

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Читинский политехнический институт

**ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД
И ПРОЦЕССОВ**

Чита 1993

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Читинский политехнический институт

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД И ПРОЦЕССОВ

Методические указания к лабораторным работам
для студентов очной и заочной форм обучения
специальностей: 0905 - "Технология и комплексная
механизация открытой разработки месторождений
полезных ископаемых"; 0902 - "Технология и
комплексная механизация подземной разработки
месторождений полезных ископаемых"

Чита 1998

Физика горных пород и процессов: Метод. указ.
Чита: ЧитПИ, 1990. 60 с.

Методические указания составлены в соответствии с учебной программой дисциплины "Физика горных пород и процессов" и состоят из 10 работ, посвященных определению основных физических параметров горных пород.

В ходе выполнения лабораторных работ студенты знакомятся с регистрирующей и контрольно-измерительной аппаратурой и приобретают навыки ведения исследовательской работы в области физики горных пород и процессов.

В приложении приведены усредненные результаты физических параметров горных пород, позволяющие студентам получить представление о их численном значении, и показан перевод основных внесистемных единиц в СИ.

Табл. 18

Ил. 7

Библиогр. 3 назв.

Методические указания разработаны к.т.н. Н.В.Зыковым, В.С.Абалаковым, С.Г.Позлутко.

Утверждены и рекомендованы к изданию решением методического совета института

Ответственный за выпуск к.т.н. М.В.Костромин

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование производства в горно-добывающих отраслях народного хозяйства неразрывно связано с широким применением новых физических и химических методов воздействия на горные породы при их добыче и переработке, что приведёт к расширению областей добычи полезных ископаемых, повышению мощностей и производительности горных предприятий, созданию и освоению передовых технологий, комплексной механизации и автоматизации горного производства, повышению качества продукции и работ.

Выполнение поставленных перед горно-добывающей промышленностью задач сопряжено с определенными трудностями, вызванными, с одной стороны, постоянным усложнением горно-геологических и горно-технологических условий разработки месторождений (рост глубины горных работ, вовлечение в эксплуатацию месторождений с неблагоприятными характеристиками и бедных по содержанию полезного компонента), а с другой, - повышением концентрации горного производства.

При добыче и переработке полезных ископаемых необходимо широко использовать не только механические, но и физические поля, что требует всесторонних исследований поведения горных пород в этих полях.

Новая горная технология не может быть создана без знаний физических свойств горных пород, так как в горно-рудной промышленности в основе производственных процессов лежит взаимодействие техники с горными породами.

Горные инженеры - специалисты по открытой и подземной добыче полезных ископаемых должны хорошо владеть вопросами техники и технологии, знать горные породы, как объект разработки, их физические свойства, а также физическую сущность процессов, происходящих в горных породах.

Методические указания составлены с целью ознакомления студентов с современными методами исследования горных пород и приобретения навыков в исследовательской работе по изучению физических свойств и процессов, происходящих в горных породах.

При написании методических указаний были использованы опубликованные работы академиков Н.В.Мельникова и В.В.Ржевского, профессоров Л.И.Барона, М.М.Протодяконова, Г.Я.Новика, В.Н.Кутузова,

А.М.Турчанинова, В.Г.Чаловского и др., а также результаты научных исследований, проведенных в ЧитПИ, в области плотностных, механических и геодинамических свойств горных пород.

Общий порядок выполнения лабораторных работ

Лабораторные работы выполняются в учебно-исследовательской лаборатории физики горных пород. Занятия проводятся под руководством преподавателя или ассистента. Группа или подгруппа студентов делится на отдельные бригады, состоящие из двух-трех человек.

При выдаче заданий предусматривается определение каждой бригадой нескольких физических параметров на образцах, изготовленных из одной горной породы. Это дает возможность студентам проанализировать полученные результаты и попытаться найти взаимосвязь между отдельными свойствами пород.

К выполнению работ допускаются студенты, которые ознакомились с основными правилами техники безопасности в лаборатории физики горных пород. Ниже приведены некоторые из основных правил, требующие неукоснительного соблюдения.

1. При изучении прочностных свойств горных пород на прессе испытания можно проводить только в присутствии преподавателя, ассистента или лаборанта кафедры.

2. При выполнении работы на приборе "УЗИС-ЛЭТИ" сборку электрической схемы необходимо производить при полном снятии напряжения (вилка отключена от сети). Включение напряжения осуществляется только после проверки схемы преподавателем или учебным мастером кафедры.

3. Все исходные данные и результаты измерений в процессе постановки опытов должны регистрироваться каждым студентом в специальной тетради. На основании этих данных определяются физические параметры горных пород и при необходимости строятся графические зависимости. Расчеты выполняются посредством электронно-вычислительных устройств.

В конце занятий студенты представляют отчеты о выполненной работе.

Выполнению лабораторной работы на прессе предшествует спе-

циальное ознакомление студентов с методами изготовления образцов горных пород на камнерезном станке.

Классификация физических свойств горных пород

Минеральный состав и строение, а также многофазность горных пород предопределяют различное их поведение при воздействии нагрузок, тепла, электрического поля, т.е. различие их физических свойств.

Под физическим свойством породы понимают её ответную реакцию при воздействии на неё определенного физического поля или среды. Численно каждое физическое свойство породы оценивается одним или несколькими параметрами (показателями, характеристиками), являющимися количественной мерой свойства.

Вся совокупность физических и горно-технических параметров пород, описывающих их поведение в процессах разработки, называют физико-техническими параметрами.

Физико-технические параметры подразделяют по виду соответствующих внешних воздействий, вызывающих ответную реакцию горных пород при их добыче и переработке.

В связи с этим выделяют механическое воздействие, например, давление и соответствующие ему механические свойства пород, тепловое, электрическое, магнитное и радиационное воздействия и такие же свойства пород. Кроме того, существует еще вещественное поле (флюиды - текущие жидкости) и соответствующие ему гидравлические и газодинамические свойства.

Учитывая важность некоторых перечисленных свойств, их разделяют на следующие группы: плотностные, механические, тепловые, электрические, магнитные, волновые, радиационные, горно-технологические.

Рассмотрим некоторые особенности каждой группы.

I группа: плотностные свойства горных пород подразделяются на гравитационные (удельные и объемные веса) и структурные (плотность, объемная масса, пористость).

Удельные и объемные веса породы - параметры силовые, поэтому применяются только в тех случаях, когда рассматриваются силы, вызванные действием гравитационного поля Земли (горное давление).

В случаях, когда оценивают количество вещества, используют плотность, объемную массу и общую пористость.

Плотностные показатели горных пород широко используются при решении различных горно-технических задач, в частности, при определении основных параметров буровзрывных работ и для расчета устойчивости отложений в толще пород.

2 группа: механические свойства характеризуются поведением пород при воздействии механических нагрузок и подразделяются на:

а) у п р у г и е, которые определяют поведение пород только в упругой зоне, где волновой процесс распространения упругих колебаний описывается акустическими свойствами пород;

б) п л а с т и ч е с к и е, проявляющиеся при нагрузках, превышающих предел упругости, после снятия которых порода уже не полностью восстанавливает исходную форму и размеры;

в) п р о ч н о с т н ы е, которые определяют величины разрушающих нагрузок в породах;

г) р е о л о г и ч е с к и е, оценивающие изменения деформаций, напряжений и перечисленных выше механических параметров пород во времени при длительных воздействиях нагрузок.

Механические показатели горных пород широко используются при расчетах практически всех основных технологических процессов подготовки, выемки, погрузки и перемещения полезного ископаемого и вскрышных пород и поэтому представляют наибольший практический интерес.

3 группа: тепловые свойства характеризуют условия теплопередачи в горных породах и их поведение в температурном поле.

Тепловые физические параметры используются при термическом разрушении горных пород, а также в горно-технологических методах добычи полезных ископаемых, связанных с использованием атомной энергии в горно-рудном деле.

4 группа: электромагнитные свойства характеризуют условия взаимодействия горных пород с электромагнитными полями.

Основные показатели электромагнитных свойств широко используются с целью получения информации о свойствах горных пород, а также при расчетах электродинамического разрушения горных пород.

5 группа: радиационные свойства горных пород используются для определения плотностных показателей горных пород, а также для создания безопасных условий добычи радиоактивных руд и их сортировки.

6 группа: гидравлические свойства характеризуют насыщение горных пород водой, всевозможные перемещения жидкостей в них и связанные с этим физические процессы, протекающие в породах. Гидравлические показатели горных пород используются при расчетах основных технологических процессов добычи полезного ископаемого гидромеханизированным способом и поэтому представляют большой практический интерес.

Ниже приведены краткие методические указания по выполнению лабораторных работ, охватывающих практически все основные свойства горных пород, необходимые для решения различных горнотехнологических задач.

ПЛОТНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Общие сведения

Важнейшими показателями плотностных свойств горных пород являются минералогическая плотность ρ_s , объемная масса ρ_v и пористость P . Эти показатели носят общий характер и дают первые представления о породах с точки зрения их разрушения, транспортирования, отвалообразования.

Плотность ρ_s - масса единицы объема твердой фазы минерала или породы (минерального скелета) - определяется по формуле

$$\rho_s = \frac{m_{ск}}{V_{ск}}, \quad (1)$$

где $m_{ск}$ - масса твердой фазы породы, г; $V_{ск}$ - объем твердой фазы, см^3 .

Горная порода представляет собой многофазную систему, состоящую из твердой, жидкой и газообразной фаз. Поэтому пользуются также понятиями объемной массы сухой породы $\rho_{ск}$ - масса единицы объема абсолютно сухой породы при данной пористости

$$\rho_{ск} = \frac{m_{ск}}{V_{ск} + V_p} \quad (2)$$

и объемной массы влажной породы ρ_v - масса единицы объема влажной породы при данной пористости

$$\rho_w = \frac{m_{ca} + m_a}{V_{ca} + V_n}, \quad (3)$$

где V_n - объем пор, см^3 ;

m_a - масса влаги, содержащейся в породе, г.

Пористость P представляет собой относительный объем пустот (пор), складывается из пористости кристаллических зерен и пористости, обусловленной межзерновым пространством

$$P = \frac{V_n}{V_z + V_{nz}} \cdot 100 = \frac{V_n}{V_o} \cdot 100, \% \quad (4)$$

где V_z - объем зерен в породе, см^3 ; V_{nz} - объем межзерновых пор, см^3 ; V_o - общий объем породы, см^3 .

Коэффициентом пористости K_n называется отношение объема пор к объему минерального скелета

$$K_n = \frac{V_o}{V_{ca}}, \quad (5)$$

Взаимная связь между пористостью, плотностью и объемной массой выражается зависимостями:

$$\rho = \rho_c (1 - P); \quad (6)$$

$$\rho_c = \rho (1 + K_n); \quad (7)$$

$$K_n = \frac{\rho_c - \rho}{\rho_c} \quad (8)$$

Для вычисления плотности, объемной массы и пористости необходимо определить массу данного образца горной породы и его объем. Для образцов скальных пород, имеющих неправильную форму, непосредственное определение объема невозможно, поэтому объем кусков горных пород определяется косвенным методом по объему вытесненной жидкости, который может быть определен с помощью пикнометра.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы. Определить плотность горных пород пикнометрическим методом.

