрационных испытаний; как их рассчитать?

Лабораторная работа № 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: практическое ознакомление с методом определения контактной прочности горных пород.

Общие сведения

Значение контактной прочности позволяет оценить твердость породы. Определение контактной прочности наиболее часто производится методом вдавливания цилиндрического штампа с плоским основанием в естественную, не обработанную поверхность образца породы. Метод применим для горных пород, испытывающих при вдавливании штампа хрупкое разрушение, т. е. для подавляющего большинства крепких горных пород.

Для определения контактной прочности горных пород применяются цилиндрические штампы с плоским основанием двух видов: изготовленные из углеродистой стали с последующей закалкой и со сменным твердосплавным наконечником. Стальные штампы рекомендуется применять для пород с контактной прочностью до 15–16 МПа, выше этого значения – штампы со сменным твердосплавным наконечником.

При выборе размеров штампа необходимо стремиться к тому, чтобы диаметр рабочей части его не менее, чем в 3 раза превышал средний диаметр зерен породы.

Образцы породы для испытаний должны быть объемом не менее 150–200 см³ и иметь две приблизительно параллельные грани. Для предотвращения раскалывания образцов толщина их должна быть не менее 100–120 мм.

При проведении нескольких опытов на поверхности одного образца расстояние между соседними точками вдавливания штампа необходимо выбирать с таким расчетом, чтобы лунки соседних выколов не соприкасались между собой.

Аппаратура: штамп стальной или со сменным твердосплавным наконечником, пресс с предельной нагрузкой 2,5–5 т.

Последовательность определения

1. Устанавливают образец породы на плите пресса.
2. Закрепляют штамп в верхней плите пресса.
3. Производят нагружение образца в один прием со скоростью от 6 до 12 мм/мин (нагружение производят до появления лунки выкола, о чем свидетельствует резкое падение давления).
4. Регистрируют усилие пресса в момент появления лунки выкола.
5. Вычисляют величину контактной прочности по формуле

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^n F}{n S},$$

где P_k – контактная прочность, Па;

F – нагрузка в момент хрупкого разрушения (выкола лунки), Н;

S – площадь штампа, м²;

n – число опытов на одном образце породы.

6. Данные измерений и вычислений записывают в табл. 11.1.

Таблица 11.1

№ образца	№ опыта	Разрушающая нагрузка F , Н	Площадь штампа S , м ²	Контактная прочность P_k , Па

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность метода определения контактной прочности?
2. Каким требованиям должны удовлетворять образцы горных пород, предназначенные для определения контактной прочности?
3. Как по результатам опыта рассчитать контактную прочность?

Лабораторная работа № 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КРЕПОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: практическое ознакомление с определением динамического коэффициента крепости горных пород методом толчения.

Общие сведения

Коэффициентом крепости горных пород называется относительный показатель, приближенно характеризующий сопротивляемость различных пород разрушению при добыче. Крепость горных пород можно рассматривать как сопротивление разрушению вообще.

Коэффициент прочности той или иной породы характеризует крепость данной породы в отношении сопротивляемости бурению, взрыванию, резанию и т.д. По шкале проф. М.М. Протоdjяконова (старшего) все горные породы по крепости разделены на 10 категорий. При составлении шкалы М.М. Протоdjяконов принял за единицу крепости породы временное сопротивление одноосному сжатию образцов правильной формы, равное 10 МПа. Максимальное значение коэффициента крепости равно 20 для «в высшей степени крепких пород» (кварциты и базальты), а минимальное $f = 0,3$ имеют «пльвучие породы» (пльвунy, болотистый грунт, разжиженный лесс и другие разжиженные грунты). К крепким породам с $f = 10$ относятся граниты, очень крепкие песчаники и известняки, конгломераты, кварцевые рудные жилы. К мягким породам с $f = 1$ относятся плотная глина, мягкий каменный уголь, глинистый грунт.

По результатам испытания образцов горных пород на сжатие коэффициент крепости определяется по формуле

$$f = \frac{\sigma_{сжс}}{10},$$

где f – коэффициент крепости;

$\sigma_{сжс}$ – временное сопротивление одноосному сжатию образца правильной формы, МПа.

