

10 декабря – лаб. работы 3 и 4

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

В.А. Бабелло

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по дисциплинам «Механика грунтов» и «Геомеханика»

Часть I

Чита

Забайкальский государственный университет

2016 г.

УДК 622.831

ББК 33.1

Б

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом
Забайкальского государственного университета

Рецензенты

Б.Б. Ёлгин, канд. тех. наук, гл. инженер, ЗАО «Чита Автомот»

В.В. Торгашев, канд. техн. наук, зам. директора по науке, ООО НПФ «Фундамент»

Бабелло, Виктор Анатольевич

Лабораторный практикум по дисциплинам «Механика грунтов» и «Геомеханика» Часть I;

Забайкал. гос. ун-т.-Чита, 2016.-92 с.: ил.

В учебном пособии раскрывается содержание понятия физико-механические свойства горных пород, показана необходимость изучения и оценки их параметров прочности и деформируемости в процессах взаимодействия с сооружением и проведения горных работ. Основной целью лабораторного практикума является освоение студентами основных методов лабораторного изучения показателей физических и механических свойств горных работ.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям «Горное дело» и «Строительство».

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1	
Определение предела прочности горных пород при одноосном сжатии образцов правильной формы плоскими плитами.....	10
Лабораторная работа № 2	
Определение предела прочности горных пород при одноосном сжатии методом разрушения образцов – плиток плоскими соосными пуансонами.....	16
Лабораторная работа №3	
Определение предела прочности горных пород при одноосном растяжении.....	21
Лабораторная работа № 4	
Определение предела прочности горных пород при срезе со сжатием.....	38
Лабораторная работа № 5	
Построение паспорта прочности горных пород.....	45
Лабораторная работа № 6	
Определение коэффициента крепости горной породы по Протоdjяконову.....	54
Лабораторная работа № 7	
Определение деформационных характеристик горных пород при одноосном сжатии.....	61
Лабораторная работа № 8	
Определение скорости распространения упругих акустических волн и характеристик деформационных свойств горных пород.....	72
Лабораторная работа № 9	
Определение основных характеристик физических свойств и морозостойкости горных пород.....	79
Контрольные вопросы.....	92
Заелючение.....	
Библиографический список.....	

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность современного специалиста в области геомеханики связана со строительством всех типов сооружений, добычей полезных ископаемых, освоением шельфа морей и океанов, восстановлением аварийных и реконструкцией существующих зданий и сооружений. Эти вопросы не могут быть решены без изучения и оценки параметров прочности и деформируемости горных пород и грунтов в процессах их взаимодействия с сооружением и производства горных работ. В связи с этим горные породы рассматриваются как естественное основание для наземных сооружений или среда в которой проходят подземные выработки, карьеры и котлованы, либо как строительный материал для различных сооружений.

Одним из важных факторов, определяющих конструктивные особенности горнодобывающих машин, их производительность, параметры систем разработки полезных ископаемых, характер различных производственных процессов при добыче полезных ископаемых и их переработке, а также при проведении горных выработок различного назначения, являются физико-механические свойства и состояние горных пород. Знание свойств пород необходимо не только при добыче полезных ископаемых, но и при строительстве различных зданий, возведении различных сооружений, проведении туннелей, строительстве дорог и т.д.

В связи с этим большое значение приобретает изучение физико-механических свойств горных пород. Механизация и автоматизация производственных процессов, постепенный переход горных работ на более глубокие горизонты, поиски способов разрушения горных пород с использованием новых видов энергии, а также способов искусственного

ослабления и упрочнения горных массивов в строительных целях – все это требует всесторонних знаний о свойствах и состоянии горных пород.

Физико-механическими свойствами горных пород следует называть такие, которые определяют их физическое, закономерности изменения прочности и деформируемости и отношение к воде. Различают физические, механические и водные свойства. Их выражают и оценивают с помощью определенных показателей – характеристик.

Физические свойства характеризуют физическое состояние горных пород, т.е. качественную определенность, проявляющуюся в их плотности, влажности, пористости, трещиноватости и выветрелости в условиях естественного залегания, а также в искусственных сооружениях – отвалах. Данные о них позволяют качественно оценивать прочность и устойчивость горных пород.

Механические свойства горных пород определяют их поведение под влиянием внешних усилий – нагрузок. Они проявляются и непосредственно оцениваются прочностью и деформируемостью горных пород.

Показатели механических свойств горных пород широко используются в инженерных расчетах и геотехнических оценках таких как обоснование устойчивости бортов карьеров и откосов отвалов, определение давления горных пород на крепи подземных выработок и подпорных сооружений, расчетах осадок сооружений и т.д.

Водные свойства горных пород проявляются в их способности изменять состояние, прочность и устойчивость при взаимодействии с водой, поглощать и удерживать воду или фильтровать ее. Зная водные свойства горных пород, можно делать прогноз изменения их прочности и других свойств, а также развития каких-либо геологических процессов под воздействием воды и их влияние на устойчивость сооружений.

Особо следует отметить, что существует мнение, что механические свойства горных пород являются «константами», а задачей лабораторий исследования физико-механических свойств является измерение этих констант.

В действительности представление о показателях свойств пород как о константах не отвечает современному уровню знаний о поведении пород при механическом нагружении. Установлено, что прочностные и деформационные характеристики пород изменяются в зависимости от условий нагружения, размеров и формы образцов, температуры, влажности и пр.

Механические характеристики горных пород являются функциями многих факторов. В первом приближении достаточно выделить четыре группы таких факторов:

- 1) факторы, зависящие от материала (структура, текстура, минералого-петрографический состав, крупность зерен, состав и свойства цемента и др.);
- 2) особенности испытываемых образцов (абсолютные размеры, форма, условия на контактах);
- 3) внешняя среда (влажность, температура);
- 4) характер механического нагружения.

В связи с отмеченными обстоятельствами получаемые при выполнении лабораторных работ показатели механических свойств горных пород следует рассматривать как величины, функционально зависящие от вышеперечисленных факторов.

Основной целью лабораторного практикума по курсу «Геомеханика» является освоение студентами основных методов лабораторного изучения показателей физических и механических свойств горных пород.

Методы определения основных показателей физических и механических свойств горных пород изложены в соответствии с действующими ГОСТами и поэтому они могут быть использованы, помимо учебных занятий, для решения производственных и научно-технических задач.

При выполнении лабораторных работ необходимо соблюдение следующих правил:

1. Знать соответствующий теоретический материал и ясно представлять, для каких целей исследуется то или иное свойство горных пород.

2. Уметь реализовать требуемую методику изучения свойств горных пород и соблюдать необходимый режим их испытаний, например скорость приложения нагрузки или продолжительность ее действия.

3. Знать устройство приборов и установок, их назначение и приемы работы с ними.

4. Соблюдать требования предъявляемые к массе, размеру и форме образцов. Недопустимо использовать образцы с различными дефектами. Наконец, необходимо строго соблюдать правила установки или загрузки образца пород в прибор.

5. Тщательно и аккуратно производить необходимые наблюдения, измерения, зарисовки и записи; ясно представлять, с какой точностью должны выполняться наблюдения, измерения и подсчеты при определении тех или иных показателей свойств горных пород.

6. Уметь анализировать и критически оценивать полученные результаты; знать причины возможных ошибок и уметь их устранять.

К основным требованиям техники безопасности при проведении лабораторных работ можно отнести следующие:

1. При работе с прессом, имеющим гидравлический привод основную опасность представляют:

- подвижные части нагружающего устройства;
- высокое давление в насосной установке;
- токоведущие части электрооборудования, находящиеся под напряжением в насосной установке;
- осколки образцов.

2. Преподаватели или лица из учебно-вспомогательного персонала, допущенные к работе на машине, должны изучить техническое описание и инструкцию по эксплуатации машины.

3. Перед началом работы произвести осмотр пресса и проверить:

- исправность трубопровод и следов протекания масла;
- исправность элементов заземления насосной установки, датчика давления и бока управления.

4. При проведении испытания образцов в прессе запрещается:

- производить испытания хрупких образцов без ограждения;
- производить подтягивание резьбовых соединений гидроаппаратуры при включенном насосе;
- эксплуатировать пресс при давлении, превышающем предельную нагрузку;
- нажимать кнопки блока управления острым предметом;
- изменять скорость нагружения в процессе испытания;
- категорически запрещается работать без заземления.

5. Помещение, в котором установлен пресс должно иметь естественное и искусственное освещение в соответствии с действующими нормами.

6. Ширина прохода слева и справа от прессы должны быть не менее 1 метра, а перед прессом не менее 1,5 метра. Испытательную станину крепят к фундаменту.

7. Каждая установка должна работать от отдельного защитного автоматического выключателя. Электрическая защита должна срабатывать на значение нагрузки, указанной в паспорте прессы.

8. Ремонтные работы проводятся при выключенном рубильнике, питающем данную установку, о чем должна извещать предупреждающая табличка.

Дополнительные требования по технике безопасности с учетом специфики каждой лабораторной работы приведены после ее описания.

После выполнения и оформления лабораторных работ студент сдает зачет преподавателю, ведущему занятие. На зачете студент должен начертить схему прибора, рассказать методику выполнения лабораторной работы и показать знания существа выполненных работ и полученных физико-механических характеристик горных пород, а также указать, при решении каких практических задач используются количественные показатели физико-механических свойств горных пород.

Лабораторная работа № 1

Определение предела прочности горных пород при одноосном сжатии образцов правильной формы плоскими плитами

1.1 Введение

Пределы прочности горной породы – это предельные напряжения при которых происходит ее разрушение. В данной работе вид разрушающей нагрузки представлен в виде сжимающего образца горной породы вертикального усилия, т.е. действующего вдоль одной оси. Показатель сопротивления горной породы одноосному сжатию или согласно [1] «предел прочности при одноосном сжатии» определяется как частное от деления максимальной разрушающей силы, полученной при одноосном раздавливании на прессе образца горной породы правильной геометрической формы на его начальную площадь поперечного сечения.

Сущность метода заключается в измерении максимального значения разрушающего давления, приложенного к плоским торцам правильного цилиндрического образца через плоские стальные плиты. Предел прочности при одноосном сжатии является наиболее распространенной оценкой механических свойств горных пород. Он используется для сравнения крепости пород (по М.М. Протоdjаконову), построение паспортов прочности горных пород, сравнительной оценки их прочностных свойств и управление горным давлением и т.д.