Оборудование. Стекланный пикнометр емкостью 100 мл, технические или аналитические весы, сито с диаметром отверстий 1 мм, ступка фарфоровая с пестиком, воронка, шпатель.

Порядок выполнения работы

1. Образец горной породы высушить на воздухе до воздушно - сухого состояния, раздробить, растереть в фарфоровой ступке, просеять через сито с диаметром отверстий 1 мм.

2. Отобрать пробу массой около 20 г.

3. Взвесить пикнометр с точностью до 0,01 г (q).

4. Отобранную пробу перенести в пикнометр. Взвесить пикнометр с породой (q_1).

5. В пикнометр с породой налить кипяченой воды немного меньше половины объема и взбалтыванием удалить из породы воздух.

6. Долить пикнометр кипяченой водой до метки и снова взвесить пикнометр с породой и водой (q_2) (плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1,0 \text{ г/см}^3$).

7. Вылить содержимое пикнометра, тщательно промыть его, наполнить водой до метки и взвесить (q_3).

8. Плотность породы ρ вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{q_1 - q}{(q_3 - q) - (q_2 - q_1)} \cdot \rho_{\text{в}} \quad (1.1)$$

где q - масса пикнометра, г;

q_1 - масса пикнометра с породой, г;

q_2 - масса пикнометра с породой и водой, г;

q_3 - масса пикнометра с водой, г.

Определения производят с точностью до 0,01 г/см³.

9. Плотность породы определяют несколько раз и за расчетное

значения принимают среднее арифметическое.

Данные измерений заносят в таблицу

Результаты определения плотности горных пород пикнометрическим методом

П а р а м е т р ы	Ед. измер.	Кол-во измерений			Среднее значение	Примечание
		1	2	3		
Масса пустого пикнометра	г					
Масса пикнометра с породой	г					
Масса пикнометра с породой и водой	г					
Масса пикнометра с водой	г					
Плотность породы	г/см ³					

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДАМИ РЕЖУЩИХ КОЛЕЦ И ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ

Цель работы. Определить объемную массу горных пород.

Метод режущих колец

Оборудование. Режущие кольца объемом 100, 200 и 500 см³, технические весы с разновесами, пластины из органического стекла.

Метод режущих колец применяется для определения объемной массы связанных и рыхлых горных пород ненарушенной структуры и естественной влажности.

Объемную массу определяют кольцами объемом 100, 200 и 500 см³.

Предварительно следует взвесить пустое кольцо (q_1) и считать его объем по формуле

$$V_{q_1} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = V_{с\lambda} + V_{п}, \quad (2.1)$$

где D - диаметр кольца, см;

h - высота кольца, см;

π - 3,14;

$V_{ск}$ - объем твердой фазы (скелета) породы, $см^3$;
 V_n - объем пор, $см^3$.

Порядок выполнения работы

1. После отбора монолита и зачистки породы в кольцо поставьте его на заранее взвешенную пластину из оргстекла (масса пластинки q_2).

2. Взвесьте кольцо с породой и пластинкой с точностью до 0,01 г (q_3). Разность между массой кольца с породой и стеклом и массой пустого кольца со стеклом даст массу влажной породы

$$m_b = q_3 - (q_1 + q_2) \quad , \quad (2.2)$$

3. Объемную массу влажной породы ρ_w рассчитайте по формуле

$$\rho_w = \frac{m_{ск} + m_b}{V_{ск} + V_n} \quad , \quad (2.3)$$

4. Определите влажность породы (лабораторная работа № 9) и по формуле рассчитайте объемную массу скелета породы $\rho_{ск}$.

$$\rho_{ск} = \frac{\rho_w}{(1 + 0,01W)} \quad , \quad (2.4)$$

При недостатке времени значения влажности задаются преподавателем на основе предварительных опытов.

5. По результатам определений вычислите среднее арифметическое с точностью до 0,01 г/ $см^3$. Расхождение между параллельными определениями не должно превышать 0,03 г/ $см^3$.

Результаты измерений занесите в табл. I.

1. Результаты определения объёмной массы горных пород методом режущих колец

Номер опыта	Характеристика породы, образца	Номер кольца	Масса кольца q_1 , г	Масса пластинки из оргстекла q_2 , г	Масса кольца с породой и пластинкой q_3 , г	Объём образца (объём кольца) V_{q_1} , см ³	Объёмная масса вложенной породы ρ_v , г/см ³	Влажность W , %	Объёмная масса минерального скелета ρ_{sk} , г/см ³	Примечание
1										
2										
3										
СР.										

Метод гидростатического взвешивания (парафинирования)

Метод гидростатического взвешивания применяется для определения объёмной массы глинистых, скальных и полускальных горных пород на образцах любого размера и формы.

Оборудование. Технические весы с противовесом, котелок с парафином, сосуд с водой, фильтровальная бумага, иглы, нить шелковая или хлопчатобумажная.

Порядок выполнения работы

1. Отобрать образец исследуемой породы объёмом не менее 30 см³ и взвесить с точностью до 0,01 г (q).

2. Обвязать образец тонкой нитью, оставив свободный конец длиной 15+20 см, и на 1+2 с погрузить образец в расплавленный парафин. На образце формируется парафиновый слой толщиной 0,5+1 мм.

Температура парафина должна быть 50+60°C. Если в парафиновом слое встречаются пузырьки воздуха, их прокалывают нагретой иглой и заравнивают края отверстий.

3. Взвесить запарафинированный образец на воздухе (q_1).

4. Определить объём парафина

$$V_{\text{пар.}} = \frac{q_1 - q}{\rho_{\text{пар.}}} , \quad (2.5)$$

где $\rho_{\text{пар.}}$ - плотность парафина ($\rho_{\text{пар.}} = 0,87 \text{ г/см}^3$).

5. Взвесить образец в воде (q_2). Для взвешивания левая чашка технических весов заменяется гирькой с крючком (противовесом), на который подвешивается запарафинированный образец. Последний полностью погружают в сосуд с водой, который подставляется под коромысло весов.

6. Высушить образец фильтровальной бумагой, произвести контрольное взвешивание на воздухе (q'_1), чтобы установить, не проникла ли вода в образец.

Допускается увеличение массы образца не более чем на 0,2 г. Если увеличение массы больше, определение объёмной массы производится на другом образце.

7. Объём запарафинированного образца определяем по формуле

$$V_{\text{п.о.}} = \frac{q'_1 - q_2}{\rho_{\text{в.}}} , \quad (2.6)$$

где $\rho_{\text{в.}}$ - плотность воды.

8. Определить объём образца по формуле

$$V_o = V_{\text{п.о.}} - V_{\text{пар.}} , \quad (2.7)$$

9. Определить объёмную массу образца по формуле

$$\rho = \frac{q}{V_o} = \frac{q}{V_{\text{п.о.}} - V_{\text{пар.}}} = \frac{q}{(q'_1 - q_2)/\rho_{\text{в.}} - (q_1 - q)/\rho_{\text{пар.}}} , \quad (2.8)$$

где q - масса образца породы, г;

q_1 - масса запарафинированного образца на воздухе, г;

q_2 - масса запарафинированного образца в воде, г;

10. Данные измерений занести в табл.2.

2. Результаты определения объёмной массы горных пород методом гидростатического взвешивания

Параметры	Ед. измерения	Кол-во измерений			Среднее значение	Примечание
		1	2	3		
Масса образца q	г					
Масса образца, покрытого парафином q_1	г					
Масса образца, покрытого парафином в воде q_2	г					
Объём запарафинированного образца $V_{п.о}$	см ³					
Объём парафина $V_{пар}$	см ³					
Объём образца V_0	см ³					
Объёмная масса образца ρ	г/см ³					

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОРИСТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы. Уяснить физическую сущность одного из параметров горных пород — пористость, а также определить пористость и коэффициент пористости исследуемого образца породы методом насыщения.

Оборудование: стаканчик объёмом 50 см³, воронка, бикретка, линейка.

Существует несколько способов определения пористости горных пород:

1. Расчётным путём

Зная объёмную массу ρ и плотность ρ_0 породы, можно определить коэффициент пористости K_n , используя формулу

$$K_n = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} \quad (3.1)$$

2. Определение пористости песков методом насыщения

Порядок выполнения работы

1. Сухой чистый стаканчик (объёмом 50 см³ для песков рыхлого сложения и 250 см³ для песков плотного сложения) наполнить исследуемым песком. Наполнение производить небольшими порциями с утрямбовкой или через воронку, в зависимости от того, при плотном или рыхлом сложении требуется определить пористость песка. После наполнения подровнять поверхность песка линейкой вровень с краями стаканчика.

2. При помощи бикретки насытить песок в стаканчике водой до появления тонкого слоя воды на поверхности песка. Количество воды, израсходованной на насыщение песка, будет соответствовать объёму его пор V_n .

3. Удалить песок из стаканчика и при помощи той же бикретки измерить объём пустого стаканчика, заполнив его водой, что будет соответствовать объёму всей породы V_0 .

4. Рассчитать пористость по формуле

$$\rho = \frac{V_n}{V_o} \cdot 100, \% \quad (3.2)$$

5. Определить коэффициент пористости, используя формулу

$$K_n = \frac{V_n}{V_o - V_n} = \frac{V_n}{V_{ск}} \quad (3.3)$$

6. Эксперименты выполнить не менее трёх раз.

7. Результаты измерений занести в таблицу.

Результаты определения пористости и коэффициента пористости горных пород методом насыщения

Параметры	Ед. измерений	Кол-во экспериментов			Среднее значение	Примечание
		1	2	3		
Объём пор, V_n (кол-во воды, израсходованной на насыщение песка)	см ³					
Объём всей породы, V_o (кол-во воды в пустой стаканчике)	см ³					
Пористость породы, ρ	%					
Коэффициент пористости K_n	д.ед.					

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Общие положения

Прочностные свойства - это структурно-чувствительные свойства. Они зависят от строения горной породы и связи её частиц.

Прочность кристаллов определяется внутримолекулярными силами взаимодействия, строением кристаллической решетки и наличием тех или иных её дефектов. В сложных кристаллических соединениях, какими являются горные породы, прочность зависит от молекулярных сил. Связность пород обусловлена силами взаимного сцепления непосредственно соприкасающихся между собой кристаллов. Молекулярные силы сцепления в горных породах тем меньше, чем крупнее зернистость породы. Таким образом, на прочность пород в большей степени влияет их макростроение.

Разрушение горных пород можно представить следующим образом. В каждой породе имеется некоторое количество микротрещин, при нагрузке породы в вершинах трещин создаются микроконцентрации напряжений ϵ . В тот момент, когда ϵ превысят предел прочности, в данной точке происходит микросдвиг, напряжение мгновенно снижается и перераспределяется на другие точки, в которых, в свою очередь, возникают микросдвиги. Нарастание этого процесса приводит к разрушению породы. Так как в горных породах прочность сцепления между зёрнами ниже прочности самих зёрен, линия разрыва от разрушающих нагрузок происходит между кристаллами. Прочность пород зависит от пористости, зернистости, трещиноватости и от качества цемента, скрепляющего зёрна. Прочность пород определяется величиной напряжений, при которых происходит их разрушение. Различают пределы прочности на сжатие $\sigma_{см}$, растяжение $\sigma_{рст}$, сдвиг $\sigma_{сдв}$, изгиб $\sigma_{изг}$ и т.д. При воздействии на твердое тело одноосных нагрузок соответствующие им пределы прочности полностью характеризуют способность тела выдерживать нагрузки.