В настоящее время для расчета коэффициента крепости применяется уточненная формула Л.И. Барона

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{30} + \sqrt{\frac{\sigma_{сж}}{3}}$$

Величину коэффициента крепости можно определять различными способами: по сопротивляемости горной породы элементарной деформации, например, одноосному сжатию; по величине работы, затрачиваемой на дробление; по сопротивляемости бурению (или скорости бурения); порасходу взрывчатых веществ на отбойку и др.

Для определения динамического коэффициента крепости горных пород М.М. Протодяконов (младший) предложил метод толчения, основанный на пропорциональной зависимости работы, затрачиваемой на дробление пробы горной породы, от величины вновь образованной при этом поверхности.

Для проведения испытаний из пробы породы отбирают 5 навесок массой 40–60 г каждая, состоящих из кусочков размером 20–40 мм. Каждую навеску помещают в загрузочный стакан прибора ПОК (прибор для определения крепости) и разрушают ее путем многократного сбрасывания гири массой 2,4 кг с высоты 0,6 м. Число сбрасываний гири в зависимости от прочности породы принимается от 5 до 15. Прибор ПОК (рис. 12.1) состоит из загрузочного стакана, трубчатого копра и гири. В комплект прибора входит объёммер для замера высоты столбика мелкой фракции и набор сит с ячейками 10; 5; 2,5; 1 и 0,5 мм.

Все 5 навесок раздробленных в копре просеивают совместно на наборе сит. Фракция размером менее 0,5 мм, оставшаяся на поддоне набора сит, высыпается в стакан объёммера диаметром 23 мм.

Последовательность определения

1. Ручным молотком разбивают образец породы на кусочки размером 20–40 мм.
2. Отбирают из 5 навесок по 40–60 г каждая.
3. Измеряют начальную поверхность кусочков породы $S_{нач}, м^2$.
4. Засыпают навеску в стакан прибора ПОК.

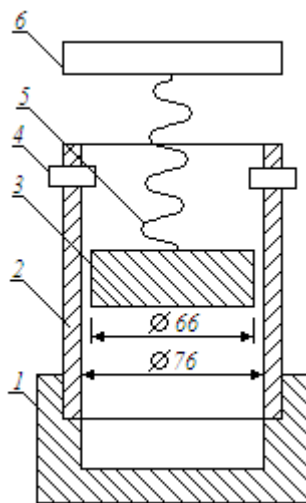


Рис. 12.1. Схема прибора ПОК

1 – загрузочный стакан копра; 2 – трубчатый копер; 3 – гири; 4 – ограничитель; 5 – трос; 6 – рукоятка

5. Вставляют гирию в стакан и производят в зависимости от крепости породы от 5–15 сбрасываний, поднимая гирию при помощи рукоятки (дробление каждой навески производят отдельно).

6. После толчения всех 5 навесок измельченную породу высыпают на набор сит и выполняют ситовой анализ (при необходимости получения только значения коэффициента крепости, измельченную породу высыпают на сито с отверстиями 0,5 мм).

7. Мелкую фракцию размером менее 0,5 мм засыпают в стакан объёмомера диаметром 23 мм.

8. Фиксируют высоту столбика мелкой фракции в объёмомере.

9. Вычисляют динамической коэффициент крепости породы по формуле

$$f_d = \frac{20n}{h},$$

где 20 – эмпирический числовой коэффициент, обеспечивающий получение общепринятых значений коэффициента крепости и учитывающий работу, затраченную на дробление породы;

n – число ударов гири по одной навеске;

h – высота столбика мелкой фракции в объёмомере после испытания пяти навесок, мм.

10. Вычисляют полезную работу, затраченную непосредственно на разрушение породы, по формуле

$$A = n \cdot m \cdot g \cdot H \cdot \eta,$$

где n – число ударов гири по одной навеске;

$m = 2,4$ кг – масса сбрасываемой гири;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – высота сбрасывания гири, м;

$\eta = 0,60 - 0,75$ – к.п.д. прибора ПОК.

11. По результатам ситового анализа вычисляются средние размеры частиц каждой фракции d_i и суммарная вновь образованная поверхность частиц в результате дробления. Средние размеры частиц данной фракции равны полусумме размеров ячеек соседних сит. Допуская, что частицы имеют правильную сферическую форму и по известной массе фракции m_i и плотности породы ρ вычисляют число частиц n_i данной фракции

$$n_i = \frac{6m_i}{\pi d_i^3 \rho}.$$

Суммарную поверхность всех частиц одной фракции вычисляют по формуле

$$S_i = n_i S_{\text{ч}} = \frac{6m_i}{\rho d_i},$$

где $S_{\text{ч}} = \pi \cdot d_i^2$ – поверхность одной сферической частицы, м².