Вместе с тем, этот показатель не должен отождествляться с истинным пределом прочности массива горных пород т.к. в случаях испытаний на одноосное сжатие в образце реализуется напряженное состояние, отличное от такового в массиве и определяемого структурно-текстурными особенностями образца и техническими условиями опыта.

1.2 Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно ГОСТ [1]. Экспериментальная установка содержит пресс марки ИП-1А-1000, соединенный с компьютером и оснащенный сенсорным экраном.

Принцип работы заключается в последовательном продольном деформировании образца горной породы вплоть до разрушения с фиксацией максимального значения разрушающего давления. Для эксперимента могут быть использованы цилиндрические или призматические образцы с размерами указанными в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Размеры образцов

Параметр образца	Размеры, мм, при испытаниях		
	массовых		сравнительных
	предпочтительные	допускаемые	
Диаметр (сторона квадрата)	42 ± 2	от 30 до 80 включительно	42 ± 2
Отношение высоты образца к его диаметру	от 1,0 до 2,0	от 0,7 до 2,0	$2 \pm 0,05$

Образцы изготавливают выбуриванием или выпиливанием на камнерезной машине из штуфов и кернов. Обязательным условием является высокая точность обработки торцов и их параллельность. Измерение образцов проводят штангенциркулем с погрешностью не более $\pm 0,1$ мм. Диаметр измеряют в трех местах по высоте (в середине и у торцов) в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Допускается разность диаметров по всем измерениям не более 0,5 мм. За расчетный диаметр принимается среднее арифметическое результатов всех измерений.

Торцовые поверхности образца должны быть плоскими, параллельными друг другу и перпендикулярными боковой поверхности в соответствии с допусками, указанными в таблице 2 [1].

Количество образцов при массовых испытаниях должно обеспечивать относительную погрешность результатов их испытаний не более 20 % при надежности не ниже 0,8 и быть не менее 6.

Количество образцов при сравнительных испытаниях должно обеспечивать относительную погрешность результатов их испытаний не более 10 % при надежности не ниже 0,95 и быть не менее 10.

1.3 Порядок выполнения работы

Подготовка к работе прессы ИП-1А-1000

Перед началом работы произвести осмотр машины и проверить:

- исправность трубопроводов и наличие следов протекания масла;
- исправность элементов заземления насосной установки, датчика давления и блока управления.

Установить необходимое количество проставок, чтобы ход штока при установленном образце был минимальным.

- Включить защитный автомат.
- Подключить машину к электросети нажав на кнопку включения «» в этом должен засветиться дисплей блока управления, далее пресс выйдет в рабочий режим.

Порядок работы в режиме испытаний на сжатие стандартных образцов

- Установить режим испытаний на сжатие стандартных образцов, например скорость нагружения 1-5 МПа/с.
- Установить испытуемый образец на нижнюю плиту по центру.
- Закрыть ограждением рабочую зону нагружающего устройства.
- Нажать на сенсорную кнопку «СТАРТ/СТОП».

При движении плиты с образцом вверх до соприкосновения с верхней плитой нажать на сенсорную кнопку установки нуля.

После разрушения образца и отвода нижней плиты считайте показания максимальной нагрузки. Если образец разрушился, а пресс продолжает испытания, то нажать сенсорную кнопку «СТАРТ/СТОП».

- Сбросить куски разрушенного образца в ящик.
- Выключить пресс нажав на кнопку выключения «».
- Выключить защитный автомат.

Для аварийного отключения прессы нажать кнопку «Гриб».

Записывают максимальную величину разрушающей образец силы P в килоньютонах, зафиксированную силоизмерителем испытательной машины и показанную на дисплее с указанием отношения $m = h/d$ для образца.

Значения предела прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ в МПа для образца горной породы вычисляют по формуле

$$\sigma_{сж} = K_B \frac{P}{S} \cdot 10; \quad (1.1)$$

где P - разрушающая образец сила, кН;

S – площадь поперечного сечения образца, см²;

K_B - безразмерный коэффициент высоты образца, равный 1,00 при отношении высоты к диаметру $m = 2 \pm 0,05$. Для других значений отношения m коэффициент K_B устанавливается согласно табл. 2а [1].

Определение необходимого числа образцов n и фактической надежности результатов α испытаний производят согласно приложению 2 [1].

При массовых испытаниях образцов пород n обработку результатов опытов производят в следующем порядке:

- вычисляют среднее арифметическое значение предела прочности при одноосном сжатии

$$\overline{\sigma_{сж}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{сж_i}; \quad (1.2)$$

среднее квадратическое отношение

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\sigma_{сж_i} - \overline{\sigma_{сж}})^2}; \quad (1.3)$$

коэффициент вариации

$$V = \frac{\Delta}{\overline{\sigma_{сж}}} \cdot 100; \quad (1.4)$$

Необходимые вычисления производят с точностью:

площади поперечного сечения образца – до 0,01 см², округляют – до 0,10 см²;

частных значений и среднего значения отношения m - до 0,10;

частных значений и среднего арифметического значения, а также среднего квадратического отклонения предела прочности при одноосном сжатии – до 0,01 МПа, при этом значения менее 10 МПа составляют без изменения, значение от 10 до 100 МПа округляют до 0,10 МПа; а значение более 100 МПа – до 0,50 МПа;

значений коэффициента вариации – до 0,01.

1.4 Оформление лабораторной работы

Оформленная работа должна содержать:

- краткий конспект по внеаудиторной подготовке, включающий названия работы, ее цель и характеристику метода испытаний;
- результаты испытаний (при массовых испытаниях – в табличной форме);

- вычисленные числовые характеристики предела прочности горных пород при одноосном сжатии;
- анализ полученных результатов и выводы.

1.5 Техника безопасности

1. Соблюдать правила по технике безопасности по проведению лабораторных работ в лабораториях НОЦ Горного факультета ЗабГУ.
2. Управлением прессом производит преподаватель (учебный мастер); не допускается включение и выключение прессы студентами.
3. Нагружение образцов горной породы производить при закрытом рабочем объеме прессы специальным щитом.
4. Удалении продуктов разрушения образцов из рабочего объема прессы производить только после выключения прессы.
5. Запрещается эксплуатировать пресс при давлении, превышающем предельную нагрузку.

1.6 Список литературы

1. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. _М.: Изд. Стандартов. 1984 – 10 с.
2. Геомеханика: Учеб. пособие/Э.В. Каспарьян, А.А. Козырев, М.А. Иофис, А.Б. Макаров. – М.: Высш. шк. 2006 – 503 с.

Определение предела прочности горных пород при одноосном сжатии методом разрушения образцов – плиток плоскими соосными пуансонами

2.1 Введение

Теоретические представления о пределе прочности горных пород при одноосном сжатии образцов аналогичны приведенным в «Введение» лабораторной работы. № 1 Различие состоит в методе испытаний и форме образцов. Сущность метода заключается в измерении максимальной разрушающей силы, приложенной к торцам образца через стальные плоские встречно и соосно направленные пуансоны.

2.2 Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно ГОСТ [1].

Экспериментальная установка содержит пресс марки «ПЕТРОМЕХАНИКС» или «АСИС», соединенный с компьютером, нагрузочного устройства, устанавливаемого на опорную плиту прессы и обеспечивающего встречно-соосное приложение нагрузки к торцам образца через стальные пуансоны диаметром 11,27 мм (либо пуансоны диаметром 7,98 мм) с плоскопараллельным торцовыми поверхностями, класс шероховатости которых не ниже 7 (рис. 2.1). Допускаемое отклонение соосности пуансонов – 0,10 мм. Допускаемое отклонение торцевых плоскостей от плоскостности и параллельности – 0,20 мм.

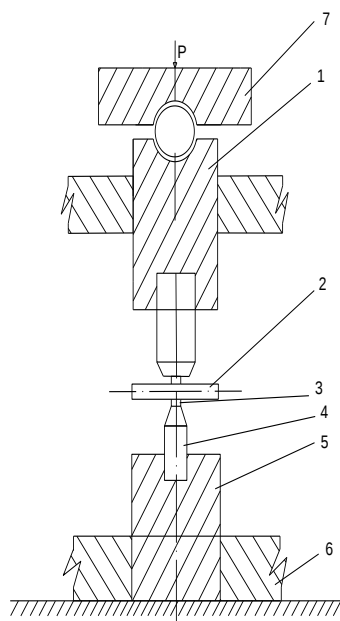


Рис. 2.1 Схема установки

1 – верхний шток; 2 – образец горной породы; 3 – пуансон; 4 – вкладыш; 5 – нижний шток; 6 – корпус; 7 – плита прессы.

Для испытания изготавливают образцы – плитки в виде дисков. Образцы должны иметь следующие размеры:

диаметр - от 30 до 100 мм;

высота – от 10 до 12 мм (для пород с пределом прочности при одноосном сжатии не более 100 МПа) либо от 7,5 до 8,5 мм (для пород с пределом прочности при одноосном сжатии свыше 100 МПа).

Допускается изготавливать образцы плитки неправильного очертания в плане с необработанными боковыми поверхностями при условии, что контуры их торцов и боковых поверхностей позволяют вписать диск необходимого размера. Измерения производят штангенциркулем. Диаметр измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Торцовые поверхности образца должны быть плоскими и параллельными друг другу. Количество образцов должно обеспечивать относительную погрешность результатов испытаний не более 30 % при надежности не ниже 0,8 и быть не менее 6.

2.3 Порядок выполнения работы

Подготовка к работе пресса «ПЕТРОМЕХАНИКС»

Произвести внешний осмотр станка, проверить целостность узлов и механизмов.

Подготовить к работе насосную станцию.

Установить необходимый кернодержатель для соответствующего вида исследований.

Включить блок электроники и датчики деформации (в случае необходимости).

Запустить на ПК программу «ПЕТРОМЕХАНИКС».

Установить металлический образец и выставить насосную станцию на минимальное давление (давление предварительного поджатия образца).

Система к работе готова.

Порядок работы

Произвести калибровку в соответствии с инструкцией;

Образец размещают между пуансонами нагрузочного устройства (см. рис. 2) установленного в центре опорной плиты пресса, совмещая центр диска с осью нагружения;

Образец нагружают через пуансоны равномерно до разрушения со скоростью 0,10 – 0,50 кН/с. Для этого нажимают кнопку «старт» и ждут окончания эксперимента;

Нажимают кнопку «вычислить» и «сохранить данные»;

После отвода пуансона извлечь обломки образца и очистить рабочее пространство от остатков породы.