Упругие свойства горных пород характеризуются модулем упругости E (модуль Юнга) при одноосном напряженном состоянии, модулем сдвига G и коэффициентом поперечных деформаций μ (коэффициент Пуассона). Модуль упругости для большинства твердых тел равен $10^9 \dots 5 \cdot 10^{11}$ Па, причем для металлов он больше, чем для пород. Минеральный состав оказывает наибольшее влияние на упругие свойства для малопористых пород.

Акустические свойства горных пород достаточно полно характеризуются скоростью распространения упругих волн V , удельным волновым сопротивлением Z . Наибольший практический интерес при исследованиях акустических свойств горных пород представляют продольные, поперечные и поверхностные волны.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД
МЕТОДОМ ТОЛЧЕНИЯ

Цель работы. Определить динамическую прочность F_d горных пород, широко применяемую при исследовании процессов разрушения, дробления, измельчения, бурения, транспортирования, резания, вскрытия, драгирования и экскавации.

Теоретическая часть

Динамическая прочность горных пород характеризует дробимость (разрушаемость), под которой понимается удельный расход энергии на динамическое дробление единицы объема породы. Данный показатель является обобщающим параметром многих механических свойств породы, в том числе упругих, прочностных и пластических. Поскольку динамическая прочность фактически выражает энергоемкость процесса дробления породы при динамических нагрузках, то этот показатель лучше всего коррелирует с динамическими параметрами пород, чем, например, предел прочности на сжатие.

Применяемые в настоящее время лабораторные методы определения энергоемкости разрушения могут быть разделены по способу приложения нагрузки на следующие группы (по Л.И.Барону):

- 1) сбрасывание определенного количества испытуемого материала с заданной высоты - методы сбрасывания;
- 2) размола определенной навески испытуемой породы в барабанах и мельницах с заданным числом оборотов - методы размола;
- 3) дробление породы постоянным грузом, падающим с определенной высоты - методом падающего груза (метод толчения);
- 4) раздавливание навески породы в замкнутом объеме - методы раздавливания в замкнутом объеме.

В настоящей работе принят метод толчения, разработанный М.М.Протоdjаковым.

Оборудование и материалы

I. Образцы горных пород.

2. Весы аналитические или технические и разновесы.
3. Трубный копер.
4. Объёмометр.
5. Сито с сеткой 0,5 мм.

Краткое описание оборудования

Трубный копер предназначен для размельчения испытуемых горных пород и состоит из стакана, в который закладываются куски породы, трубы и гири массой 2,4 кг с крюком, к которому прикрепляется ремень для подъёма и сбрасывания гири (рис. I, а).

Объёмометр предназначен для замера объёма просеянной сквозь сито породы; состоит из корпуса и поршня с делениями 0 150 мм (цена деления 1 мм) (рис. I, б).

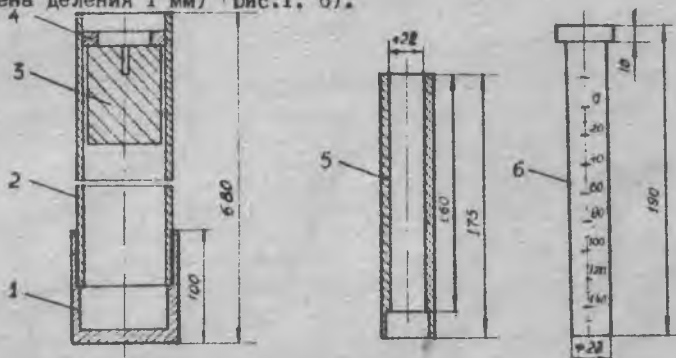


Рис. I. Схема прибора для определения динамической прочности горных пород:

а) трубный копер; б) объёмометр;

1 - стакан; 2 - труба; 3 - груз; 4 - упор; 5 - трубка;

6 - поршень

Порядок выполнения работы

Метод определения динамической прочности сводится к следующему:

1. Исследуемый образец горной породы разбить на куски и отобрать из них с размерами 1,5 ... 2,0 см в поперечнике, для чего использовать шаблон.

2. Из кусков набрать 5 проб объемом 15... 20 см³ каждая (можно использовать весы и определить ориентировочный объем через объемный вес породы).

3. Положить пробу в стакан и собрать трубный копер.

4. Растолочь пробу десятикратным сбрасыванием гири.

5. Толченую породу пробы сыпать в сито и просеять.

6. Материал, прошедший через сито (минус 0,5 мм), высыпать в цилиндр объемметра.

7. Уплотнить сыпанную в цилиндр объемметра породу путем постукивания цилиндра о стол.

8. Опустить поршень объемметра в цилиндр.

9. Сделать отсчет в мм по шкале на поршне объемметра.

10. Динамическая прочность исследуемой породы определяется по формуле

$$F_g = 20,9 \cdot n/h$$

где n - число сбрасывания гири (10);

h - высота столбика раздробленной породы, мм;

Испытания повторить для каждой пробы.

Результаты испытаний заносят в табл. I.

I. Результаты определения динамической прочности горных пород методом толчения

Горная порода	Параметры	Ед. изм.	Кол-во проб					Среднее значение	Примечание
			1	2	3	4	5		
	Объем пробы V_i	см ³							
	Число сбрасывания гири n	-							
	Высота столбика породы h	мм							
	Категория породы и степень прочности по табл. 2.								
	Динамическая прочность породы F_g								

2. Категория пород по динамической прочности

Категория	Показатель динамической прочности	Степень динамической прочности	Наименование горных пород
I	8,0 и менее	Мало прочные	Мрамор, песчаник, медно-цинковый к.-олчедан, диорит, кварцевый порфирит, гранит, габбро, доломит, сланец, хлоритокремнистый
2	8+16	Умеренно прочные	Роговик, сиенит, скарнированный, кварцевый диорит, эпидозит, кварцит магнетитовый, песчаник кварцево-биотитовый, амфиболит, руда сульфидно-магнетитовая
3	16+24	Средне прочные	Альбитофир ороговикованный, сиенито-диорит туфальбитофира, роговик кварцево-биотитовый
4	24+32	Прочные	Пироксено-плагиоклазовая порода, диабазовый порфирит, адамелит-порфир с актинолитом, порфирит
5	32+40	Очень прочные	Габбро-диорит, порфирит ороговикованный
6	40 и более	Весьма прочные	Диабаз ороговикованный, порфирит эпидотизированный

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

Цель работы. Провести испытание образца горной породы на сжатие на прессе для определения нагрузки на образец, при которой происходит её разрушение; рассчитать предел прочности породы на сжатие.

Теоретическая часть

Механической прочностью твердых горных пород называют их

способность сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих при нагрузке.

Различают механическую прочность на сжатие, растяжение, изгиб, срез и удар. Для инженерно-геологических целей наибольший практический интерес представляет испытание твердых пород на сжатие.

Прочность пород на сжатие характеризуют пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ или временным сопротивлением сжатию, под которым понимают величину напряжения, вызывающего разрушение образца при одноосном сжатии.

Предел прочности на сжатие определяется по формуле

$$\sigma_{сж} = P / S_n,$$

где P — нагрузка, при которой происходит разрушение образца испытываемой породы, H ;

S_n — площадь первоначального поперечного сечения образца, m^2 .

Сопротивление породы сжатию зависит от её минерального состава, текстуры, структуры, характера цемента и др. Наибольшей прочностью характеризуются равнозернистые и мелкозернистые кристаллические породы — базальты, кварциты и др.

Различают пределы прочности при сжатии образцов:

- а) в воздушно-сухом состоянии; б) в водонасыщенном состоянии;
- в) при естественной влажности.

Предел прочности горной породы определяют путем раздавливания образцов правильной геометрической формы под прессом.

Оборудование. Гидравлический пресс, шлифовальный и камнерезный станки, технические весы с разновесами, металлический угольник, штангенциркуль, стеклянные банки для насыщения.

— Подготовка образца —

1. Подготовить образцы испытываемой породы в форме кубиков или цилиндров и отшлифовать по две параллельные плоскости (грани кубика или основания цилиндра). Шлифовка должна быть выполнена тщательно.

2. Образцы, предназначенные для испытания в воздушно-сухом состоянии, высушить на воздухе до постоянной массы.

3. Образцы, предназначенные для испытания в водонасыщенном состоянии, увлажнить и взвесить. Для этого поместить их на дно сосуда и залить дистиллированной водой приблизительно на $1/3$ высоты. Через 8 часов поднять уровень воды на 5 ... 10 мм выше образцов. Насыщение водой производить до постоянной массы, периодически взвешивая образцы (один-два раза в сутки).

4. Образцы с естественной влажностью испытывать непосредственно после их изготовления.

5. Взвешивание образцов производить на технических весах с точностью до 0,1 г.

6. Образцы, приготовленные для испытания, тщательно осмотреть и описать в таблице их морфологические особенности (слоистость, трещиноватость, включения и т.п.).

7. Проверить размеры образцов, вычислить площадь поперечного сечения каждого образца и записать в соответствующую графу таблицы.

Проведение испытаний

1. Испытания проводят на прессе с пределом нагружения не менее 50 т. Между образцом и плитами пресса помещают каленные стальные прокладки.

2. Образец устанавливают в центре между плитами пресса. Для того, чтобы нагрузка прикладывалась строго по оси образца, между ним и одной из плит пресса помещают шариковое центрирующее устройство.

3. Скорость нагружения должна находиться в пределах $4,9 \cdot 10^6$... $9,8 \cdot 10^6$ Па·с. Нагрузку повышают вплоть до разрушения образца с фиксацией максимального её значения (P), т.е. в момент разрушения.

4. Рассчитать величину предела прочности породы при одноосном сжатии по формуле

$$\sigma_{сж} = P/S_n, \text{ кгс/см}^2 \text{ или } \sigma_{сж} = 9,81 \cdot 10^{-4} P/S_n, \text{ Па; (Б.1)}$$

где P - разрушающая нагрузка (усилие), Н ;
 S_n - площадь поперечного сечения образца, м².

5. В случае, если отношение высоты образца к его диаметру отличается от единицы, расчет величины прочности породы при одноосном сжатии рекомендуется производить по формуле

$$\sigma_{сж} = 9P/[S_n(7 + 2d/h)] \quad (5.2)$$

где d и h - диаметр и высота образца, м.

6. Вычислить угол сдвига φ по формуле, замерив углы наклона поверхности скалывания α

$$\alpha = 45^\circ - \varphi/2 \quad (5.3)$$

откуда

$$\varphi = 90^\circ - 2\alpha \quad (5.4)$$

7. Испытания изучаемой породы выполнить не менее трех раз.

8. Результаты испытаний занести в таблицу.

Результаты определения предела прочности
горных пород при одноосном сжатии

Горная порода	Параметры	Ед. измер.	Кол-во образцов			Среднее значение	Примечание
			1	2	3		
	Размер образца:						
	- высота h	м					
	- диаметр d	м					
	Площадь поперечного сечения S_n	м ²					
	Разрушающая нагрузка P	Н					
	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$	Па					
	Угол скалывания α	град.					
	Угол сдвига φ	град.					