Суммарная поверхность частиц всех фракций $S_{\text{кон}}$ будет

$$S_{\text{кон}} = \sum_{i=1}^n S_i \text{ м}^2.$$

Вновь образованная поверхность S в процессе разрушения горной породы составит

$$S = S_{\text{кон}} - S_{\text{нач}} \quad \text{м}^2.$$

12. Данные измерений и вычислений записывают в табл. 12.1.

Таблица 12.1

№	Число сбрасываемых гир на одну навеску, n	Высота столбика фракции < 0,5 мм в объемомере	Коэффициент крепости f_d	Полезная работа на дроблении породы A , Дж	Поверхность частиц породы, м^2	
					начальная $S_{\text{нач}}$	конечная $S_{\text{кон}}$

Контрольные вопросы

1. Что называется коэффициентом крепости горных пород?
2. Как определить коэффициент крепости горных пород по результатам испытаний образцов на сжатие?
3. Какое максимальное и минимальное значение может иметь коэффициент крепости горных пород по шкале М.М. Протодьяконова?
4. В чем заключается сущность определения динамического коэффициента крепости горных пород методом толчения?
5. Из каких элементов состоит прибор ПОК для определения крепости горных пород?
6. Как определяется работа, затраченная непосредственно на разрушение породы и вновь образованная при этом поверхность?

Лабораторная работа № 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБРАЗИВНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: определение абразивности горных пород и установление класса абразивности методами Л.И. Барона и А.В. Кузнецова.

Общие сведения

Абразивность – способность породы изнашивать при трении контактирующие с ней инструменты, поверхности горных машин или оборудования в процессе их работы. Износ инструмента происходит в результате разрушения его поверхности твердыми частицами породы.

Наиболее простым методом определения абразивности горных пород является метод, разработанный Л.И. Бароном и А.В. Кузнецовым. Сущность метода состоит в истирании о необработанную поверхность образца породы обоих торцов вращающегося эталонного стержня диаметром 8 мм и длиной 70 мм из незакаленной стали – серебрянки при постоянной частоте вращения $6,7 \text{ с}^{-1}$, осевой нагрузке 150 Н и времени истирания каждого торца стержня 600 с. За критерий абразивности принимается средняя потеря массы стержня в миллиграммах.

Стержни можно использовать повторно после обточки торцов, закруглившихся в процессе «сверления» породы.

Метод позволяет без дополнительных вычислений и расчетов получать данные, характеризующие относительную абразивность горных пород.

Согласно этому методу все горные породы по абразивности разделены на 8 классов (табл. 13.1)

Аппаратура: сверлильный станок настольного типа, аналитические весы.

Таблица 13.1

Номер класса абразивности	Характеристика пород по абразивности	Показатель абразивности, мг
I	Весьма малообразивные	Менее 5
II	Малообразивные	5–10
III	Ниже средней абразивности	10–18
IV	Среднеабразивные	18–30
V	Выше средней абразивности	30–45
VI	Повышенной абразивности	45–65
VII	Высокообразивные	65–90
VIII	В высшей степени абразивные	Более 90

Последовательность определения

1. Образец породы зажимают в тисках между деревянными прокладками таким образом, чтобы верхняя поверхность его занимала горизонтальное положение.

2. Взвешивают эталонный стержень на аналитических весах с точностью до 0,1 мг.

3. Зажимают в патроне шпинделя эталонный стержень, включают привод станка, опускают стержень на поверхность образца породы и «сверлят» в течение 600 с.

4. Отключают привод станка и переворачивают стержень в патроне, соблюдая при этом осторожность, так как стержень может нагреваться до 200–300 °С (эта температура соответствует появлению соломенно-желтого цвета побежалости).

5. Включают привод станка, опускают стержень на свежий участок поверхности образца, предварительно переместив тиски и «сверлят» в течение 600 с.

6. Вынимают стержень из патрона, тщательно промывают его в бензине и дают ему возможность высохнуть на воздухе в течение 600–900 с.