Записывают максимальную величину разрушающей образец силы P в килоньютонах. При необходимости определяют влажность пробы непосредственно в момент испытания. Для этого дробят обломки

образцов до частиц размером менее 10 мм, помещают в бюксы и взвешивают. Дробленую породу помещают в бюксы не позже чем через 10 минут, а взвешивают не позже чем через 30 минут после выполнения испытания.

Значение предела прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ в МПа для каждого образца вычисляют по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{S_y} \cdot 10; \quad (2.1)$$

где P - разрушающая образец сила, кН;

S_y - условная площадь поперечного сечения образца, выбираемая по таблице 2.1 [1]

Таблица 2.1

Размеры образцов

Диаметр образца (диска), мм	30	40	50	60	70	80	90	100
Условная площадь, см ² :								
при пуансоне диаметром 11,27 мм	1,52	1,79	2,03	2,26	2,50	2,72	2,94	3,16
при пуансоне диаметром 7,89 мм	0,90	1,06	1,23	1,39	1,56	1,72	1,89	2,05

Обработка результатов испытаний образцов и точность вычислений производят в соответствии с указаниями, приведенными в лабораторной работе № 1

2.4 Оформление лабораторной работы

Оформленная работа должна содержать:

- краткий конспект по внеаудиторной подготовке, включающий название работы, ее цель, характеристику метода испытаний и схему установки;
- результаты испытаний;

- вычисленные числовые характеристики предела прочности горных пород при одноосном сжатии;
- анализ полученных результатов и выводы.

2.5 Техника безопасности

1. Соблюдать правила по технике безопасности в связи с проведением лабораторных работ в лабораториях НОЦ Горного факультете ЗабГУ.
2. Управление прессом производит преподаватель (учебный мастер); не допускается включение и выключение прессы студентами.
3. Нагружение образцов горной породы производится при закрытом рабочем объеме прессы специальным щитом.
4. Удаление продуктов разрушения образцов из рабочего объема прессы осуществляется только после выключения прессы.
5. Запрещается эксплуатировать пресс при давлении, превышающим предельную нагрузку.

2.6 Литература

1. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии - М.: Издательство стандартов 1984. – 10 с.

Лабораторная работа №3

Определение предела прочности горных пород при одноосном растяжении

3.1 Метод разрушения цилиндрических и призматических образцов прямым растяжением

3.1.1 Введение

Инженерные сооружения, в т.ч. и горнотехнические, взаимодействующие со скальным массивом могут инициировать в нем как сжимающие, так растягивающие напряжения.

Прочность скальных пород в условиях сжатия гораздо выше, чем при растяжении. Именно поэтому возникает необходимость изучения прочности пород в зоне растягивающих напряжений.

Прочность горных пород при растяжении является одним из важнейших показателей оценки их свойств и достаточно широко используется в геомеханических исследованиях. Например, при построении паспортов прочности горных пород и определения их коэффициента хрупкости как отношение предела прочности пород на растяжение к пределу прочности на сжатие.

Сущность метода разрушения цилиндрических и призматических образцов пород прямым растяжением заключается в измерении разрушающей силы при растяжении образца через стальные обоймы (захваты).

Метод определения прочности пород при прямом растяжении является более сложным, чем определение прочности горных пород при сжатии. Это связано как с технической сложностью создания линейного растяжения образцов горных пород так и со структурно-текстурными особенностями пород, которые при растяжении проявляются в гораздо большей степени, чем при сжатии.

Следует отметить, что изготовление даже самых простых образцов из слабых и трещиноватых горных пород практически не осуществимо. Осложняющим фактором является возможность появления перекоса в установке образцов или несоблюдения продольной симметрии при их

изготовлении. Это, в свою очередь, приводит к несоосности приложения растягивающего усилия или концентрации напряжений, что резко снижает результаты испытаний.

В связи с отмеченными обстоятельствами, а именно – со сложностью создания однородного напряженного состояния в опытах на прямое растяжение и, соответственно, достоверностью получаемых результатов дополнительно были предложены косвенные методы определения этого показателя, которые будут рассмотрены в лабораторных работах № 3.2, № 3.3 и № 3.4.

Тем не менее, следует отметить, что определяемые этими методами предел прочности на растяжение является в значительной степени прочностной характеристикой не горной породы как материала, а породного образца, имеющего определенную форму, дефектность и нагружаемого определенным способом при определенных контактных условиях. В этом отношении испытание прямым (непосредственным) растяжением, несмотря на его техническую сложность, представляется более корректным методом испытаний.

3.1.2 Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно ГОСТ [1].

Экспериментальная установка содержит пресс марки «ПЕТРОМЕХАНИКС» соединенный с компьютером, устройство преобразующее сжимающее усилие в растягивающее.

Принцип работы заключается в измерении разрушающей силы при продольном растяжении образца через стальные обоймы преобразующего устройства.

Для экспериментов могут быть использованы цилиндрические или призматические образцы с размерами указанными в таблице 3.1.1

Таблица 3.1.1

Размеры образцов

Параметр образца	Размеры	
	Предпочтительные	Допускаемые
Цилиндры, диаметр d, мм	42 ± 2	От 30 до 60 включительно
Призмы, стороны квадрата a, мм	40 ± 1	От 20 до 60 включительно
m, не менее	2	1

m – отношения длины рабочей части образца (между обоймами нагрузочного устройства) к его диаметру или стороне квадрата. Измерения образцов производят штангенциркулем с погрешностью не более $\pm 0,1$ мм. Диаметр (сторону квадрата) измеряют в трех местах по длине образца (в середине и у торцов) в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Допускается разность диаметров (сторон квадрата) по всем измерениям не более 0,5 мм. За расчетный диаметр принимают среднее арифметическое результатов всех измерений.

Подготовленные для испытания образцы должны иметь одинаковые размеры. При массовых испытаниях количество образцов должно быть не менее 6 и обеспечивать относительную погрешность результатов испытания не более 20 % при надежности не ниже 0,8.

3.1.3 Порядок выполнения работы

Образец горной породы боковыми поверхностями скрепляют с помощью сплава Вуда с обоймами (захватами) преобразующего

устройства, обеспечивая при этом центрирование образца в обоймах и их соосность совместной сборкой.

Принципиальная схема центрирования и закрепления образца в обоймах устройства следующая (Рис. 3.1.1)

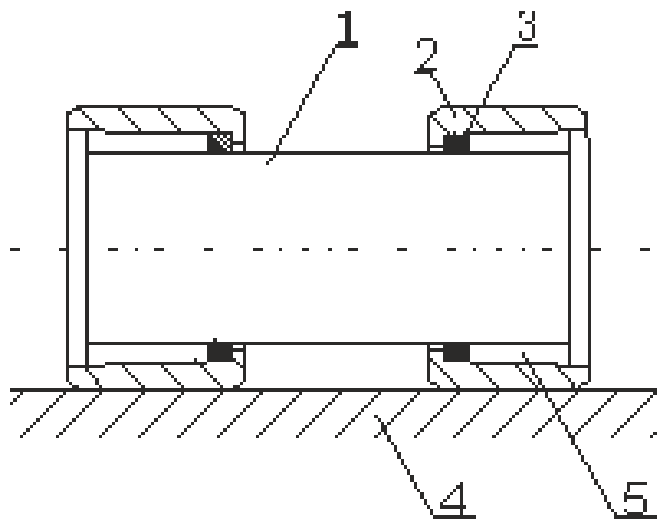


Рис. 3.1.1 Схема центрирования и закрепления образца в обоймах устройства

1 – образец; 2 – обойма; 3 – центрирующее кольцо; 4 – направляющая; 5 –
скрепляющий материал

1. На концы образца 1 надевают обоймы 2.
2. Для центрирования образца в обоймах устанавливают центрирующие кольца 3, обеспечивающие установку образца в обоймах с отклонением от центра, не превышающим требований [1].
3. Для обеспечения требуемой соосности обоймы в сборе с образцом помещают в направляющую 4 центрирующего устройства. Центрирование обойм осуществляют по наружному диаметру.
4. Обоймы прижимают к направляющей зажимом любой конструкции.
5. В полости боковой поверхности образца и внутренней поверхностью обойм заливают расплавленный сплав Вуда 5 или другой скрепляющий материал.

6. После затвердевания скрепляющего материала зажим освобождают, образец с обоймами снимают с направляющей центрирующего устройства и с помощью соединительных элементов любой конструкции, обеспечивающих выполнение требований [1] устанавливают в устройстве, преобразующем сжимающее усилие в растягивающее.

Подготовка к работе пресса «ПЕТРОМЕХАНИКС» выполняется аналогично указаниям приведенным в лабораторной работе № 2.

Устройство с образцом помещается на опорную плиту пресса. При этом обеспечивается центральное и соосное приложение растягивающего усилия к образцу породы (отклонение от соосности не более 0,5 мм). Тем самым исключается передача от захватов устройства к образцу усилий, вызывающих его изгиб и кручение.

Далее с помощью пресса на устройство передается сжимающее усилие, которое преобразуется в нем в растягивающее. Образец горной породы равномерно нагружают до разрушения со скоростью 1–5 МПа/с.

Для этого нажимают кнопку «старт» и ожидают окончания эксперимента. Программа отслеживает состояние системы и в случае падения нагрузки завершит эксперимент; если нагрузка достигла максимального допустимого значения, то расчет ведется по его величине. Нажимают кнопку «вычислить» и «сохранить» данные. Далее рабочее пространство устройства и пресса очищают от обломков породы.

Записывают величину разрушающей силы P в килоньютонах. Значение предела прочности образца горной породы при одноосном растяжении (σ_p^{np}) в МПа для каждого образца вычисляют по формуле

$$\sigma_p^{np} = \frac{P}{S} \cdot 10; \quad (3.1)$$

где: P – разрушающая сила, кН;

S – площадь поперечного сечения образца, см².

Обработку результатов испытаний n образцов производят в следующем порядке. Вычисляют среднее арифметическое значение, по пробе предела прочности σ_p^{np} , среднее квадратичное отклонение Δ и коэффициент вариации V . Формулы для определения указанных характеристик приведены в лабораторной работе №1 определение фактической надежности α результатов испытаний и уточнение необходимого числа образцов производят согласно [1].

3.2 Метод разрушения цилиндрических образцов сжатием по образующим

3.2.1. Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно ГОСТ [1]. Экспериментальная установка содержит: пресс марки «ПЕТРОМЕХАНИКС», соединенный с компьютером; плиты стальные толщиной не менее 0,3 мм диаметра образца с плоскими рабочими поверхностями; клинья стальные с радиусом закругления равным (5 ± 1) мм. Длина плит и клиньев - на 3 - 5 мм больше длины образца. Цилиндрический сегментный шарнир или любой другой конструкции применяют как обязательный при отсутствии на испытательной машине верхней подвесной сферической плиты и располагают между опорой испытательной машины и плитой (клином) (Рис. 3.2.1).