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ И УПРУГИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УСТАНОВКЕ "УЗИС-ЛЭТИ"

Цель работы. Определить скорости распространения продольных и поперечных волн через образец горной породы; уяснить процесс распространения упругих колебаний, используя закономерности и формулы связи между акустическими и упругими характеристиками; определить модуль Юнга, модуль сдвига и коэффициент Пуассона исследуемой породы.

Теоретическая часть

Упругие колебания – это процесс распространения в породе знакопеременных упругих деформаций её частичек.

При прохождении упругих колебаний через массив горных пород могут возникнуть 3 типа волн:

1. **Продольные**, которые обусловлены деформациями попеременного объёмного сжатия и растяжения и могут распространяться в любой среде.

2. **Поперечные**, обусловленные распространением переменных деформаций сдвига в среде и присущие только твердым телам, так как в жидкостях и газах отсутствует сопротивление сдвигу.

3. **Поверхностные** (релеевские), при прохождении которых частица испытывает двойное колебание (вдоль и поперек волны), условия для возникновения которого имеются только на поверхности твердых тел.

Характер распространения упругих колебаний в горных породах определяется акустическими характеристиками пород. К ним относятся скорости распространения различных типов волн, коэффициенты поглощения и волновые сопротивления. Породы характеризуются также различными коэффициентами отражения и преломления упругих волн.

Согласно теории упругости продольные волны распространяются в неорганической абсолютно упругой изотропной среде со скоростью $V_{пр}$, равной

$$V_{пр} = \sqrt{\frac{E}{\rho_0} \cdot \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}} \quad (6.1)$$

$$G = 2 \frac{E}{L(1+\mu)}$$

поперечные волны со скоростью

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\mu)}} \quad (6.2)$$

релеевские волны со скоростью

$$v_L = \frac{0,87 + 1,12\mu}{1-\mu} \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (6.3)$$

где G - модуль сдвига, г/см²;
 E - модуль Юнга, г/см²;
 ρ - плотность горных пород, г/см³;
 μ - коэффициент Пуассона.

Эти соотношения показывают максимальную скорость распространения упругих колебаний в породах.

Связь между скоростями продольных и поперечных волн определяется формулой

$$\frac{v_{np}}{v_s} = \sqrt{2 \left(\frac{1-\mu}{1-2\mu} \right)} \quad (6.4)$$

Таким образом, измерив скорости прохождения продольных и поперечных волн, можно определить величины E ; G ; μ

Назначение, устройство и принцип работы ультразвуковой установки "УЗИС-ЛЭТИ"

1. Установка "УЗИС-ЛЭТИ" предназначена для измерения в лабораторных условиях скорости распространения продольных и поперечных ультразвуковых колебаний в образцах твердых тел.

2. Блок-схема прибора приведена на рис.1.

3. Размер образцов исследуемой горной породы: высота не менее 12 мм, длина и ширина не менее 15 мм.

Прибор "УЗИС-ЛЭТИ" состоит из:

1) измерительной линии (ИЛ), представляющей собой две пары ультразвуковых датчиков, укрепленных на металлических штативах, в которые закладывается испытуемый образец. Одна из пар датчиков возбуждает и принимает продольные колебания, другая - поперечные.

- 2) эталонной линии, представляющей собой ванну с подвижно укрепленными ультразвуковым датчиком и приемником, которые заполняются эталонной жидкостью;
- 3) электронного устройства, формирующего короткий импульс напряжения для возбуждения кварцевых пластин измерительной и эталонной линий с синхронным осциллографом, позволяющим сравнить малые промежутки времени прохождения ультразвука в образце и эталонной жидкости.

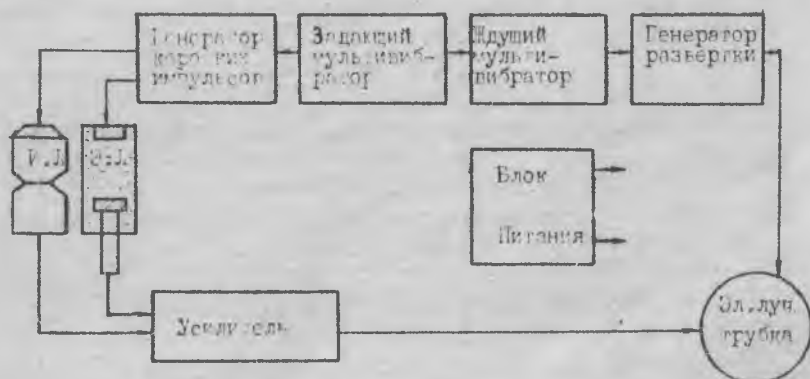


Рис. I. Блок-схема прибора "УЗИС-ЛЭТИ"

Измерение скоростей распространения ультразвуковых колебаний в образцах твердых тел основано на сравнении времени распространения ультразвука в образце и в эталонной жидкости, для которой известна скорость распространения ультразвука $c_{ж}$.

Задающий мультивибратор генерирует прямоугольные импульсы переменной длительности. Передним фронтом импульса запускается генератор коротких импульсов, возбуждающий одновременно пьезопластины эталонной и измерительной линий. Задним фронтом прямоугольного импульса запускается идущий мультивибратор, формирующий отрицательный прямоугольный импульс, длительность которого

определяется временем развертки луча по экрану электронно-лучевой трубки. Положение во времени отрицательного импульса мультипликатора по отношению к импульсу генератора коротких импульсов определяется длительностью импульса, задающего мультипликатора и регулируется ручкой "Задержка". Это устройство позволяет оператору просматривать импульсы с линией задержки (ЭЛ) и (ИЛ) в различные отрезки времени от момента запуска генератора коротких импульсов и с наибольшим удобством производить отсчет по экрану прибора.

Импульсы ультразвуковых колебаний, преобразованные приёмными пьезопластинами в электрические колебания, подаются на усилитель прибора и наблюдаются на электронно-лучевой трубке. Вращением микрометрического винта эталонной линии оператор может менять расстояние между пластинами и, следовательно, время прохождения ультразвукового импульса через эталонную линию. При измерениях совмещая, вращая микрометрический винт, изображения импульсов на экране приборов, то есть делают время прохождения ультразвука через эталонную и измерительную линии одинаковым.

Таких отсчетов делается два: первый без образца в измерительной линии, второй с образцом. Разница времени прохождения ультразвука в измерительной линии без образца и с образцом определяется по длине столба жидкости, в котором время прохождения ультразвука соответствует времени прохождения в образце. Следовательно, зная длину образца l , скорость распространения ультразвука в эталонной жидкости $V_{\text{эт}}$ и длину столба эталонной жидкости $L_{\text{эт}}$, в котором время прохождения ультразвука соответствует времени прохождения ультразвука через образец, скорость ультразвуковых колебаний определяется из формулы

$$V_0 = l \cdot V_{\text{эт}} / L_{\text{эт}} \quad (6.5)$$

Последовательность выполнения работы

1. Измерить образец горной породы с точностью до 0,1 мм и вычислить его объём V_0 по формуле

$$V_0 = a \cdot b \cdot c, \quad (6.6)$$

где a, b, c — геометрические размеры образца, см.

Образец взвешивается на аналитических весах с точностью до 0,1 г.
Вычислить объёмную массу ρ образца по формуле

$$\rho = m_0 / V_0, \quad (6.7)$$

где m_0 - масса образца, г;

V_0 - объём образца, см³;

Плотность образца породы ρ_0 определяется по формуле

$$\rho_0 = \rho(1 + K_n) = \rho(1 + V_n / V_{ск}), \quad (6.8)$$

где K_n - коэффициент пористости;

V_n - объём пор исследуемого образца, см³;

$V_{ск}$ - объём минерального скелета, см³;

Примечание. Если образец неправильной геометрической формы, то объёмная масса определяется методом гидростатического взвешивания.

2. Произвести подготовку к включению прибора

2.1. В измерительную линию вставляются датчики продольных или поперечных колебаний.

2.2. Соединительными кабелями соединить:

- клемму "Излучатель -I" на осциллографе с верхним датчиком на измерительной линии;

- клемму "Приёмник-I" на осциллографе с нижним датчиком на измерительной линии;

- клемму "Излучатель II" на эталонной линии с клеммой "Излучатель II" на осциллографе;

- клемму "Приёмник II" на эталонной линии с клеммой "Приёмник II" на осциллографе.

2.3. Ручки управления на передней панели прибора установить в следующие положения:

- "Сеть" - выключено - положение тумблера нижнее.

- "Генератор" - выключено - положение тумблера нижнее.

- "Яркость" - ручка управления повернута в крайнее левое положение.

- "Фокус" - среднее положение.

- "Короткая - длинная", - "длинная" - положение тумблера верхнее.
- "Диапазон" - I,67
- "Усиление общее" - крайнее левое положение.
- "Усиление I" - среднее положение.
- "Задержка" - крайнее левое положение.

На эталонной линии

- "Вкл." - включено
- "Усиление II" - среднее

3. Произвести включение прибора

3.1. Выключатель "Сеть" ставится в положение "Вкл.", при этом должна загореться сигнальная лампочка.

3.2. Через 2 мин., вращая ручку "Яркость" по часовой стрелке, добиваются появления горизонтальной светящейся линии на экране прибора.

3.3. Вращая ручку "Фокус", добиваются наибольшей четкости линии развертки.

4. Скорость прохождения продольных колебаний определяется при вставленных в измерительную линию соответствующих датчиках (замена производится при включенном генераторе).

4.1. В соприкосновение вводятся датчики измерительной линии (без образца). Их контактные поверхности смазывают машинным маслом и сжимают для получения хорошего акустического контакта между датчиками.

4.2. Выключатель "Генератор" ставится в положение "Вкл.", при этом на экране должен появиться импульс затухающих колебаний.

4.3. Вращая ручку "Усиление I", импульс измерительной линии доводят до величины 30+50 мм.

4.4. Вращением ручки "Мощность" оставляем на экране четко видимыми 10+15 колебаний импульса.

4.5. Ручка "Усиление" ставится в крайнее левое положение.

4.6. Выключатель на эталонной линии ставится в положение "Вкл." и вращением ручки "Усиление II" величина импульса эталонной линии устачивается приблизительно равной импульсу от измерительной линии; вращением микрометрического винта импульс эталонной линии перемещается по экрану несколько вправо от импульса измерительной линии.

4.7. Ручкой "Усиление I" величину импульса измерительной линии делают такой же, как и эталонной.

После операций 4.1 ... 4.7 на экране должны быть видны два импульса затухающих колебаний, слева - от измерительной линии и правее его - от эталонной.

4.8. Вращением микрометрического винта добиваются совмещения эталонного импульса с измерительным.

4.9. Включаем "короткую" развертку.

4.10. Совмещаем первые полуволны (с левой стороны импульсов) измерительного и эталонного импульсов вращением микрометрического винта и уточняем совпадение импульсов по максимальной амплитуде третьей или четвертой полуволны (с левой стороны) совмещенных импульсов.