7. Взвешивают стержень на аналитических весах с точностью до 0,1 мг.

8. Вычисляют показатель абразивности породы по формуле

$$A = \frac{m_1 - m_2}{2},$$

где A – показатель абразивности, мг;

m_1 – масса стержня до опыта, мг;

m_2 – масса стержня после одного парного опыта, мг.

9. По табл. 13.1 устанавливают класс абразивности породы.

10. Результаты определений и вычислений записывают в табл. 13.2.

Таблица 13.2

№	Название породы	Масса стержня, мг		Потеря массы $m_1 - m_2$, мг	Абразив- ность A , мг	Класс абразив- ности
		до опыта m_1	после опыта m_2			

Контрольные вопросы

1. Что называется абразивностью горных пород?
2. В чем заключается сущность метода определения абразивности горной породы истиранием эталонного стержня?

Лабораторная работа № 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА РАЗРЫХЛЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: изучение методов определения угла естественного откоса, угла обрушения разрыхленных горных пород.

Общие сведения

Угол естественного откоса α – это угол между свободной поверхностью рыхлой горной породы и горизонтальной плоскостью.

Угол естественного откоса зависит от коэффициента трения, шероховатости и формы частиц породы, ее увлажнения, гранулометрического состава и плотности кусков породы, слагающих горную массу.

В лабораторных условиях угол естественного откоса определяется только для песчаных и гравелистых пород. При этом, чем больший объем породы подвергается испытанию, тем точнее получаются результаты.

Значение угла естественного откоса чистых песков примерно равно его углу внутреннего трения и, следовательно, по углу естественного откоса можно оценить сопротивление сдвигу песчаных пород.

Угол естественного откоса определяют для песка, находящегося в воздушно-сухом состоянии или помещенного в воду. Для этого используют приборы различной конструкции.

а) Определение с помощью полого цилиндра

Это наиболее простой способ определения угла естественного откоса. В цилиндр диаметром $d_{ц}$ и высотой $h_{ц}$ засыпают исследуемую породу и медленно его поднимают, после чего измеряют высоту образовавшегося конуса $h_{к}$ и его диаметр $d_{к}$.

Объем горной массы V как в форме цилиндра, так и в форме конуса остается одним и тем же

$$V = \frac{\pi \cdot d_{ц}^2}{4} \cdot h_{ц} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi \cdot d_{к}^2}{4} \cdot h_{к}.$$

Диаметр образовавшегося конуса зависит от его высоты

$$d_k = \frac{2 \cdot h_k}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Угол естественного откоса α можно вычислить по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \cdot h_k}{d_u} \cdot \sqrt{\frac{h_k}{3 \cdot h_u}}$$

Аппаратура: полый цилиндр (без дна), масштабная линейка, угломер.

Определение

Последовательность выполнения работы

1. На горизонтальную поверхность ставят цилиндр без дна.
2. Насыпают в цилиндр породу.
3. Медленно поднимают цилиндр с целью образования конуса высыпающейся породой.
4. Измеряют высоту и диаметр образовавшегося конуса.
5. Рассчитывают значение угла естественного откоса α .
6. Опыт выполняют три раза и определяют среднее арифметическое значение α . Все данные измерений и вычислений записывают в табл. 14.1.

Таблица 14.1

№	Результаты измерений				Результаты вычислений		
	$h_{ц}$, м	$d_{ц}$, м	h_k , м	d_k , м	$V_{ц} = V_k$, м ³	$\operatorname{tg} \alpha$	α °

б) Определение при помощи прибора с выпускным отверстием

Здесь используется способ образования свободной поверхности обрушением, при котором откос образуется в толще разрушенной горной массы в результате ее сдвижения (рис. 14.1). Вследствие уплотнения и слеживаемости разрушенных горных пород угол обрушения $\alpha_{обр}$ больше угла естественного откоса α , и только для

идеально сыпучих материалов, например, для сухого промышленного песка, $\alpha_{обр} \approx \alpha$.