Сущность метода заключается в измерении значения разрушающей силы, приложенной через стальные встречно направленные плиты или клинья нагрузочного устройства к образующим образца на его диаметральной сечении ориентированном заданным способом относительно сложения (слоистости) породы.

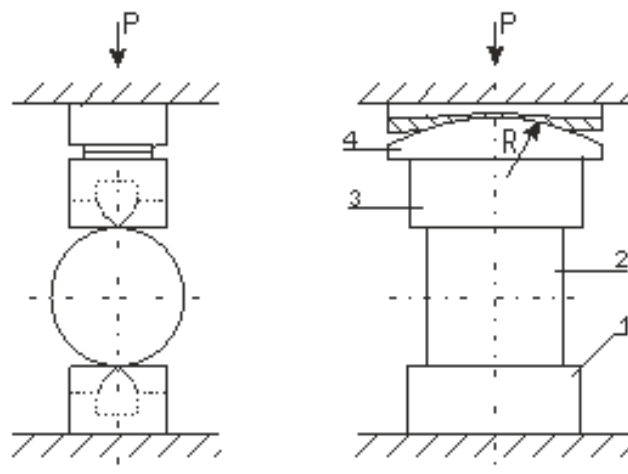


Рис. 3.2.1 Схема установки

1– нижняя плита (нижний клин); 2 – образец; 3 – верхняя плита (верхний клин); 4 – сегмент.

Для экспериментов могут быть использованы цилиндрические образцы с размерами указанными в таблице 3.2.1

Таблица 3.2.1

Размеры образцов

Параметры образца	Размеры	
	предпочтительные	допускаемые
Диаметр d, мм	42 ± 2	От 30 до 80 включ.
m	1.0 ± 0.1	От 0,7 до 1,1 включ.

Примечание, m – отношение длины образца к его диаметру.

Измерения образцов производится штангенциркулем с погрешностью не более $\pm 0,1$ мм.

Образующая боковой поверхности образца должна быть прямолинейной по всей длине. Отклонение от прямолинейности- не более 0,2 мм. Допускаемая шероховатость поверхности- не более 0,5 мм. На каждом образце должно быть намечено карандашом сечение задаваемого раскола образца (разрыва породы).

Образцы, подготовленные для испытания, должны иметь одинаковые размеры. Допускаются отклонения расчетных значений диаметра и длины каждого образца от их средних арифметических значений по всем образцам выборки не более 1 мм.

Количество образцов должно быть не менее 6 и обеспечивать относительную погрешность результатов испытаний не более 20 % при надежности не менее 0,8.

3.2.2 Порядок выполнения работы

Подготовка к работе пресса «ПЕТРОМЕХАНИКС» и основные процедуры работы на нем аналогичны приведенным в лабораторной работе № 2.

Образец горной породы размещают в центре опорной плиты пресса между плитами-прокладками либо между клиньями. Образец между клиньями (плитами) размещают так, чтобы ось образца и линии касания к нему клиньев (плит) находились в плоскости задаваемого раскола (разрыва породы). Образец нагружают до разрушения равномерно со скоростью 1–5 МПа/с. Записывают величину разрушающей силы в килоньютонах, зафиксированную силоизмерителем пресса.

Предел прочности при одноосном растяжении в заданном относительно строения породы направлении σ_p^u в МПа для каждого образца вычисляют по формуле

$$\sigma_p^u = \frac{P}{S} \cdot 10; \quad (3.2.1)$$

где: P – разрушающая сила, кН;

S – площадь разрыва образца, равная произведению его диаметра на длину, см².

Обработка результатов испытаний образцов производится согласно указаниям, приведенным в лабораторной работе № 3.1.

3.3 Метод разрушения образцов произвольной формулы встречными сферическими инденторами

3.3.1 Метод исследований

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно ГОСТ [1].

Дополнительно требуется следующее оборудование и материалы: оборудование для изготовления образцов, а также машины шлифовально-заточные любой конструкции с электроприводом или ручным приводом, молоток геологический, тески слесарные и набор слесарных напильников; устройство установочное по рис. 3.3.1 или любой другой конструкции, размещаемое на опорной плите пресса и обеспечивающее соосное (отклонение от соосности не более 0,1 мм) приложение нагрузок к образцу через стальные сферические инденторы диаметром $(15 \pm 0,05 \text{ мм})$; бумагу масштабно-координатную для нанесения контура поверхности разрыва образца неправильной формы.

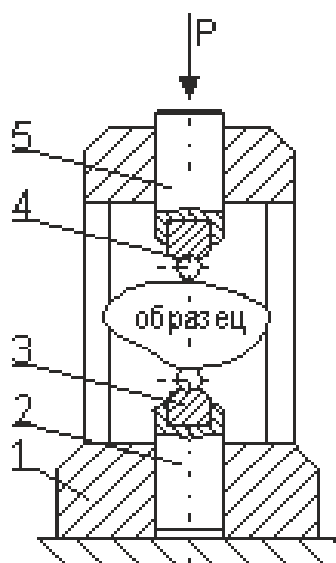


Рисунок 3.3.1. Схема установки

1 – корпус; 2 – нижний шток; 3 – вкладыш; 4 – индентор; 5 – верхний шток

Сущность метода заключается в измерении разрушающей силы, приложенной к образцу через стальные встречно направленные сферические инденторы.

Метод предназначен для испытаний горных пород в лабораторных и полевых условиях с целью определения предела прочности при одноосном растяжении в направлении, перпендикулярном к слабейшему сечению, проходящему через ось нагружения образца.

Образцы неправильной формы подготавливают откалыванием отпиливанием или отшлифовкой, используя любое подходящее оборудование.

Размеры образцов и места их нагружения встречными инденторами должны быть такими, чтобы площадь поверхности разрыва (раскола) была не менее 3 и не более 10 см². Предпочтительно – (15±3) см². При этом площади по поверхности раскола образцов одной выборки не должны отличаться более чем два раза. Места нагружения инденторами намечают карандашом.

Высота образцов (расстояние между точками приложения нагрузки) должны быть не менее 10 мм.

Максимальные и минимальные линейные размеры образцов в пределах поверхности разрыва должны отличаться не более чем в 5 раз.

Ось нагружения образца инденторами должна быть ориентирована относительно строения (слоистости) породы в соответствии с заданным направлением растяжения породы и должна быть удалена от ближайшей боковой поверхности образца на расстоянии не меньше половины высоты образца.

Для устойчивого положения между инденторами образца неправильной формы на двух противоположных его поверхностях непосредственно в местах предполагаемого контакта с инденторами выбирают или подготавливают любыми средствами примерно параллельные площадки не менее 10×10 мм.

Количество образцов правильной формы должно быть не менее 6, а неправильной не менее 10, при условии обеспечения надежности α результатов не ниже 80 %, относительной погрешности ε не более 30 %.

Наиболее рациональные схемы установки образцов приведены на рис. 3.3.2

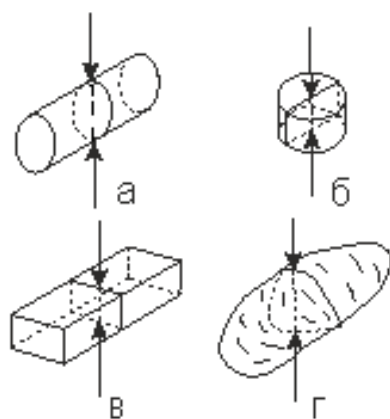


Рисунок 3.3.2 Схемы установки образцов

3.3.2 Порядок выполнения работы

Подготовка к работе пресса «ПЕТРОМЕХАНИКС» и основные процедуры работы на нем аналогичны приведённым в лабораторной работе № 2.

Образец горной породы устанавливает между инденторами.

Образец нагружает до разрушения равномерно со скоростью 0,1–0,5 кН/с. Испытание признают действительным при разрыве образца на две части по поверхности, проходящей через ось нагружения.

Определяют величину площади поверхности разрыва образца в квадратных сантиметрах.

Записывают величину разрушающей силы P в килоньютонах, зафиксированную силоизмерителем прессы.

Предел прочности при одноосном растяжении (σ_p) в МПа для каждого образца вычисляют по формуле

$$\sigma_p = 7,5 \frac{P}{S} * K \quad (3.3.1)$$

где: P – разрушающая сила, кН;

S – площадь поверхности разрушения образца, см².

K – безразмерный масштабный коэффициент, принимаемый равный 1,00 при $S = (15 \pm 3)$ см². Для других значений S коэффициент K устанавливается по таблице 3.3.1

Таблица 3.3.1

Размеры образцов

S , см ²	3	4	5	8	10	15	20
K	0,67	0,72	0,76	0,85	0,90	1,00	1,08
S , см ²	30	35	40	45	50	80	100
K	1,19	1,24	1,28	1,32	1,35	1,52	1,61

Вычисление площади поверхности разрыва образцов неправильной формы производят с погрешностью до 0,10 см², а образцов правильной формы – до 0,01 см², с округлением до 0,10 см².

Обработку результатов испытаний образцов производят в соответствии с указаниями, приведенными в лабораторной работе №3.1

3.4. Метод комплексного определения пределов прочности при одноосном растяжении и сжатии

3.4.1. Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно ГОСТ [1].

Сущность метода определения предела прочности при растяжении заключается в измерении разрушающей силы при многократном раскалывании образцов пластинчатой и брусчатой формы и определения предела прочности при сжатии – в измерении разрушающей силы сжатия при раскалывании образцов кубообразной формы.

Особенность метода заключается в определении пределов прочности при растяжении и сжатии на одной пробе.

Образцы для испытания многократным раскалыванием изготавливают на камнерезной машине, отрезая в заданном относительно строения (слоистости) породы направлении от кернов диски и от штуфов пластины.

Размеры образцов должны соответствовать указанным в таблице 3.4.1.

Таблица 3.4.1

Размеры образцов

Параметр образца	Размеры, мм	
	предпочтительные	допустимые
Поперечные размеры пластины произвольного очертания в плане (диаметр диска), не менее	60 × 60	40 × 40
Толщина	20±1	От 20 до 30 включ.

Для учебных лабораторных работ допускается выпиливание образцов в виде пластин толщиной 20 мм и поперечными размерами 100 × 100 мм.