4.11. Производим отсчет Π_1 по шкале микрометрического винта.

4.12. Включается длинная развертка, тумблер "Короткая - Длинная" - устанавливается в верхнее положение.

4.13. Между датчиками измерительной линии устанавливается испытуемый образец, контактные поверхности которого смазываются машинным маслом.

4.14. Вращением эталонного винта совмещают эталонный импульс с измерительным.

4.15. Вращением ручки "Задержка" передвигают совмещенные импульсы к левому краю развертки.

4.16. Включают "Короткую" развертку.

4.17. Производят точное совмещение импульсов (как указано в 4.10).

4.18. Производят подсчет Π_2 по шкале микрометрического винта.

4.19. Вычисляют скорость прохождения продольных колебаний в испытуемом образце по формуле

$$v_{пр} = \ell \cdot v_{ст} / (\Pi_2 - \Pi_1), \quad (6.9)$$

где ℓ - длина исследуемого образца, мм;

Π_1 - первый отсчет по шкале микрометрического винта (без образца);

Π_2 - отсчет по шкале микрометрического винта с образцами;

$v_{ст}$ - скорость распространения ультразвуковых колебаний в эталонной жидкости, определяемая по графику (рис.2).

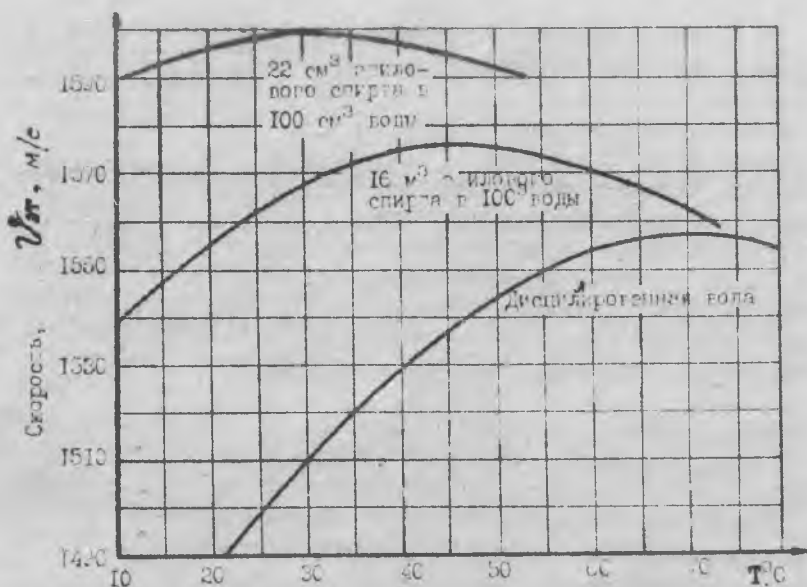


Рис.2. График зависимости скоростей прохождения ультразвуковых колебаний от окружающей температуры для эталонных жидкостей, имеющих различный состав

Б. Определяем скорость прохождения поперечных колебаний V_s^1 .

Б.1. Заменяем датчики продольных колебаний датчиками поперечных колебаний, *поверхности растворов, калибров и эталонных спиртов, т.е. эталонный раствор* и вводим их в соприкосновение, предварительно смазав после испарения спирта создает идеальную среду передачи поперечных колебаний.

Б.2. Ориентируем датчики поперечных колебаний так, чтобы совпали плоскости поляризации (совпадение плоскостей поляризации устанавливается вращением верхних датчиков до получения максимальной амплитуды сигнала от измерительной линии на экране прибора).

Б.3. Дальнейшее исследование проводим согласно пунктам 4.3 .. 4.18. После чего выключаем прибор, устанавливая тумблер "Сеть" в положение "Выкл."

Б.4. Вычисляем скорость распространения упругих колебаний в испытуемом образце

$$v_s^2 = \ell \cdot v_{\Delta T}^2 / (\Pi_2' - \Pi_1') \quad , \quad (6.10)$$

где ℓ - длина исследуемого образца, мм;
 Π_1' - первый отсчет по шкале микрометрического винта (без образца);
 Π_2' - отсчет по шкале микрометрического винта (с образцом);
 $v_{\Delta T}$ - скорость распространения ультразвуковых колебаний в эталонной жидкости (см. 4.19).

6. Коэффициент Пуассона (μ) вычисляется по формуле

$$\mu = (\beta - 0,5 \cdot v_{np}^2) / \beta \quad ; \quad (6.11)$$

$$\beta = v_{np}^2 - v_s^2 \quad , \quad (6.12)$$

где v_{np} - скорость распространения продольных волн;
 v_s - скорость распространения поперечных волн.

7. Модуль Юнга E вычисляется по формуле (6.1).

8. Модуль сдвига G вычисляется по формуле (6.2).

9. По ранее найденным значениям плотности породы ρ и скорости распространения ультразвука v_{np} , v_s вычисляется величина удельного волнового сопротивления для продольных Z_{np} и поперечных Z_s волн

$$Z_{np} = \rho \cdot v_{np} \quad (6.13)$$

$$Z_s = \rho \cdot v_s \quad (6.14)$$

10. Результаты расчетов записать в таблицу

Результаты определения акустических и упругих свойств горных пород

Номер образца	Исследуемая порода	Размер образца, мм			Объем образца, см ³	Масса образца, г	Плотность породы, г/см ³	$\rho_{ст}$	Продольные волны			Поперечные волны			Коэффициент Пуассона	Модуль Юнга, $1 \cdot 10^{10}$ Па	Модуль сдвига, $1 \cdot 10^{10}$ Па	Скорость поверхностных волн, м/с	Продольных	Поперечных	Удельное водное сопротивление, кг/см ²
		длина	ширина	толщина					без образца	с образцом	$\gamma_{пр}$	Скорость прод. волн, м/с	без образца	с образцом							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		0	6	2	V_0	ш	ρ	$\rho_{ст}$	Π_1	Π_2	$\gamma_{пр}$	Π_1	Π_2	$\gamma_{ср}$	μ	Э	С	$\gamma_{ср}$	$\gamma_{пр}$	$\gamma_{ср}$	$\gamma_{пр}$

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД СДВИГОВЫМ УСИЛИЯМ НА ПРИБОРЕ ГПН-30 (ПРИБОР КОНСТРУКЦИИ МАСЛОВА-ЛУРЬЕ)

Цель работы. Исследовать зависимость величины сдвигающей нагрузки от величины нормальной нагрузки, приложенной к образцу несвязной горной породы в состоянии естественной влажности, т.е. без предварительного уплотнения образцов, и уяснить физический смысл теории прочности Мора.

Теоретическая часть

При разрушении образца горной породы в сечении среза действуют 3 компонента напряжения: одна нормальная и две касательных (рис. I).

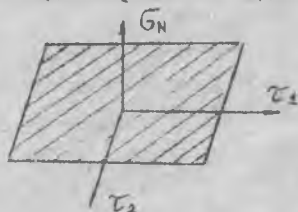


Рис. I. Распределение напряжений, действующих в плоскости среза

При определении предела прочности породы на срез рассматривается одно касательное напряжение в направлении действия силы.

Напряжения, возникающие в сечении среза, определяются по формулам:

$$\sigma_n = F_n / (S_{\text{ср}} + S_n) \quad ; \quad (7.1)$$

$$\tau = F_{\text{II}} / (S_{\text{ср}} + S_n) \quad , \quad (7.2)$$

где F_I и F_{II} - соответственно усилия, действующие на срез в направлении нормального и касательного напряжений;

$S_{\text{ср}}$ - площадь минеральных зерен, попавших в сечение среза;
 S_n - сечение разрушения, занятое порами.

При сдвиге несвязных горных пород каждый срез дает возможность получить точку для построения графика предельного напряженного состояния данной породы.

Испытание горной породы на сопротивляемость сдвигу базируется на теории прочности Мора, которая основана на зависимости между касательными и нормальными напряжениями в каждой точке тела, находящегося в сложном напряженном состоянии. В системе координат $(\sigma_N; \tau)$ эта зависимость выражается кривой, огибающей семейство кругов напряжений, которые построены для различных случаев предельного напряженного состояния испытываемого образца горной породы $(\sigma_{сж}, \sigma_{сжат}, \sigma_{сдв})$.

Огибающую кругов напряжений Мора называют паспортом прочности горных пород. Согласно теории Мора разрушение наступает тогда, когда либо касательные напряжения превысят величину, ограниченную огибающей кругов, либо нормальные растягивающие напряжения превысят определенный предел (при $\tau = 0$).

В простом случае аналитическая зависимость предельных касательных напряжений τ от нормальных σ_N выражается прямой линией и определяется по формуле

$$\tau = \sigma_N \cdot \operatorname{tg} \varphi + \tau_1, \quad (7.3)$$

где τ_1 - предельное касательное напряжение в породе при отсутствии нормальных напряжений.

Для определения касательных напряжений на приборе типа ГП-30 пользуются формулой

$$\tau = \sigma_N \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (7.4)$$

где φ - угол внутреннего трения;

c - коэффициент сцепления;

σ_N - напряжение, действующее перпендикулярно срезу;

$\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент внутреннего трения.

Для несвязных бесструктурных горных пород зависимость между нормальными и касательными напряжениями определяется по формуле

$$\tau = \sigma_N \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (7.5)$$

так как силы сцепления в них ничтожны и практически ими можно пренебречь, т.е. $C = 0$.

На срезных приборах испытание на срез производится для пород, плотность которых составляет $\rho > 0,5 \text{ г/см}^3$.

Описание прибора ГП-30

Прибор типа ГП-30 позволяет осуществить сдвиг путем приложения к срезающему устройству независимого (внешнего) сдвигающего усилия. Прибор устроен по принципу одноплоскостного сдвига. При этом плоскость сдвига не является строго фиксированной, что достигается особым устройством срезавателя.

Предварительное уплотнение образцов может осуществляться как в самом приборе, так и в специальных подготовительных ваннах.

Прибор ГП-30 состоит из следующих основных узлов:

- 1) рабочего столика ;
- 2) срезающего устройства, включающего верхнюю (подвижную) и нижнюю (фиксированную) гильзу;
- 3) горизонтальной тяги, позволяющей создать касательное напряжение в плоскости среза;
- 4) вертикальной тяги, создающей нормальное к плоскости среза напряжение в образце;
- 5) датчика деформации часового типа, позволяющего определить момент разрушения образца.

Порядок выполнения работы

Сопротивление горной породы сдвигу определяется в состоянии естественной влажности, т.е. без предварительного уплотнения образцов.

1. Прибор устанавливается в горизонтальное положение.
2. Собирается срезаватель прибора. Для этого верхнюю обойму ставят на нижнюю, а установочные винты ввинчивают так, чтобы между обоймами не оставалось зазора.
3. Верхнее кольцо внутренней разъемной гильзы помещают в верхнюю обойму срезавателя. В нижнюю обойму срезавателя укладывают пористый вкладыш и нижнее кольцо разъемной гильзы.
4. Подвижный диск нижней обоймы срезавателя завинчивается такого положения, при котором нижний перфорированный вкладыш

занимает $1/4$ высоты нижнего кольца гильзы.

5. В собранный прибор закладывается горная порода, имеющая естественную влажность.