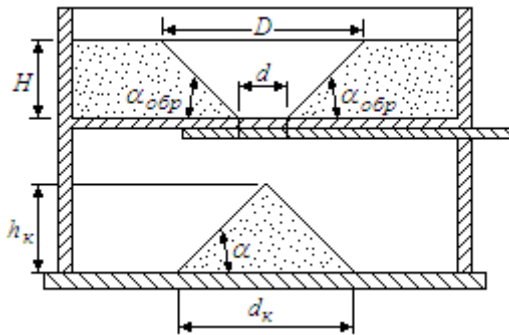


Рис. 14.1. Образование свободной поверхности в толще разрушенной горной массы при ее обрушении

Аппаратура: прибор для определения угла естественного откоса при обрушении, линейка, угломер, измерительная стойка.

Последовательность выполнения работы

1. Закрывают выпускное отверстие задвижкой и засыпают разрушенную породу в прибор до уровня H .
2. Осторожно вытягивают задвижку, открывая заданное выпускное отверстие диаметром d .
3. Измеряют верхний диаметр D образовавшейся воронки выпуска.
4. Измеряют высоту h_k и диаметр d_k образовавшегося конуса отсыпки. Высоту определяют при помощи измерительной стойки, а величину диаметра – посредством нанесенной надю прибора сетки.
5. Вычисляют угол естественного откоса при обрушении по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{обр} = \frac{2 \cdot H}{D - d}.$$

6. Рассчитывают угол естественного откоса в образовавшемся конусе

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \cdot h_{\kappa}}{d_{\kappa}}$$

7. Опыт выполняют при пяти различных уровнях H песка в приборе или пяти различных диаметрах выпускного отверстия d в задвижке. Полученные результаты записывают в табл. 14.2.

8. Устанавливают и анализируют зависимость угла естественного откоса при обрушении $\alpha_{обр}$ от высоты слоя породы H , а также величину угла естественного откоса α образовавшейся отсыпки от диаметра выпускного отверстия d .

Таблица 14.2

№	Результаты измерений					Результаты вычислений			
	H , м	D , м	d , м	h_{κ} , м	d_{κ} , м	$\operatorname{tg} \alpha_{обр}$	$\operatorname{tg} \alpha$	$\alpha_{обр}^{\circ}$	α°

в) Определение при помощи прибора с выдвижной перегородкой

Прибор представляет собой банку (из органического стекла) прямоугольной формы размером 10x20x30 см, разделенную выдвижной перегородкой на малое и большое отделения (рис. 14.2).

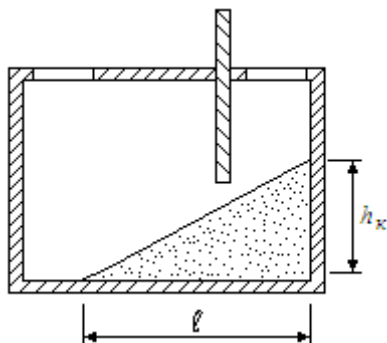


Рис. 14.2. Схема прибора

Аппаратура: прибор для определения угла естественного откоса, линейка, транспортер.

Последовательность выполнения работы

1. Прибор ставят на горизонтальную плоскость. Выдвижная перегородка при этом опущена до дна. В малое отделение прибора до верху насыпают исследуемый песок.

2. Постепенно, безтолчков, поднимают выдвижную перегородку.

3. После прекращения осыпания песка и наступления положения равновесия определяют угол естественного откоса при помощи транспортира или путем измерения высоты откоса h и длины заложения откоса l линейкой (с точностью до 1 мм) и вычисления тангенса угла α

$$tg\alpha = \frac{h}{l}.$$

Угол α определяют по таблице тангенсов (табл. 14.3).

Таблица 14.3

Величины тангенсов для определения угла естественного откоса

α°	$tg\alpha$	α°	$tg\alpha$	α°	$tg\alpha$	α°	$tg\alpha$
0	0,000	13	0,231	26	0,488	39	0,810
1	0,017	14	0,249	27	0,510	40	0,839
2	0,035	15	0,268	28	0,532	41	0,869
3	0,052	16	0,287	29	0,554	42	0,900
4	0,070	17	0,306	30	0,577	43	0,932
5	0,087	18	0,325	31	0,601	44	0,966
6	0,105	19	0,344	32	0,625	45	1,000
7	0,123	20	0,364	33	0,649	46	1,036
8	0,141	21	0,384	34	0,675	47	1,072
9	0,158	22	0,404	35	0,700	48	1,111
10	0,176	23	0,424	36	0,727	49	1,150
11	0,194	24	0,445	37	0,754	50	1,192
12	0,212	25	0,466	38	0,781		

4. Определение угла естественного откоса песка, находящегося под водой, отличается от предыдущего следующим. После того,

как в малое отделение прибора насыпают песок, в большое отделение заливают доверху воду. Поднимают выдвижную перегородку на несколько миллиметров, чтобы вода могла проникнуть в малое отделение. После полного насыщения песка водой поднимают выдвижную перегородку выше и определяют угол естественного откоса песка под водой так же, как песка, находящегося в воздушно-сухом состоянии.