Торцовые поверхности образца должны быть плоскими и параллельными друг другу. Отклонения от плоскостности – не более 0,1 мм и от параллельности – не более 0,5 мм по диаметру или минимальному размеру образца.

На одной из плоскостей образца карандашом наносят квадратную сетку со стороной, равной толщине пластины, а торец диска диаметром 40 – 60 мм делят на четыре части двумя взаимно перпендикулярными диаметрами.

При этом линии разметки во взаимно перпендикулярным направлениям наносят двумя различными цветами, что позволяет при выполнении эксперимента оценить анизотропию породы – различие значений определяемых параметров по различным направлениям. При подготовке образцов следует учитывать особенности строения породы. Для слоистых пород выпиливают два набора пластин – вдоль и поперек слоистости. При этом на пластине, выпиленной вдоль слоистости, все определения $\sigma_{сж}$ и σ_p будут относиться к параметрам, определенным поперек слоистости, а на пластине, выпиленной поперек слоистости, все значения $\sigma_{сж}$ будут относиться к параметрам, определенным вдоль слоистости, а σ_p – частично к параметрам поперек слоистости, а частично – к параметрам вдоль слоистости.

Для испытания на сжатие используют кубообразные образцы, полученные в процессе раскалывания, с ребром, равным толщине пластины (диска) с допустимыми отклонениями не более ± 2 мм.

Количество образцов должно обеспечивать надежность результатов не ниже 80% при относительной погрешности не более 30 %.

3.4.2 Порядок выполнения работы

Подготовка к работе пресса «ПЕТРОМЕХАНИКС» и основные процедуры работы на нем аналогичны приведенным в лабораторной работе № 2. Приспособление для определения σ_p выполнено в виде стальных клиньев с углом заточки 90° и радиусом закругления лезвий R

= 5 ± 1 мм. Длина лезвий клиньев должна превышать наибольшей линейный размер образца породы.

При определении предела прочности при растяжении σ_p образец помещают между клиньями, совмещая лезвия клиньев с одной из линий, нанесенной на образец сетки.

При этом пластину породы располагают между клиньями так, чтобы лезвие клиньев были строго ориентированы в одной плоскости и параллельны друг другу. Плоскости поверхностей образца породы должны быть строго перпендикулярны направлению приложения раскалывающей силы.

Приводя пресс «ПЕТРОМЕХАНИКС» в действие, нагружают образец равномерно со скоростью 1–5 МПа/с до раскалывания сначала на бруски, затем по поперечным линиям на кубики полуправильной формы (две грани параллельные шлифованные, а четыре грани образовались при раскалывании). Диски диаметром 40–60 мм раскалывают на четыре части.

При каждом раскалывании образца записывают разрушающую силу P в килоньютонах и среднюю длину линии раскола в сантиметрах, которую измеряют штангенциркулем с погрешностью не более ± 0,05 см.

Для определения предела прочности при одноосном растяжении учитывают результаты испытаний, проведенных по линии раскола длиной не менее 20 мм, отстоящей от края пластины не менее чем на 0,5 её толщины.

Предел прочности при одноосном растяжении (σ_p^k) МПа для каждого образца вычисляют по формуле

$$\sigma_p^k = \frac{P}{l \cdot b} \cdot 10 \quad (3.4.1)$$

где: P – разрушающая сила, кН;

l – средняя длина раскола образца, см;

b – толщина пластины (диска), см.

Полученные после многократного раскалывания пластин кубики сечением 20х20х20 мм используют для определения $\sigma_{сж}$. Для этого тщательно осматривают получившиеся в результате раскола кубики полуправильной формы. Кубики с дефектами (выщербленные края, трещины) бракуются. С помощью штангенциркуля уточняются размеры отобранных кубиков. Далее осуществляют их раздавливание на прессе. Для этого образцы размещают так, чтобы сжатие их происходило между плоскими шлифованными поверхностями и нагружают до разрушения равномерно со скоростью 1–5 МПа/с. Записывают величину разрушающей силы P в килоньютонах, зафиксированную силоизмерителем прессы.

Предел прочности при одноосном сжатии ($\sigma_{сж}^k$) в МПа для каждого образца вычисляют по формуле

$$\sigma_{сж}^k = \frac{P}{S} \cdot 10; \quad (3.4.1.)$$

где: P – разрушающая сила, кН;

S – средняя площадь поперечного сечения образца, равна полусумме площадей верхнего и нижнего торцов образца до его разрушения, см².

Обработка результатов испытаний образцов и вычисления погрешностей измерений производят в соответствии с указаниями приведенными в лабораторной работе № 2.

3.5 Оформление лабораторных работ 3.1, 3.2, 3.3, 3.4.

Оформление лабораторных работ осуществляется согласно указаниям приведенным в лабораторных работах №1 и №2 (п.1.4 и 2.4) применительно к решаемым задачам данных работ.

3.6 Техника безопасности при выполнении лабораторных работ 3.1, 3.2, 3.3, 3.4.

Указания по соблюдению правил по технике безопасности приведены в лабораторных работах №1 и №2.

3.7 Литература

1. ГОСТ 21153.3–85. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении – М.: Издательство стандартов. 1985– 6 стр.

Лабораторная работа № 4

Определение предела прочности горных пород при срезе со сжатием

4.1 Введение

Настоящая лабораторная работа распространяется на твердые горные породы с пределом прочности при одноосном сжатии не менее 5 МПа и устанавливает метод определения предела их прочности при срезе со сжатием цилиндрических или призматических образцов.

Работа предназначена для испытаний аналогичных по характеристикам или одинаковых объектов (породных образцов), проводимых для определения характеристик их свойств применительно

к решению учебных любых производственных и научно-исследовательских задач.

Сущность метода среза со сжатием образцов заключается в измерении разрушающей силы, приложенной к образцу, установленному в стальные наклонные матрицы испытательного устройства.

Данный метод позволяет фиксировать плоскость среза и изменять ее положение по отношению к внешнему усилию P , чем достигается изменение величин нормальных и касательных компонент напряжений в плоскости среза, а следовательно, и предельного сопротивления образца срезу по этой плоскости. Срез образцов при опытах производится под углами $25^\circ, 35^\circ, 45^\circ$ к вертикали. При этом внешняя вертикальная сила P , передаваемая от пресса к образцу, автоматически раскладывается на две составляющие: нормальную N к плоскости среза образца и срезающую T , расположенную в той же плоскости.

Результатом лабораторной работы, согласно [1], является получение характеристик предела прочности при срезе τ_θ и нормального сжимающего напряжения σ_θ .

4.2 Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы, согласно ГОСТ [1].

Экспериментальная установка содержит пресс марки «ПЕТРОМЕХАНИКС» оснащенный ЭВМ и испытательное устройство. Устройство, приведенное на рисунке 4.1 размещается на опорной плите прессы и содержит сменные разъемные матрицы с вкладышами и разрезными обоймами для установки образца под углами наклона $\theta = 23^\circ, 35^\circ, 45^\circ$ и опорное приспособление в виде стальных плит с роликовой постелью. Режущие кромки вкладышей должны быть

расположены в одной диаметральной (цилиндрические образцы) или срединной (призматические образцы) плоскости образца.

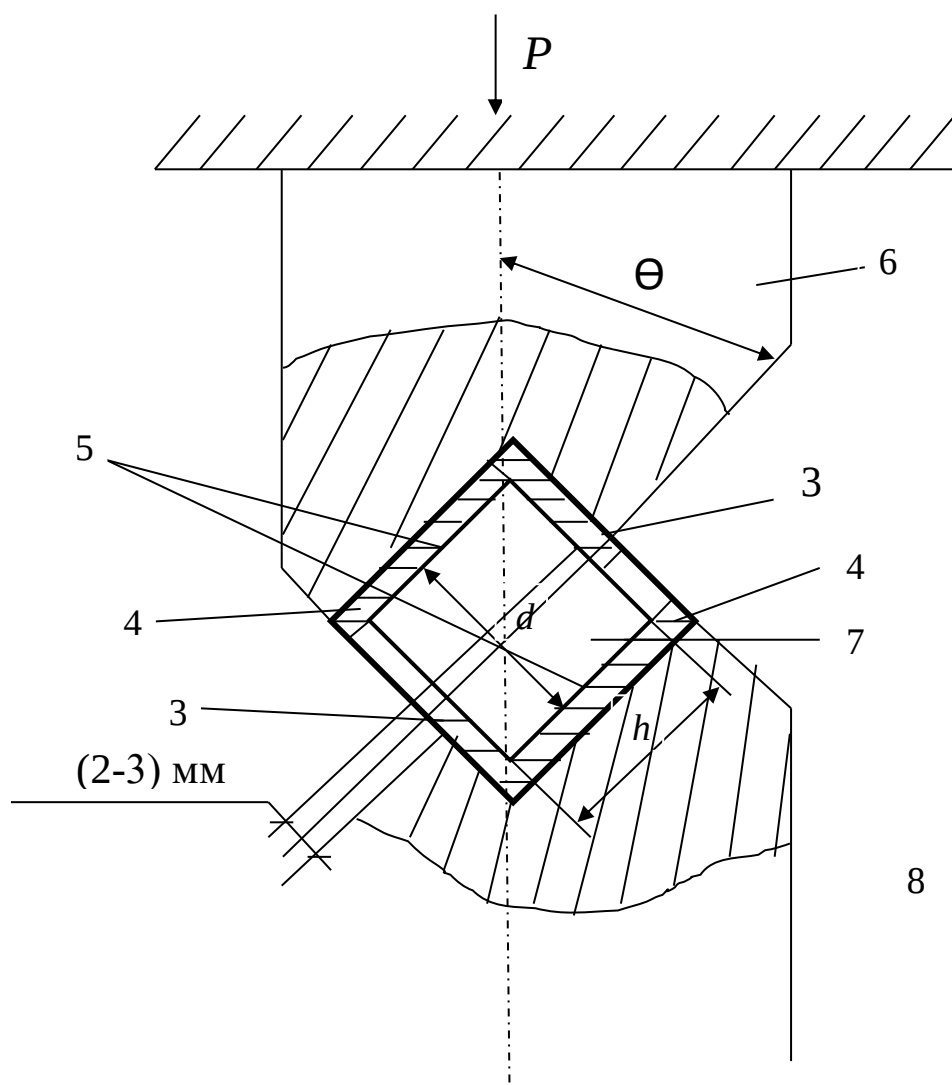
Для испытания изготавливают цилиндрические или призматические (с квадратным сечением) образцы.