6. Поверхность покрывается фильтрационной бумагой, а на нее укладывается верхний перфорированный вкладыш.

7. После зарядки срезывателя на верхний вкладыш накладывается штамп, при этом необходимо, чтобы штамп, жестко скрепленный с корпусом рамы, входил в обойму срезывателя без перекосов и заклинивания.

8. К верхней обойме срезывателя прикладывают вертикальную нагрузку. Груз, который необходимо положить на подвеску скользящего рычага, определяется по формуле

$$Q = (P_n \cdot S - q) / f, \quad (7,6)$$

где P_n - заданное давление, Па;

S - площадь образца, м^2 ;

q - вес рамы, Н;

f - передаточное число рычага.

9. После приложения вертикальной нагрузки присоединяется трос рычага, передающего горизонтальное усилие к верхней обойме срезывателя.

10. Для замера горизонтальных деформаций в держателе укрепляют индикатор деформаций часового типа.

11. Между верхней и нижней обоймами срезывателя устанавливается зазор путем одновременного вращения установочных винтов. Величина зазора должна быть 0,5...1 мм. После установления зазора винты, соединяющие обоймы, вывинчивают до тех пор, пока они не выйдут из своих гнезд в кронштейнах.

12. Прикладывая груз к подвеске рычага, производят сдвиг, создающий касательное напряжение в плоскости среза. Груз, создающий сдвигающее усилие, прикладывают ступенями от 100...150 до 1000 г (в зависимости от величины вертикального давления) до тех пор, пока не будет замечен неравномерный (скачкообразный) характер затухания деформаций сдвига. После чего величину ступеней сдвигающего усилия уменьшают в 2 раза.

13. Сдвиг образца считают наступившим, если без увеличения нагрузки происходит непрерывное возрастание скорости деформации

сдвига. Сдвигающее усилие рассчитывается по формуле

$$\tau_r = Q_r \cdot f / S_n, \quad (7.7)$$

где Q_r - вес груза на подвеске, Н;
 f - передаточное число рычага;
 S_n - площадь поперечного сечения образца, м^2 .

14. Определяется коэффициент сдвига $\text{tg } \varphi$ из соотношения между нормальными и горизонтальными давлениями на образец в момент сдвига

$$\text{tg } \varphi = \tau_r / P_n, \quad (7.8)$$

где τ_r - горизонтальное давление на образец в момент сдвига, Па;
 P_n - соответствующее нормальное давление, Па.

15. Графо-аналитическим способом определяются коэффициенты внутреннего трения и сцепления грунта C_0 . Для этого в системе прямоугольных координат по оси абсцисс откладывают значения вертикальных давлений P_n , а по оси ординат - значения сдвигающих усилий, соответствующие моменту сдвига. Через полученные точки провести некоторую среднюю прямую до пересечения с осью ординат. Отрезок, отсекаемый прямой, на оси ординат выражает величину сцепления C_0 . Тангенс угла наклона полученной прямой с осью абсцисс есть тангенс угла внутреннего трения $\text{tg } \varphi$ или коэффициент внутреннего трения при сдвиге (см. рис. 2).

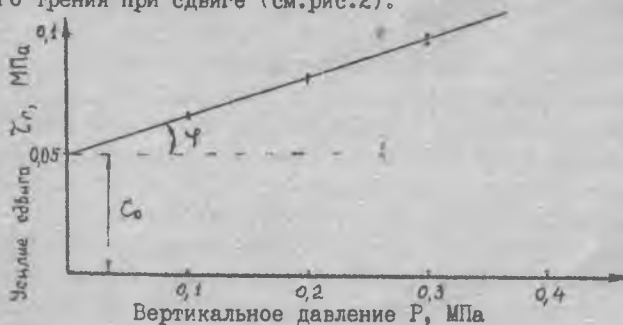


Рис. 2. График зависимости сдвигающего усилия от вертикальной нагрузки

Все измерения и вычисления заносятся в таблицу

**Результаты исследования сопротивления горных
пород сдвиговым усилиям**

Номер опыта	Вертикальные нагрузки при сдвиге		Горизонтальные усилия		Коэффициент сдвига $\tan \varphi$	Показатели сил трения и сцепления		
	вес груза на подвесе рычага Q, H	вертикальное давление P, Pa	сдвигающее усилие T, Pa	вес груза на подвесе ворота Q, H		угол внутреннего трения при сдвиге φ	коэффициент внутреннего трения при сдвиге $\tan \varphi$	сцепление горн. пород при сдвиге C_0

Лабораторная работа № 8

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ НЕСВЯЗНЫХ (СЫПУЧИХ)
ГРУНТОВ ПО УГЛУ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА**

Цель работы. Ознакомиться с методом определения угла естественного откоса при исследовании рыхлых сыпучих песков на приборе УО усовершенствованной конструкции.

Общие сведения

Изучение сопротивления грунтов сдвигающим усилиям, возникающим в результате воздействия различных инженерных сооружений, имеет большое значение для правильного расчета устойчивости оснований, оценки устойчивости откосов, расчета давления грунтов на подпорные стенки и для других инженерных расчетов.

Для приближенного определения величины угла внутреннего трения сыпучих грунтов (чистых песков) применяется способ определения сопротивления сдвигу по углу естественного откоса.

Углом естественного откоса β_e называют угол, при котором неукрепленный откос печаного грунта сохраняет равновесие или угол, под которым располагается свободно насыпaeмый песок.

Угол естественного откоса определяют в воздушно-сухом состоянии на приборе УО.

Оборудование. Прибор УО усовершенствованной конструкции, секундомер, линейка.

Описание прибора

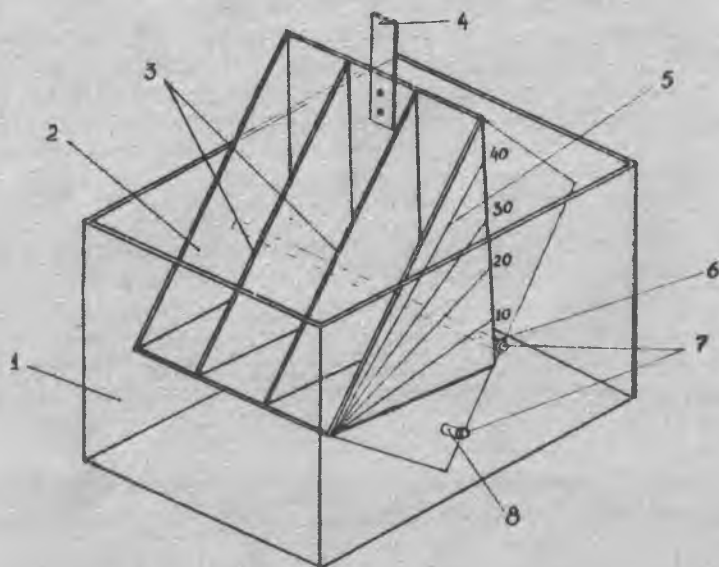
Прибор (см. рисунок) состоит из прямоугольной банки I и вкладыша 2, внутренняя часть которого разделена перегородками 3 на три части. Вкладыш имеет ручку 4. Банка и вкладыш изготовлен из прозрачного органического стекла. На боковых сторонах и задней стенке вкладыша нанесена угловая сетка со шкалой 5.

Вкладыш помещается внутри банки на ось 6, которая установлена в отверстиях боковых стенок и жестко закреплена посредством гаек 7. Вкладыш может поворачиваться внутри банки на угол 45° и удерживаться в таком положении упорами 8.

Порядок выполнения работы

1. Вынуть вкладыш из банки и поставить его на ровную поверхность.
2. Насыпать испытуемый грунт в три части вкладыша.
3. Придать песку ровную горизонтальную поверхность и удалить избыток песка с помощью линейки.
4. Осторожно поставить вкладыш с грунтом внутрь банки так, чтобы ось вошла в пазы, смонтированные в основании боковых стенок вкладыша. При этом ручка вкладыша должна упираться на заднюю стенку банки.
5. Плавнo, без толчков и сотрясений, повернуть вкладыш при помощи ручки на угол 45° до упора. Поворот произвести за 5-6 с. При повороте вкладыша часть грунта отсыплется в банку, а оставшаяся часть образует с нижней стенкой вкладыша угол, который и является углом естественного откоса.
6. Определить угол откоса грунта в трех частях вкладыша по делениям, нанесенным на его боковых и задней стенках. Отсчет произвести с точностью до 1° .
7. В таблицу занести среднее из отсчетов по трем частям вкладыша.
8. Опыт повторить не менее трех раз.

Расхождение между повторными определениями не должно превышать 1° .



Прибор УО усовершенствованной конструкции
для определения угла естественного откоса
песчаных грунтов;

1 - прямоугольная банка; 2 - выходы; 3 - перегородки;
4 - ручка; 5 - шкала; 6 - ось; 7 - гайка; 8 - упор

Результаты определения угла откоса грунта

Исследуемый грунт	Номер опыта	Угол откоса β_e грунта, град.	Примечание
		в воздушно-сухом состоянии	
	1		
	2		
	3		
	Среднее		

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Общие сведения

Под влажностью W горной породы понимают степень насыщенности её водой. При этом различают следующие виды и формы влаги (по П.А.Ревбиндеру для коллоидных капиллярно-пористых тел, в т.ч. и для горных пород).

1. Свободная вода.
2. Влага адсорбционно-связанная (физико-химическая связь).
3. Влага капиллярно-связанная (физико-механическая связь).
4. Вода химически связанная.

Наиболее прочно удерживаются химически связанная конституционная вода (гидратная или кристаллогидратная, образующаяся при нагреве из входящих в кристаллическую решетку гидроксильных ионов OH^- и H^+ (например, малахит $Cu_2CO_3(OH)_2$) и кристаллизационная, входящая в кристаллическую решетку в виде молекул (например, опал $SiO_2 \cdot n \cdot H_2O$).

Адсорбционно-связанная вода образуется в результате действия молекулярного силового поля. На начальном этапе сорбции на внешних и внутренних поверхностях породных частиц создается мономолекулярный слой, наиболее прочно связанный с поверхностью горной породы - адсорбента; затем он сорбирует второй слой, третий и т.д.; последующие слои связаны менее прочно.

Капиллярно-связанная вода образуется в микрокапиллярах при поглощении из воздуха или непосредственном соприкосновении. Причиной возникновения данной формы связи является капиллярное давление, обусловленное кривизной поверхности жидкости в капиллярах. К этой же категории относится связь смачиванием при непосредственном соприкосновении с поверхностью горной породы вследствие действия поверхностного натяжения. Считается, что в отличие от адсорбционно-связанной вода физико-механической связи удерживается в неопределенных соотношениях и в основной массе сохраняет свои исходные свойства.

Горные породы обладают ионсорбционной способностью, т.е. избирательно адсорбируют наряду с водой ионы из насыщающего их раствора. Адсорбцию и ионсорбцию необходимо учитывать при электрохимических процессах, в геотехнологии, электроразведке, электроосмосе, химическом тампонаже, очистке промстоков, гидрообеспыливании и т.д.

Влажность горных пород и показатели, непосредственно связанные с ней: максимальная молекулярная влагоемкость W_M , полная влагоемкость W_n , водоотдача, числа пластичности, набухаемости, размокаемости, льдистость, количество незамерзшей воды и т.д.), оказывают исключительно большое влияние на технологию добычи и переработки полезных ископаемых, а также на устойчивость бортов карьеров и отвалов.