5. Опыт повторяют не менее трех раз, после чего определяют среднее арифметическое значение угла естественного откоса. Данные опыта записывают в табл. 14.4.

Таблица 14.4

№	Высота откоса, м	Длина заложения откоса, м	Угол естественного откоса, град	
			в воздушно-сухом состоянии	под водой

Контрольные вопросы

1. Что называется углом естественного откоса, от чего он зависит?
2. Какими методами можно определить угол естественного откоса песчаных пород?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: практическое ознакомление с методами измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь горных пород.

Общие сведения

Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери характеризуют способность горных пород поглощать электромагнитную энергию и используются в расчетах процессов нагрева и разрушения пород в электромагнитном поле. Кроме того, они определяют характер распространения электромагнитных колебаний в горных породах, ряд задач, связанных с применением электрофизических методов в области горного дела и разведочной геофизики, требуют изучения диэлектрических свойств пород и т.д.

Диэлектрические свойства характеризуют поведение горной породы – диэлектрика в электрическом поле. Под воздействием электрического поля в породе происходят процессы поляризации, которые в свою очередь влияют на внешнее поле, изменяя его напряженность. Поляризация обусловлена смещением внутренних связанных зарядов породы в электрическом поле, которые создают в породе свое поле, направленное противоположно и ослабляющее его.

Различают несколько видов поляризации: электронную, ионную, дипольную и миграционную (объемную). Кроме того, в горных породах наблюдается также медленная электрохимическая поляризация, связанная с присутствием в них жидкой фазы.

Мерой поляризации горной породы служит величина **относительной диэлектрической проницаемости** ε , которая показывает, во сколько раз уменьшается напряженность электрического поля в породе по сравнению с вакуумом и которая зависит от числа поляризующихся в единице объема породы частиц n и от среднего коэффициента поляризации α_0 .

$$\varepsilon = \frac{\alpha_o \cdot \Pi}{\varepsilon_o} + 1,$$

где $\varepsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м – электрическая постоянная.

Понятие диэлектрической проницаемости имеет смысл только для высокоомных пород, поскольку в проводниках вместо взаимодействия зарядов будет происходить их перенос из точки с большим потенциалом в точку с меньшим потенциалом до момента их выравнивания. В этом случае напряженность поля $E = 0$ и, следовательно, диэлектрическая проницаемость стремится в бесконечности.

Горная порода, имеющая высокое электрическое сопротивление в переменном электрическом поле, характеризуется еще одним параметром – **углом диэлектрических потерь** δ . Угол δ можно представить как угол, дополняющий до 90° угол сдвига фаз между полным переменным током, проходящим через конденсатор, заполненный породой, и направлением между обкладками конденсатора. Полный ток в реальном диэлектрике является векторной суммой токов: емкостного (тока смещения) I_c , проводимости I_a и тока, обусловленного релаксационными видами поляризации I_r , который, в свою очередь, также состоит из емкостного I'_c и активного I'_a токов.

Отношение суммы активных составляющих полного тока к сумме его реактивных составляющих называется тангенсом угла диэлектрических потерь $tg\delta$

$$tg\delta = \frac{I_a + I'_a}{I_c + I'_c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot R_a},$$

где f – частота поля;

C и R_a – емкость и активное сопротивление породы.

Параметр $tg\delta$ характеризует ту часть электрической энергии, которая выделяется в горной породе в виде тепла при переменном напряжении.

Удельное количество тепла, выделяющееся в горной породе в электрическом поле напряженностью E , равно

$$q = 55,5 \cdot \varepsilon \cdot f \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot E^2 \cdot 10^{-12} \text{ Дж/м}^3.$$

Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь горных пород определяются различными методами в зависимости от частоты электрического поля, воздействующего на горную породу.