Образцы выбурируют или вырезают на камнерезной машине из штуфов и кернов, их торцевые поверхности шлифуют. Образцы выбирают по размерам, приведенным в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Размеры образцов

Параметр образца	Размеры	
	предпочтительные	допускаемые
Диаметр (сторона квадрата), мм	42 ± 2	От 30 до 75 включ.
Отношение высоты h к диаметру (стороне квадрата) d	$1,0 \pm 0,1$	



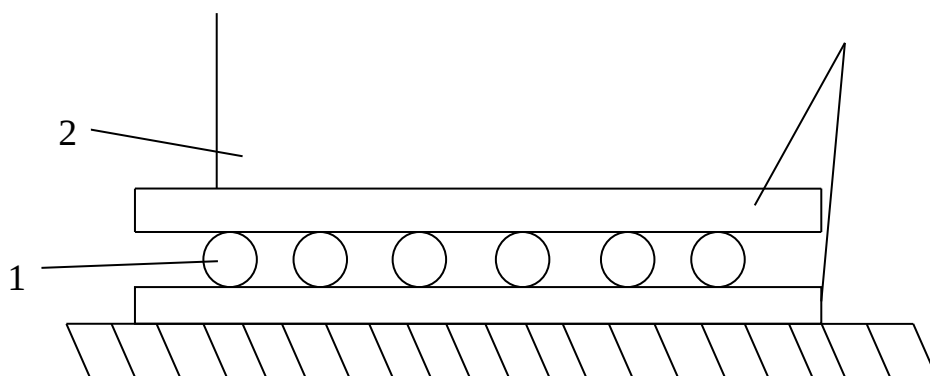


Рис. 4.1 Схема устройства
1-роликовая постель; 2-нижняя матрица; 3-вкладыш; 4-обоймы; 5-фольга;
6-верхняя матрица; 7-образец; 8-плиты

Особые требования предъявляются к точности размеров образцов, помещаемых в матрицы устройства. Для этого необходимо выполнение следующих условий:

Измерения производят штангенциркулем с погрешностью не более ± 0.1 мм. Диаметр (сторону квадрата) измеряют в трех местах по высоте образца (в середине и у торцов) в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Допускается разность диаметров (сторон квадрата) по этим измерениям не более 0,1 мм. За расчетный размер принимают среднее арифметическое значение результатов всех измерений. Средний диаметр образца должен быть меньше внутреннего диаметра обоймы не более чем на 0.2 мм.

Торцевые поверхности образца должны быть плоскими, параллельными друг другу и перпендикулярными к боковой поверхности.

Неплоскостность (выпуклость, вогнутость) проверяют линейкой штангенциркуля или боковой поверхностью слесарного угольника на отсутствие просвета и устраняют шлифованием.

Отклонение от параллельности измеряют индикатором, установленным на стойке по двум взаимно перпендикулярным

направлениям; величина его должна быть не более 0,1 мм по диаметру (стороне квадрата).

Перпендикулярность проверяют слесарным угольником на отсутствие просвета в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Образующие боковых поверхностей образца должны быть прямолинейными и параллельными по всей высоте. Отклонения от прямолинейности и параллельности проверяют индикатором, установленным на стойке. Значения отклонений должны быть не более 0,2 мм.

Образцы одной выборки должны иметь одинаковые размеры. Допускаются отклонения значений диаметра (стороны квадрата) каждого образца от среднего арифметического значения по всем образцам выборки не более $\pm 0,1$ мм и высоте не более $\pm 2,0$ мм.

Количество образцов для испытания при каждом из углов наклона ($\theta = 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ$) должно быть не менее 6, при условии обеспечения надежности результатов α не менее 80 % и относительной погрешности ε не более 30 %.

4.3 Порядок выполнения работы

Подготовка к работе пресса «ПЕТРОМЕХАНИКС» аналогична, приведенной в лабораторной работе № 2.

Последовательность выполнения работы следующая:

Образец горной породы помещают в матрицу испытательного устройства. Между образцом и обоймами матрицы прокладывают фольгу,

Собранную с образцом матрицу вместе с опорным приспособлением устанавливают в центре опорной плиты

испытательной машины (пресса), располагая оси роликов параллельно срезающим кромкам матрицы.

Образец нагружают равномерно со скоростью роста срезающих напряжений 1-5 МПа/с до полного разрушения по плоскости среза.

Значение разрушающей силы P определяют в килоньютонах, зафиксированное силоизмерителем пресса.

При необходимости определяют влажность испытанного образца. Для этого выбирают обломки образца, помещают их в бюксы не позже чем через 10 мин после выполнения испытаний.

Основные процедуры работы, на прессе «ПЕТРОМЕХАНИКС» в режиме испытаний образцов горных пород на сжатие со срезом, аналогичны приведенным в лабораторной работе № 2.

Предел прочности при срезе (τ_0) и нормальное сжимающее напряжение (σ_0) в мегапаскалях для каждого образца вычисляют по формулам [1]:

$$\tau_0 = \frac{10P}{S} \cdot \cos\theta \quad \sigma_0 = \frac{10P}{S} \cdot \sin\theta, \quad (4.1)$$

где P - разрушающая сила, кН;

θ - угол между плоскостью среза и направлением действия разрушающей силы, град.

$S = h * d$ - площадь плоскости среза образца, см².

Обработку результатов испытаний образцов (n) при одном угле среза θ производят в следующем порядке.

Вычисляют среднее арифметическое значение предела прочности $\overline{\sigma_0}$, среднее квадратическое отклонение Δ_{τ_θ} и коэффициент вариации V_{τ_θ} :

$$\overline{\tau_\theta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_{\theta_i}; \quad (4.2)$$

$$\Delta_{\tau_{\theta}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\tau_{\theta_i} - \overline{\tau_{\theta}})^2}; \quad (4.3)$$

$$V_{\tau_{\theta}} = \frac{\Delta_{\tau_{\theta}}}{\overline{\tau_{\theta}}} \cdot 100\%. \quad (4.4)$$

Определение фактической надежности α результатов испытаний и уточнение необходимого числа образцов n для достижения заданной надежности производят согласно приложению [1].

4.4 Оформление лабораторной работы

Оформление лабораторной работы осуществляется согласно указаниям, приведенным в лабораторных работах № 1 и № 2 (п.1.4 и 2.4), применительно к решаемым задачам данной работы.

4.5 Техника безопасности при выполнении лабораторных работ

Указания по соблюдению правил по техники безопасности приведены в лабораторной работе № 1.

4.6 Литература

1. ГОСТ 21153.5-88. Породы горные. Метод определения предела прочности при срезе со сжатием. – М.: Издательство стандартов. 1988 – 5 с.

Лабораторная работа № 5

Построение паспорта прочности горных пород

5.1 Введение

Сопротивление горных пород сжатию, растяжению и сдвигу, рассмотренных в предыдущих лабораторных работах, является механическими характеристиками, отражающими прочность пород при простых напряженных состояниях.

Поскольку в натурных условиях горные породы находятся в сложных напряженных состояниях, а прочностные и деформационные

свойства являются функциями напряженного состояния, то возникает необходимость в изучении поведения пород в этих условиях.

Согласно [1] сложность напряженного состояния обуславливается тем, что на каждый элемент породы, находящийся в глубине массива вокруг горной выработки или под основанием, наряду с усилием, действующим в вертикальном направлении P_1 (толща пород, нагрузка от сооружения), появляются горизонтальные составляющие, вызванные деформацией элемента под влиянием внешних сил, P_2 и P_3 .

Следовательно, рассматриваемый нами элемент породы находится в объемном равномерном (по всем трем осям нормальны напряжения σ_1 , σ_2 и σ_3 равны) или неравномерном напряженном состоянии. Равномерное объемное напряженное состояние имеет место в глубине массива. Неравномерное объемное напряженное состояние возникает при обнажении части породного массива.

Так как величины компонент напряжения σ_1 , σ_2 и σ_3 могут принимать бесчисленное множество различных значений и практически невозможно осуществить полную гамму опытов с различным соотношением компонент, то для сопоставления прочностных свойств материалов разрабатываются теории прочности. Задачей теории прочности является установление критерия прочности, на основании которого можно было бы сравнить между собой различные напряженные состояния.

До сих пор не удалось создать универсальную теорию прочности материалов [1]. Это объясняется тем, что материалы, встречающиеся в природе, отличаются исключительным разнообразием своих механических свойств, по-разному реагируют на механические воздействия и в условиях простых напряженных состояний имеют различную степень хрупкости и пластичности.

Тем не менее специалисты по геомеханике почти единодушно считают [1], что из всех известных гипотез и теорий прочности наиболее удовлетворительно описывает поведение горных работ теория Мора.

Поэтому мы ограничиваемся в данной лабораторной работе рассмотрением только этой теории.

В теории Мора постулируется, [1] что ответственными за разрушение являются касательные напряжения, а само разрушение носит характер сдвига по площадкам, на которых достигается предельное состояние, причем величина предельного касательного напряжения является функцией нормального напряжения, действующего на площадке скольжения.

При этом условия прочности определяются соотношением касательных и нормальных напряжений в каждой точке тела, находящегося в объемном напряженном состоянии. В системе координат σ, τ это выражается кривой, огибающей семейство кругов напряжений, построенных для различных случаев предельного напряженного состояния. Вследствие малой кривизны ее часто интерпретируют прямой линией [2].

Согласно теории прочности О. Мора разрушение наступает при превышении касательными напряжениями критических значений $[\tau]$, определяемых ординатами огибающей, а также в случае, если нормальные растягивающие напряжения превысят предел прочности на растяжение $[\sigma_p]$ при отсутствии касательных напряжений ($\tau = 0$). Таким образом, в теории прочности О. Мора фактически учитываются оба вида разрушения твердых тел.

Функциональная зависимость между величинами касательных и нормальных напряжений, отражающая условие прочности горных пород, фактически представляет собой паспорт прочности горной породы.

Согласно [3] паспортом прочности горной породы является кривая, огибающая предельные круги напряжений Мора в координатах нормальных σ и касательных τ напряжений. Предельный круг Мора соответствует предельному напряженному состоянию, достигаемому при данном соотношении наибольшего $\sigma_{\max}$ и наименьшего $\sigma_{\min}$ главных нормальных напряжений, и имеет радиус $R = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$ с координатами центра $\left(\frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}; 0\right)$.