Естественной влажностью W_e называют все количество воды, содержащееся в порах горной породы в условиях её естественного залегания. Обычно горную породу, высушенную до постоянной массы при температуре 100...150°C, называют абсолютно сухой.

Различают весовую (абсолютную) и относительную влажность. Весовая, или абсолютная влажность W — отношение массы, содержащейся в породе воды m_b , к массе абсолютно сухой породы $m_{сн}$

$$W = m_b / m_{сн} \quad , \quad (1)$$

Относительная влажность, или коэффициент водонасыщения $K_{вн}$ — отношение объёма воды, содержащейся в породе V_b , к объёму пор $V_{пор}$.

$$K_{вн} = V_b / V_{пор} \quad , \quad (2)$$

$K_{вн}$ может быть определен по формуле

$$K_{вн} = [(100 - P) \cdot W \cdot \rho] / P, \quad (3)$$

где W - весовая влажность горной породы, %;

ρ - плотность породы, г/см³;

P - пористость.

Естественная влажность W_e и $K_{вн}$ - характеристики состояния породы.

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПИКНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы. Определить степень насыщения горных пород водой пикнометрическим методом.

Оборудование. Пикнометр емкостью 100 см³, технические весы с разновесами, воронка.

Порядок выполнения работы

1. Пикнометр высушить и взвесить на технических весах с точностью до 0,01 г (Q_1).

2. Поместить в пикнометр навеску влажной породы не менее 50 г. Чтобы влажный образец не потерял воду, эту операцию нужно производить быстро.

3. Взвесить пикнометр с породой (Q_2).

4. Заполнить стакан пикнометра водой до половины и в течение 3 мин интенсивно взбалтывать для удаления пузырьков воздуха (для песков и супесей). Для глин и суглинков содержимое пикнометра необходимо прокипятить в течение 30 мин, чтобы разрушить агрегаты и удалить из замкнутых пор этих грунтов.

5. Охладить пикнометр до температуры окружающего воздуха. В остывший пикнометр долить воды до метки.

6. Пикнометр вытереть полотенцем и взвесить (масса пикнометра

с породой и водой q_2).

7. Вылить содержимое пикнометра, тщательно промыть пикнометр и налить в него чистую воду до метки. Взвесить пикнометр с водой (q_3).

Расчет влажности

Влажность грунта W вычисляется по формуле

$$W = \left[\left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_n} \right) \cdot \frac{q_1 - q}{q_2 - q_3} \right] - 1, \quad (9.1)$$

где ρ_w - плотность воды, г/см³;

ρ_n - плотность породы, г/см³;

q - масса пикнометра, г;

q_1 - масса пикнометра с породой, г;

q_2 - масса пикнометра с породой и водой, г;

q_3 - масса пикнометра с водой, г.

Как видно из формулы (9.1), для расчета влажности необходимо знать плотность породы.

Для вычисления влажности по формуле (9.1) можно принять следующие значения плотности пород:

- пески 2,66 г/см³

- супеси 2,70 г/см³

- суглинки 2,71 г/см³

- глины 2,74 г/см³

Подставляя соответствующие значения плотности в формулу (9.1), получаем рабочие формулы для определения влажности:

для песков

$$W_1 = K_1 \frac{q_1 - q}{q_2 - q_3} - 1, \text{ где } K_1 = 0,624;$$

для супесей

$$W_2 = K_2 \frac{q_1 - q}{q_2 - q_3} - 1, \text{ где } K_2 = 0,630;$$

для суглинков

$$W_3 = K_3 \frac{q_1 - q}{q_2 - q_3} - 1, \text{ где } K_3 = 0,631;$$

для глин

$$W_4 = K_4 \frac{q_1 - q}{q_2 - q_3} - 1, \text{ где } K_4 = 0,635$$

Результаты вычислений заносят в таблицу

Результаты определения влажности горных пород пикнометрическим методом

№ п/п	Д А Т А	Лабораторный № — образца	Масса пикнометра q_0 , г	Масса пикнометра с породой q_1 , г	Масса пикнометра с породой и водой q_2 , г	Масса пикнометра с водой q_3 , г	Масса породы $q_1 - q_0$	Коэффициент $K_I = 1 - \frac{q_2}{q_3 \cdot n}$	Влажность W , %
1									
2									
3									
4									

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ НЕСВЯЗНЫХ ПОРОД НА ПРИБОРЕ КФ - ООМ

Цель работы. Определить коэффициент фильтрации и соответствующую ему скорость фильтрации горной породы с нарушенной и ненарушенной структурами.

Теоретическая часть

Водопроницаемость пород — это способность их пропускать сквозь себя воду.

Вода в поровых пространствах может перемещаться под влиянием следующих факторов: силы тяжести; внешнего давления; капиллярных сил; адсорбционных сил, развивающихся на поверхности раздела твердых частиц, и воды; промерзания породы; давления газов и др.

Коэффициентом фильтрации K_f называется скорость фильтрации v_f при напорном градиенте J , равном единице (уравнение Дарси)

$$v_f = K_f \cdot J \quad (\text{см/с, м/ч, м/сут}) \quad (10.1)$$

Для определения коэффициента фильтрации существуют следующие методы:

1. Полевые опытные определения с помощью откачек или полива;
2. Непосредственное лабораторное определение K_f в приборах;
3. Косвенное определение K_f путем вычисления по данным механических анализов и пористости грунта.

Полевые опытные работы дают общую характеристику водопроницаемости породы массива.

Лабораторные определения коэффициента фильтрации характеризуют водопроницаемость отдельных точек водоносного слоя. При этом более близкую к естественным условиям картину дает определение на образцах с ненарушенной структурой с последующей статической обработкой данных по определенному количеству образцов.

Приборы и оборудование

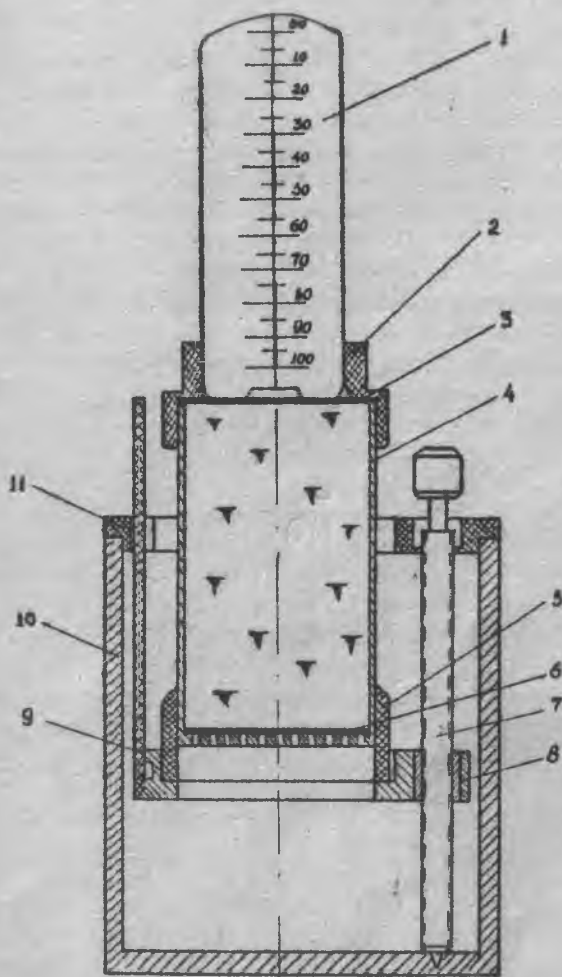
1. Прибор КФ-ОМ или трубка СПЕЦБЮ.
2. Термометр.
3. Образец горной породы.
4. Секундомер.

Конструкция прибора КФ-ОМ

Прибор КФ-ОМ (см. рисунок) состоит из фильтрационной трубки и специального винтового телескопического приспособления, позволяющего насыщать грунт и регулировать напор воды.

Фильтрационная трубка состоит из основного металлического цилиндра с заостренными краями; основания, надеваемого на нижнюю часть цилиндра, и латунной сетки. На верхнюю часть цилиндра надевается муфта с латунной сеткой и стеклянный мерный цилиндр, на одной стороне которого нанесена шкала.

На планке телескопического приспособления нанесены деления напорного градиента от 0 до 1 с ценой деления 0,02.



Конструкция прибора КФ-00М:

- I - стеклянный баллон; 2 - муфта; 3 - латунная сетка;
 4 - цилиндр; 5 - дно; 6 - латунная сетка; 7 - винт;
 8 - подставка; 9 - планка с делениями напорного градиента;
 10 - корпус; II - крышка

Подготовка прибора к работе и порядок работы

1. Взять цилиндр и простым насыпанием грунта наполнить его до необходимой высоты (это делается при рыхлом его сложении). При максимально плотном сложении наполнение грунта ведут слоями по 1+2 см с легкой трамбовкой. Для каждого случая производить определение объёмной массы грунта.

Если требуется определить коэффициент фильтрации с ненарушенной структурой, то с цилиндра снять дно и цилиндр в вертикальном положении задавить непосредственно в грунт.

2. После заполнения цилиндра грунтом в корпус налить воды и вращением винта поднять подставку до совмещения отметки на планке напорного градиента с верхним краем крышки прибора.

3. На подставку установить фильтрационную трубку с испытываемым грунтом. Вращением винта медленно погрузить трубку с грунтом в воду до отметки напорного градиента $J = 0,8$. В таком положении оставить прибор до момента появления влаги в верхнем торце цилиндра, о чем судят по изменившемуся цвету грунта.

4. Поместить на грунт латунную сетку, надеть на трубку муфту и вращением винта опустить трубку в крайнее нижнее положение.

5. Заполнить мерный баллон водой, предварительно измерив её температуру, зажать отверстие большим пальцем и, быстро опрокинув, вставить в муфту фильтрационной трубки так, чтобы горлышко баллона соприкасалось с латунной сеткой. В таком виде мерный баллон автоматически поддерживает над грунтом постоянный уровень воды (1+2 мм). Как только этот уровень вследствие просачивания воды через грунт понизится, в мерный баллон прорывається пузырек воздуха и соответствующее количество воды вытекает из него. Этим достигается постоянство напорного градиента. Если в мерный баллон прорываются крупные пузыри воздуха, это свидетельствует о том, что горлышко баллона отстоит на значительном расстоянии от поверхности грунта. В этом случае необходимо баллон опустить на 1+2 мм и добиться того, чтобы в него равномерно поднимались мелкие пузырьки воздуха.

6. После этого установить планку на градиент $J = 0,6$ и долить воду в корпус до верхнего края. Отметить по шкале уровень воды в мерном баллоне, включить секундомер и по истечении определенного времени (50 + 100 с для среднезернистых грунтов, 250 + 500 с — для глинистых песков) заметить второй уровень воды в мерном

баллоне. Разность отсчетов дает возможность определить расход воды Q , профильтровавшейся через грунт за время t . Для получения средней величины коэффициента фильтрации повторить замеры расхода воды при различных положениях уровня воды в мерном баллоне за время t .