При низких частотах (до 10^3 Гц) наиболее удобна мостовая измерительная схема с параллельным включением емкости и сопротивления.

При измерении на более высоких частотах (10^3 – 10^8 Гц) становятся заметными погрешности, обусловленные краевым эффектом, выражающимся в нарушении однородности поля по краям образца породы, а также влиянием индуктивности и емкости подводящих проводов и сопротивления электродов. В этом случае используются резонансные методы измерения при помощи измерителей добротности, позволяющие отказаться от многочисленных паразитных связей между элементами мостовой измерительной схемы.

При определении диэлектрических свойств на сверхвысоких частотах (10^8 – 10^{10} Гц) существенной становится соизмеримость геометрических размеров элементов измерительной установки с длиной волны электрического поля (λ – несколько сантиметров). В этой связи становится непригодной измерительная аппаратура, выполненная на сопротивлениях, конденсаторах и катушках индуктивности. В этом случае используются длинные измерительные линии (волноводы) и объемные резонаторы.

Наибольшее распространение получили резонансные методы измерения диэлектрических свойств пород, которые соответствуют довольно большому диапазону частот (10^3 – 10^8 Гц), чаще всего используемых при воздействии электромагнитного поля на горные породы. При этом наиболее универсальными измерительными приборами являются куметры – измерители добротности (рис. 15.1).

Измеритель добротности состоит из: генератора, который может перестраиваться на работу при различной частоте; блока питания; резонансного контура, в который вводится катушка индуктивности L , рассчитанная на соответствующий диапазон частот, и измери-

тельный конденсатор переменной емкости C для настройки контура в резонанс. В контур включен вольтметр V , показывающий резонансное напряжение в контуре. Настройка контура в резонанс осуществляется путем подбора катушки индуктивности на соответствующий диапазон частот и изменения емкости переменного конденсатора контура. Резонанс определяется по максимальному отклонению стрелки вольтметра.

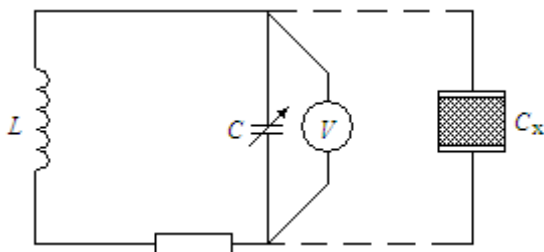


Рис. 15.1. Резонансный контур измерителя добротности – куметра

Добротностью Q называется отношение энергии, проходящей через образец породы, к энергии потерь на нагревание в этом образце. Добротность определяется величиной, обратной $tg\delta$.

Резонансные методы измерения ε и $tg\delta$ основаны на том, что резонанс в колебательном контуре при данной частоте устанавливается только при определенной емкости в контуре, когда измеряемый и переменный конденсаторы включены параллельно. Для получения резонанса в контуре емкость переменного конденсатора должна быть уменьшена на величину, равную емкости конденсатора с исследуемым образцом породы. Следовательно, емкость конденсатора с исследуемой породой равна

$$C_x = C_1 - C_2 ,$$

где C_1 – значение емкости переменного конденсатора при подключении исследуемого конденсатора без образца, Ф;

C_2 – значение емкости переменного конденсатора при подключении исследуемого конденсатора с образцом породы, Ф.

Диэлектрическая проницаемость исследуемой горной породы вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \frac{C_x \cdot h}{S \cdot \varepsilon_0},$$

где h – толщина образца (расстояние между обкладками конденсатора), м;

S – площадь поперечного сечения образца (площадь пластины конденсатора), м².

Величина $tg\delta$ для исследуемой породы вычисляется по формуле

$$tg\delta = \frac{C_1 \cdot (Q_1 - Q_2)}{(C_1 - C_2) \cdot Q_1 \cdot Q_2},$$

где Q_1 – величина добротности контура с конденсатором без образца;

Q_2 – величина добротности контура при подключении конденсатора с исследуемым образцом горной породы.

Аппаратура: измеритель добротности Е9-4; эталонные катушки индуктивности, соответствующие заданной частоте; конденсатор с исследуемым образцом породы; штангенциркуль.

Последовательность определения

1. Измеряют толщину и площадь поперечного сечения образца с точностью до 0,1 мм и размещают его между обкладками конденсатора.