На рис. 5.1 приведены наиболее характерные круги Мора, огибающая их кривая и обозначены основные параметры, определяемые по паспорту прочности:

- предельное сопротивление срезу τ_c (сцепление C_0) при отсутствии нормальных напряжений, т.е. $\sigma = 0$ и соответствующий угол внутреннего трения φ_0 (коэффициент внутреннего трения $\tan \varphi_0$) – постоянные параметры;

- условное сцепление C при различных напряжениях σ , τ и соответствующий угол внутреннего трения φ (коэффициент внутреннего трения $\tan \varphi$) – переменные параметры.

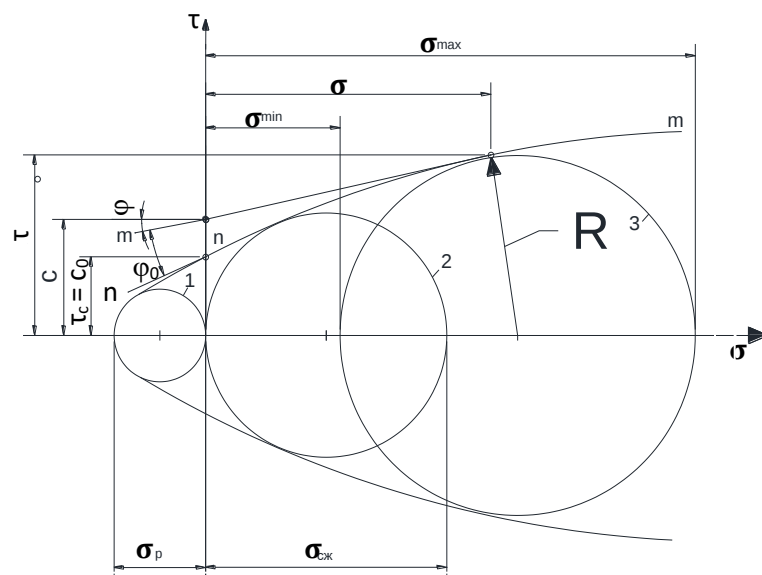


Рис. 5.1 Круги Мора

1 – круг одноосного растяжения; 2 – круг одноосного сжатия; 3 – круг объемного сжатия; $\pi\pi$ – касательная к огибающей в точке ее пересечения с осью τ ; $\pi\pi\pi$ – касательная к огибающей в любой точке на ней.

Построение паспортов прочности по результатам экспериментального определения свойств пород может быть осуществлено различными способами [2].

5.2 Методы построения паспорта прочности горных пород

Паспорт прочности может быть представлен в виде прямолинейной, параболической или гиперболической огибающей. Рассмотрим наиболее простой способ построения паспорта прочности (прямолинейная форма). Используя данные предыдущих лабораторных работ на горизонтальной оси (рис. 5.2) откладывают от нуля влево значение предела прочности на одноосное растяжение $[\sigma_r]$, а вправо – значение предела прочности на сжатие $[\sigma_{сж}]$. На этих отрезках, как на диаметре, строят окружности (так называемые круги напряжений Мора) и проводят общую касательную к ним, которая и представляет собой паспорт прочности. Отрезок, отсекаемый касательной на оси ординат τ , характеризует сцепление $[\tau_0]$ образца породы, а угол ее наклона – угол внутреннего трения φ . Паспорт прочности в виде прямой линии достаточно точно отражает свойства хрупких пород, особенно в условиях действия невысоких напряжений.

τ_0

φ

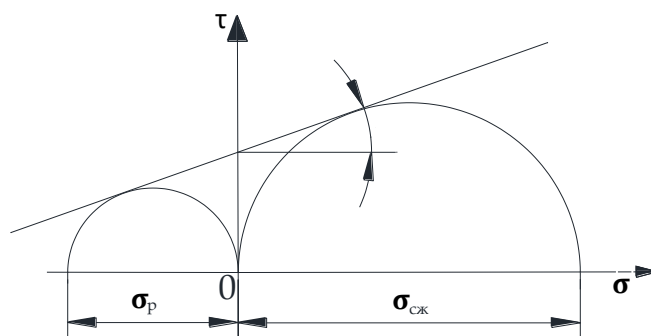


Рис. 5.2 Прямолинейная форма паспорта прочности

В настоящее время ГОСТом [3] рекомендованы следующие методы построения паспорта прочности горных пород:

- по данным определения *пределов прочности при объемном сжатии, одноосном сжатии и растяжении*. Для этого используют результаты определения пределов прочности при объемном сжатии $\sigma_{сж}$ не менее чем при трех различных значениях бокового давления P . По совокупности парных значений $\sigma_{сж}^0 = \sigma_{max}$ и $P = \sigma_{min}$ в координатах $\sigma - \tau$ строят семейство полуокружностей радиусами $\frac{\sigma_{сж}^0 - P}{2}$ с координатами центров $\left(\frac{\sigma_{сж}^0 + P}{2}; 0\right)$ к полученному семейству полуокружностей добавляют полуокружности радиусами $\sigma_p/2$ и $\sigma_{сж}/2$ с координатами центров $\left(-\frac{\sigma_p}{2}; 0\right)$ и $\left(\frac{\sigma_{сж}}{2}; 0\right)$, где σ_p и $\sigma_{сж}$ - пределы прочности при одноосном растяжении и сжатии соответственно.

Далее проводят плавную кривую, огибающую все пять (или более) полуокружностей.

По данным *определения пределов прочности при срезе со сжатием, одноосном сжатии и растяжении*. Для этого по совокупности парных значений τ_0 и σ_0 , определенных в лабораторной работе № 4 в координатах $\sigma - \tau$ наносят точки 1, 2 и 3, соответствующие углам $\theta = 25^\circ, 35^\circ$ и 45° в соответствии с Рис. 5.3

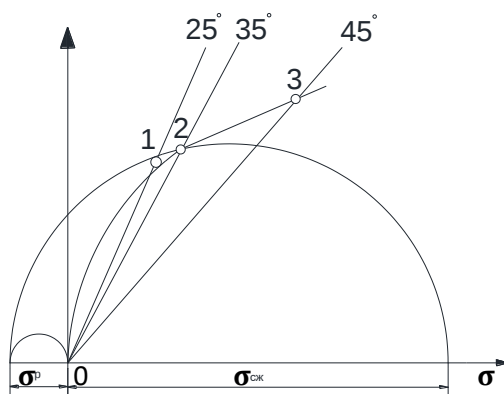


Рис. 5.3 Схема построения паспорта прочности

Радиусы – векторы, отложенные под углами 25° , 35° и 45° к оси абсцисс имеют длину, равную усредненным экспериментальным значениям полных разрушающих напряжений среза. Далее к семейству точек добавляют полуокружности одноосного растяжения и сжатия.

Проводят плавную кривую, огибающую полуокружности и проходящую через точки 1, 2, 3.

По данным определения пределов прочности при одноосном сжатии и растяжении. (Расчетный метод). Метод предусматривает определение координат точек огибающей расчетным путем по эмпирическому уравнению, приведенному в [3] с использованием данных определения пределов прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ и растяжении σ_p .

Метод применим в диапазоне нормальных напряжений σ , не превышающих значения $1,5 \sigma_{сж}$.

Метод достаточно подробно с примеров расчета изложен в [3] и в связи с этим в данной лабораторной работе не рассматривается.

5.3 Определение основных параметров паспорта прочности

Предельное сопротивление срезу τ_c (сцепление C_0) при отсутствии нормальных напряжений определяют как ординату точки пересечения огибающей с осью τ согласно черт 5.1, а соответствующий угол

внутреннего трения φ_0 как угол наклона касательной $\pi\pi$ к огибающей в этой же точке.

Условное сцепление C в любой точке (σ, τ) огибающей определяют как ординату точки пересечения касательной $\pi\pi$ к огибающей в точке (σ, τ) с осью τ , а соответствующий угол внутреннего трения φ как угол между этой касательной и осью σ : $\varphi = \arctg \frac{\tau - C}{\sigma}$.

Условное сцепление C_{1-2} в заданном диапазоне напряжений $(\sigma_1 \dots \sigma_2)$ или $(\tau_1 \dots \tau_2)$ определяют как ординату точки пересечения прямой, проведенной через соответствующие точки огибающей, с осью τ согласно Рис. 5.4, а соответствующий угол внутреннего трения $\varphi_1 \dots \varphi_2$ как угол между этой прямой и осью σ

$$\varphi_{1-2} = \arctg \frac{\tau_2 - \tau_1}{\sigma_2 - \sigma_1}.$$

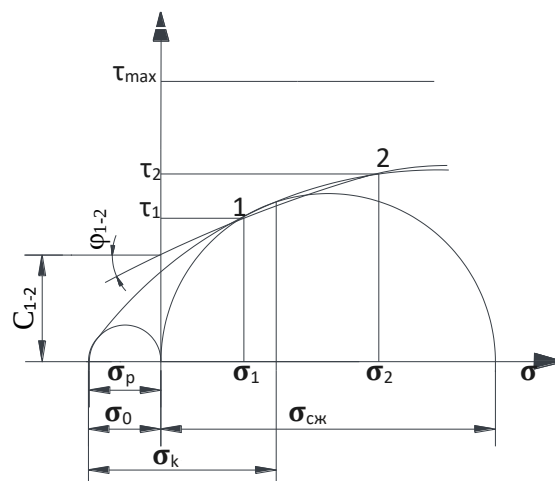


Рис. 5.4 Схема построения паспорта прочности

5.4 Порядок выполнения работы

Построение паспорта прочности горной породы производится упрощенным способом (прямолинейная форма паспорта прочности) и методом по данным определения пределов прочности при одноосном сжатии и растяжении.

На миллиметровке в одном и том же масштабе откладывают по оси абсцисс нормальные напряжения σ , а по оси ординат – касательные напряжения τ . От начала координат вправо откладывают среднюю величину $\sigma_{сж}$, полученную по данным эксперимента. Из центра полученного отрезка радиусом $0,5 \sigma_{сж}$ чертят полуокружность, представляющую собой предельный круг напряжений при сжимающей одноосной нагрузке для данной горной породы.

Точно так же слева от начала координат строят предельный круг напряжений для σ_p . После этого проводят касательную к обоим кругам напряжений. Это и есть прямолинейный участок паспорта прочности изучаемой горной породы.

На графике измеряют угол наклона касательной к оси абсцисс ρ , являющийся углом внутреннего трения породы, и величину отрезка на оси ординат от начала координат до точки пересечения касательной к предельным кругам напряжений с осью ординат, равного величине сцепления (МПа).

Значения $\sigma_{сж}$ и σ_p принимаются по результатам лабораторных работ № 1 и № 3.