7. Установить напорный градиент $J = 0,8$, снять мерный баллон, наполнить его водой и вновь вставить его в муфту, далее поступают как в пункте 6. Так производят определение коэффициента для любого напорного градиента. Для $J = 1,0$ телескопическим приспособлением можно не пользоваться, тогда фильтрационную трубку устанавливают на любую ровную поверхность.

8. По данным опыта производят расчет коэффициента фильтрации из выражения

$$K_f = 864 \cdot Q / (t \cdot S \cdot J \cdot T_n) \quad (\text{м/сут}), \quad (10.2)$$

где Q - расход воды, мм;
 S - площадь поперечного сечения цилиндра, см^2 ($S = 25 \text{ см}^2$);
 t - время, с;
 J - напорный градиент;
 T_n - температурная поправка ($T_n = 0,7 + 0,03 \text{ } ^\circ\text{C}$);
 T - температура воды, $^\circ\text{C}$;
 864 - переводной коэффициент м/с - м/сут;

9. По формуле (10.1) определить скорость фильтрации. Опыт повторяется не менее трех раз, данные наблюдений заносятся в таблицу.

Результаты определения коэффициента фильтрации
 несвязных горных пород

Описание грунта	Номер опыта	Время фильтрации t , с	Объём воды Q , мл	Напорный градиент J	Темпер. воды гр. T , $^\circ\text{C}$	K_f	$K_{f \text{ ср}}$
	1						
	2						
	3						

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. - М.: Недра, 1984. - 369 с.
2. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / Под ред. Н.В. Мельникова и др. - М.: Недра, 1975. - 279 с.
3. Чаловский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. - М.: Недра, 1975. - 303 с.

Некоторые усредненные значения физических параметров горных пород приложение 1

I. Усредненные механические параметры пород и углей

Порода, уголь	ρ г/см ³	Е, ГПа	μ	$\sigma_{ск}$, МПа	σ_p , МПа	$\sigma_{сдв.}$, МПа	Коэф- фици- ент крепос- ти f	Угол внутрен- него тре- ния γ , град.	Сцепление С, МПа
<u>Кузнецкий бассейн</u>									
Алевролит	2,54	30-70	0,20-0,28	70-77	8-12	23-26	6-8,3	27-32	23-26
Аргиллит	2,54	45-50	0,30	52-80	5-7	17-23	2,6-5,8	30-32	5-17
Песчаник	2,66	30-70	0,09-0,13	93-120	9-12	28-42			
Уголь	1,98	18-25	0,14-0,16	12-24	0,2-2	2-10	0,7-1,5	35-37	8-10
<u>Соколовско-Сарбайский ГОК</u>									
Альбитофир	2,65	73	0,28	90	12	18	9,7	29	30
Диорит-порфирит	3,23	53	0,24	270	21	41	20	35	85
Известняк- мраморизованный	2,71	107	-	67	9	14	5	30	21
Известняк гли- нистый	2,70	65	0,22	144	10	26	6,1	36	46
Магнетитовая руда богатая	3,87	70	0,36	274	23	45	4,6	34	91
Магнетитовая руда бедная	3,24	68	0,27	214	22	41	7,6	33	67
Мартит пористый	3,58	53	0,18	73	2-6	2,4	9,2	34	22
Песчаник квар- цевый	2,66	45	0,21	166	15	30	6,5	33	50
Порфирит диаба- зовый	2,88	89	0,23	47	21	37	19,5	31	56
Сиенит порфиро- вый	2,61	61	0,30	150	20	80	12,2	31	45
Скарн пироксен- эпидотовый	2,78	90	0,41	94	12	18	18,7	32	29
Туф альбитофи- ровый	2,66	47	0,16	161	12	31	9,9	32	50

2. Акустические параметры пород

Порода	ρ , г/см ³	$v_{пр}$, м/с (в скобках v_s)	$Z \cdot 10^{-5}$ кг/(м ³ ·с)	θ , м ⁻¹ при 1 МГц
Алевролит	2,60	1610	42	-
Базальт	2,86	5400	154	-
Глина	2,00	2100	41	-
Габбро	2,90	6250 (3380)	181	0,05 (0,08)
Гранит	2,78	4350 (2260)	126	0,13 (0,22)
Диорит	2,80	4580	128	-
Известняк	2,65	4350	119	-
Кварцит железистый	3,00	5600	168	-
Мрамор	2,88	4950	142	-
Песок	1,70	800	15	-
Песчаник	2,50	2800 (2100)	71	0,264 (1,09)
Перидотит	2,80	7000	196	-
Роговик	2,80	3640	102	-
Сиенит	2,71	4950	134	-
Скарн	3,00	6100	183	-
Сланец	2,60	2250	59	-
Серпентинит	2,74	6400 (3760)	175	0,085 (0,088)
Уголь	1,35	1950	25	-

3. Гидравлические свойства пород

Порода	Коэффициент водоотдачи μ , %	Средний коэффициент фильтрации K_f , м/сут
Известняки трещиноватые	1 - 5	5
Пески и супеси тонкозернистые	10 - 15	10
Пески мелкозернистые и глинистые	15 - 20	5
Пески среднезернистые	20 - 25	15
Пески крупнозернистые	25 - 35	30
Песчаники на глинистом цементе	2 - 3	3
Угли бурые	2 - 5	2

4. Горно-технологические параметры пород

П о р о д а	$B_{сж}$, МПа	$K_{хр}$	$K_{пл}$	P_k , МПа	Дробимость V_{max} , см ³
Апатит	142	0,29	2,1	1380	8,3
Габбро	185	0,25	2,7	2820	3,0
Гранит биотитовый	186	0,24	2,8	2030	2,8
Джеспилит	313	0,39	1,9	6240	2,0
Диорит-порфирит	256	0,25	2,4	2570	1,4
Известняк мраморизованный	163	0,23	3,0	1690	4,5
Известняк пелитоморфный	193	0,24	3,95	1340	3,9
Кварцит железистый (КМА)	280	0,38	2,5	6740	2,7
Лабрадорит	165	0,25	3,36	1580	6,9
Мартитовая руда	56	0,20	2,14	380	13,4
Мрамор белый	95	0,13	3,0	1115	5,9
Мрамор серый	100	0,19	2,88	725	9,2
Песчаник кварцитовый слабосцементированный	170	0,34	2,14	1620	8,9
Песчаник (Донбасс)	190	0,23	2,66	1830	3,8
Скарн (Тырныауз)	290	0,37	2,0	4944	2,7
Уртит	170	0,27	2,7	1940	2,7

Перевод некоторых внесистемных единиц
измерений в единицы системы СИ

I. Основные единицы СИ

Физическая величина	Размерность	Обозначение единицы		Множитель для перевода в систему СИ
		СИ	не входящей в СИ	
Длина	М	метр, м	сантиметр, см	10^{-2}
Масса		килограмм, кг	грамм, г	10^{-3}
Время	Т	секунда, с	секунда, с	1
Сила электрического тока	І	ампер, А	-	$3,335 \cdot 10^{-10}$ А.ед. (СГС)
Термодинамическая температура		кельвин, К	-	-
Сила света		кандела, Кд	св	1,005 Кд
Дополнительные				
Плоский угол		радиан, рад	...°	$1,745 \cdot 10^{-2}$ рад
Телесный угол		стерадиан, ср.		4π ср.

2. Основные производные единицы СИ в статике, динамике

Физическая величина	Обозначение	Выражение производной единицы			Множитель для перевода в СИ
		в системе СИ	через основные единицы	Не входящей в систему СИ	
Масса	m	-	кг	Т Ц кгс с ² /м	$1 \cdot 10^3$ кг $1 \cdot 10^2$ кг 9,8065 кг
Скорость	v	-	м/с	см/с км/ч	$1 \cdot 10^{-2}$ м/с 0,2778 м/с
Ускорение	a	-	м/с ²	см/с ²	$1 \cdot 10^{-2}$ м/с
Угловая скорость	ω	-	рад/с	...°/с об/с об/ч	0,01745 рад/с 6,283 рад/с 0,1047 рад/с
Плотность	ρ	-	кг/м ³	г/см ³	$1 \cdot 10^3$ кг/м ³
Объемная масса	ρ	-	кг/м ³	г/см ³	$1 \cdot 10^3$ кг/м ³
Удельный вес	γ	Н/м ³	кг · с ⁻² · м ⁻²	кгс/м ³ дин/см ³	9,80665 Н/м ³ $1 \cdot 10$ Н/м ³
Объемный вес	γ	Н/м ³	кг · с ⁻² · м ⁻²	кгс/м ³ дин/см ³	9,80665 Н/м ³ $1 \cdot 10$ Н/м ³
Давление	P	Паскаль, Па		кгс/м ²	9,80665 Па
Механическое напряжение	P_m	Н/м ²	м ⁻¹ · кг · с ⁻²	дин/см ²	0,1 Па
Сила	F	Ньютон, Н	м · кг · с ⁻²	кгс дин	9,80665 Н $1 \cdot 10^{-5}$ Н
Импульс силы	F_s	Н · с	м · кг · с ⁻¹	кгс · с	9,80665 Н · с
Работа, энергия	А, Е	Джоуль, Дж Н/м	м ² · кг · с ⁻²	эрг кгс · м кВт · ч	$1 \cdot 10^{-7}$ Дж 9,80665 Дж $3,6 \cdot 10^6$ Дж

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение	3
Общий порядок выполнения лабораторных работ	4
Классификация физических свойств горных пород	5
Плотностные свойства горных пород	
Общие сведения	7
Лабораторная работа № 1. Определение плотности горных пород	9
Лабораторная работа № 2. Определение объемной массы горных пород	10
Лабораторная работа № 3. Определение коэффициента пористости горных пород	15
Механические свойства горных пород	
Общие сведения	16
Лабораторная работа № 4. Определение динамической прочности горных пород методом толчения	16
Лабораторная работа № 5. Определение предела прочности горных пород при одноосном сжатии	21
Лабораторная работа № 6. Исследование акустических и упругих свойств горных пород на ультразвуковой установке "УЗИС-ЛЭТИ"	25
Лабораторная работа № 7. Исследование сопротивления горных пород сдвиговым усилиям на приборе ГГП-30 (прибор конструкции Маслова-Лурье)	35
Лабораторная работа № 8. Определение угла внутреннего трения песчаных грунтов по углу естественного откоса	40
Гидравлические свойства горных пород	
Общие сведения	43
Лабораторная работа № 9. Определение влажности горных пород пикнометрическим методом	45
Лабораторная работа № 10. Определение коэффициента фильтрации несвязных грунтов на приборе КФ-ООМ	47
Список литературы	52

Приложение 1. Некоторые усредненные значения физических параметров различных горных пород.....	53
Приложение 2. Перевод некоторых внесистемных единиц измерений в единицы системы СИ	56

Редактор Н.П.Романова

Сдано в производство 8.08.90 г.

Формат 60 x 84 1/16

Бум.тип. № 2. Гарнитура литературная

Печать офсетная. Усл.печ.л. 3,48 Уч.-изд.л. 3,74

Тираж 300 экз. Заказ №321. Бесплатно Н/К

Читинский политехнический институт 672039, Чита,
ул.Александровская, 30

Межвузовская типография ОмПИ