2. Подключают прибор к сети. Время прогрева прибора 15 мин.

3. Устанавливают требуемый диапазон частот (15 Гц) и подключают соответствующую катушку индуктивности.

4. Шкалу измерительного конденсатора устанавливают на минимальную емкость – 25 пФ; шкалу подстроечного конденсатора – на ноль.

5. Переключатель ставят в положение «Уст. нуля».

6. Ручку «Уровень» переводят в крайнее левое положение.

7. Переключатель «Шкала Q » ставят в положение «200».

8. Ручками «Нуль Q » и «Нуль уровня» устанавливают нули соответствующих вольтметров.

9. Переключатель ставят в положение «Измерение».

10. Ручкой «Уровень» ставят стрелку вольтметра на красную риску и поддерживают ее в этом положении во время измерения.

11. Вращая ручку измерительного конденсатора «Емкость pF » и совмещенную с ней ручку построечного конденсатора « $\Delta C, pF$ », настраивают контур в резонанс по максимальному отклонению стрелки Q – вольтметра.

12. Конденсатор с образцом породы подключают к клеммам « C_x ».

13. Настраивают контур в резонанс по п. 11 и снимают показание емкости C_2 и добротности Q_2 .

14. Извлекают образец породы и подключают конденсатор к клеммам « C_x », причем расстояние между обкладками конденсатора должно строго соответствовать толщине исследуемого образца.

15. Настраивают контур в резонанс по п. 11 и снимают показания C_1 и Q_1 .

16. После испытания всех образцов прибор приводят в исходное положение и отключают от сети.

17. Вычисляют величины диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь по формулам.

Результаты измерений и вычислений записывают в табл. 15.1.

Таблица 15.1

№	Наименование породы	f_i МГц	S_i м ²	h_i м	C_1 Ф	C_2 Ф	Q_1	Q_2	ε	$tg\delta$

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлена электрическая поляризация горных пород? Виды поляризации.

2. Что является мерой поляризации горной породы?

3. Что характеризует собой тангенс угла диэлектрических потерь

Литература

1. Физика горных пород : учебник для вузов / Л. Я. Ерофеев [и др.] ; под ред. Л. Я. Ерофеева. – Томск : ТПУ, 2006. – 520 с.
2. Ржевский, В. В. Основы физики горных пород : учебник для вузов / В. В. Ржевский, Г. Я. Новик. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1984. – 369 с.
3. Алексеенко, С. Ф. Физика горных пород. Горное давление. Лабораторный практикум : учебное пособие / С. Ф. Алексеенко, В. П. Мележик. – Киев : Вища шк., 1990. – 183 с.
4. Ломтадзе, В. Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований : учебное пособие для вузов / В. Д. Ломтадзе. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Недра, 1990. – 328 с.
5. Турчанинов, И. А. Современные методы комплексного определения физических свойств горных пород / И. А. Турчанинов, Р. В. Медведев, В. И. Панин. – Л. : Недра, 1967. – 200 с.

Содержание

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1	
Определение влажности горных пород.....	4
Лабораторная работа № 2	
Определение плотности минеральной фазы горных пород.....	10
Лабораторная работа № 3	
Определение средней плотности горных пород.....	14
Лабораторная работа № 4	
Определение насыпной плотности рыхлых пород.....	20
Лабораторная работа № 5	
Определение пористости горных пород.....	22
Лабораторная работа № 6	
Определение гранулометрического состава песчаных и глинистых пород.....	28
Лабораторная работа № 7	
Графические способы изображения гранулометрического состава пород.....	42
Лабораторная работа № 8	
Определение прочности горных пород.....	48
Лабораторная работа № 9	
Определение сопротивления сдвигу песчаных и глинистых пород.....	57
Лабораторная работа № 10	
Определение условного сопротивления сдвигу песчаных и глинистых пород.....	65
Лабораторная работа № 11	
Определение контактной прочности горных пород.....	68
Лабораторная работа № 12	
Определение коэффициента крепости горных пород.....	70
Лабораторная работа № 13	
Определение абразивности горных пород.....	75
Лабораторная работа № 14	
Определение угла естественного откоса разрыхленных горных пород.....	78
Лабораторная работа № 15	
Определение диэлектрических свойств горных пород.....	84
Литература.....	90
	91