5.5 Оформление лабораторной работы

Оформленная работа должна содержать:

- краткий конспект по внеаудиторной подготовке и теоретическим основам построения паспорта прочности горных пород;
- название работы, ее цель и задачи, характеристику подхода к построению паспорта прочности;
- объяснение физического смысла угла внутреннего трения и сцепления горной породы;

- паспорт прочности горной породы и числовые характеристики ее прочности;
- анализ полученных результатов и выводы.

5.6 Литература

1. Свойства горных пород и методы их определения / Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. – М.: Недра, 1969. – 392 с.
2. Геомезаника: Учебное пособие / Э.В. Каспарьян, А.А. Козырев, М.А. Иофис, А.Б. Макаров. – М.: Высш. шк., 2006. – 503 с.
3. ГОСТ 21153.8-88. Породы горные. Метод определения предела прочности при объемном сжатии. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 15.

Лабораторная работа № 6

Определение коэффициента крепости горной породы по Протодяконову

6.1 Введение

Термин крепость применим как для характеристики горных пород в отношении сопротивления их разрушения при добычании, так и в отношении их устойчивости с точки зрения сохранности горных выработок. Он пригоден для характеристики любых видов разрушения. Поэтому можно рассматривать крепость как сопротивление разрушению вообще. При этом различные показатели механических свойств пород являются частными видами их крепости для различных видов разрушения. Мерой крепости горных пород является коэффициент крепости f . [1]

Определение коэффициента крепости методом толчения [1] основано на принципе пропорциональности работы, затрачиваемой на дробление определенной пробы горной породы, величине вновь образованной при этом поверхности. Эта закономерность была сформулирована еще в конце XIX в. Риттингером. Согласно этому закону при разрушении (дроблении) какого-либо хрупкого материала определенной работе, затраченной на разрушение, соответствует пропорциональная ей вновь образованная поверхность получившихся при этом отдельных кусочков материала.

Если работу дробления оставлять неизменной, то естественно предположить, что величина вновь образованной поверхности для различным материалов будет меняться обратно пропорционально их крепости. Чем прочнее материал, тем меньше вновь образованная поверхность, и наоборот.

При дроблении хрупкого материала разрушение его происходит в сложном напряженном состоянии, при котором материал подвергается сжатию, растяжению, сдвигу и изгибу одновременно. [1] Следовательно, показатель прочности, полученный при дроблении, должен представлять собой какую-то интегральную характеристику прочности,

близкую ко многим практическим случаям нагружения материалов, в частности горных пород, особенно при их разрушении взрывом, при резании и скалывании зубцами и резцами врубовых машин и комбайнов, при измельчении в дробилках различных типов, при бурении. Исследователями [1] установлено, что вновь образовавшаяся при разрушении (дроблении) хрупкого материала поверхность складывается в основном (примерно на 90 %) из поверхности мельчайших кусочков величиной менее 0,5 мм. Поэтому для значительного упрощения метода после дробления определяется поверхность только мелких фракций.

В горном деле [2] наибольшее распространение получила геомеханическая классификация горных пород по коэффициенту крепости, предложенная в 1926 г. М.М. Протоdjяконовым. В первом приближении коэффициент крепости $f = 10^{-7} \sigma_{сж}$, где $\sigma_{сж}$ - предел прочности горных пород на одноосное сжатие (Па). Все породы разделены на 10 категорий:

I и II категории – породы высшей крепости с $f > 15$, к которым относятся кварциты, базальты и др.;

III и IV категории – крепкие породы с $f = 8 \div 15$, к которым относятся граниты, песчаники и др.;

V категория – породы средней крепости с $f = 3 \div 8$, к которым относятся крепкие глинистые сланцы, некрепкие известняки и песчаники, конгломераты и др.;

VI и VII категории – мягкие породы с $f = 0,8 \div 2$, к которым относятся мягкие сланцы и известняки, соли, уголь, глины и др.;

VIII – X категории – землистые, сыпучие и плавунные грунты с $f = 0,3 \div 0,6$.

6.2 Метод испытаний

Настоящая лабораторная работа может быть использована для твердых горных пород и устанавливает метод определения коэффициента их крепости по Протодюконову для классификации пород по этому показателю и использования его в технической документации при расчетах и проектировании горных работ, горного оборудования, а также при проведении научно-исследовательских работ.

Сущность метода заключается в определении коэффициента крепости, который пропорционален отношению работы, затраченной на дробление горной породы к вновь образованной при дроблении поверхности, оцениваемой суммарным объемом частиц размером менее 0,5 мм.

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы по ГОСТ [1].

Экспериментальная установка – прибор для определения крепости ПОК состоит из стакана 1, вставленного в него трубчатого копра 2, внутри которого свободно помещается гиря 3 массой $2,4 \pm 0,01$ кг с ручкой 4, привязанной к гире шнуром. Трубчатый копер имеет в верхней части отверстия, в которые вставляются штифты 5, ограничивающие подъем гири. В комплект прибора входит объемомер, состоящий из стакана 6 и плунжера 7 со шкалой измерений с диапазоном показаний от 0 до 150 мм вдоль его продольной оси; (Рис. 6.1)

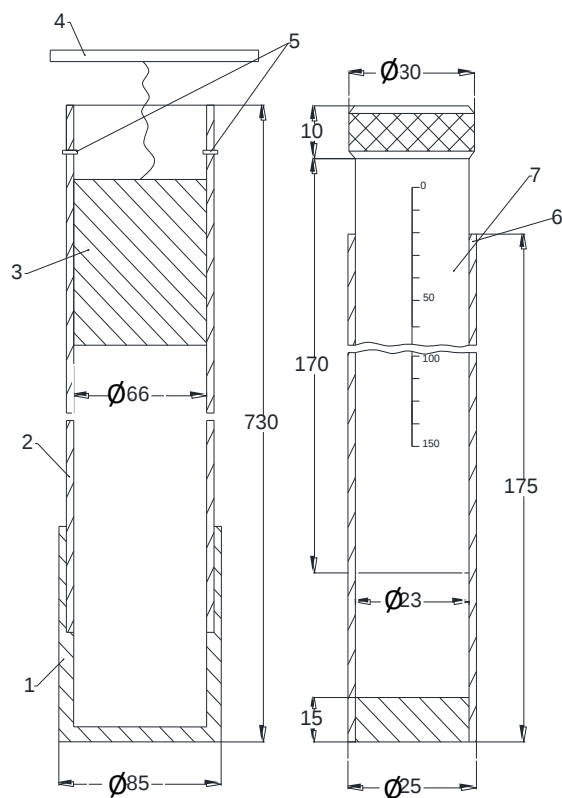


Рис. 6.1 Схема прибора

Дополнительно, для проведения опытов необходимо сито с сеткой № 0,5 по ГОСТ 6613-73 для просеивания породы после дробления.

Для проведения испытаний рассматриваемым методом необходимы куски породы размером 20 – 40 мм. Для этого отобранную пробу горной породы раскалывают молотком на твердом основании до получения кусков необходимых размеров. Из измельченного материала пробы отбирают двадцать навесок массой 40 – 60 г каждая.

6.3 Порядок выполнения работы

Из полученных двадцати навесок выбираются любые первые пять навесок. Далее стакан с вставленным в него трубчатым копром и навеской устанавливают на жесткое массивное основание:

железобетонный или асфальтированный пол, стальную плиту (массой не менее 20 кг, толщиной около 10 см).

Каждую из пяти навесок отдельно дробят в стакане гирей, падающей с высоты 60 см. Число сбрасываний гири принимают в зависимости от ожидаемой крепости породы, обычно от 5 до 15 сбрасываний на каждую навеску.

Окончательно число сбрасываний гири на каждую навеску устанавливают при дроблении первых пяти навесок.

При очень мягких породах число сбрасываний может быть сокращено до 1, а при очень крепких – увеличено до 30.

Правильность выбранного режима испытания контролируют после просеивания первых пяти раздробленных навесок на сите до прекращения выделения подрешетного продукта и замера его объема в объемомере. При получении столбика мелочи высотой 20 – 100 мм по шкале плунжера число сбрасываний на каждую навеску сохраняют для оставшихся пятнадцати навесок. При меньшей или большей высоте столбика мелочи в объемомере число сбрасываний корректируют соответственно в большую или меньшую сторону.

Оставшиеся пятнадцать навесок дробят в приборе последовательно в установленном режиме испытания: при постоянном числе сбрасываний гири n и высоте подъема гири 60 см.

После дробления каждой пяти навесок их просеивают на сите, подрешетный продукт сита ссыпают в объемомер, измеряют плунжером высоту столбика мелочи и записывают ее.

Коэффициент крепости горной породы (f) вычисляют по формуле

$$f = \frac{20 \cdot n}{h}, \quad (6.1)$$

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

n - число сбрасываний гири при испытании одной навески;

h - высота столбика мелкой фракции в объемном измерителе после испытания пяти навесок, мм.

За окончательный результат испытания принимают среднее арифметическое результатов четырех определений.

Таким образом метод толчения позволяет производить определения коэффициента крепости горных пород и углей f непосредственно в любых производственных условиях – в шахте, карьере, на обогатительной фабрике и т.д. Прибор ПОК, состоящий из трубчатого копра со стаканом, гири со шнуром, сита и объемного измерителя, отличается простотой и удобством применения. Метод удобен для получения предварительных данных о прочности горных пород и угля при решении вопросов нормирования работ, механизации и автоматизации выемки полезного ископаемого и проведения горных выработок, управления горным давлением и т.д.

6.4 Оформление лабораторной работы

Оформление лабораторной работы осуществляется согласно указаниям, приведенным в лабораторных работах № 1 и № 2 (п. 1.4 и 2.4), применительно к решаемым задачам данной работы.

6.5 Техника безопасности

1. К лабораторной работе допускаются, студенты прошедшие общий инструктаж по технике безопасности в лаборатории НОЦ Горного факультета ЗабГУ.

2. Запрещается приступать к выполнению лабораторной работы не изучив ее описания и не получив допуск у преподавателя.

3. При раскалывании пробы горной породы молотком необходимо соблюдать осторожность и использовать защитные очки или маску.

Литература

1. Свойства горных пород и методы их определения / Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. – М., Недра, 1969. – 392 с.

2. Баклашов И.В. Геомеханика: Учебник для вузов. В 2 т. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. - Т.1. Основы геомеханики – 208 с.

3. ГОСТ 21153.1-75*. Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протоdjяконову. – М.: Издательство стандартов. 1981. – 4 с.

Лабораторная работа № 7

Определение деформационных характеристик горных пород при одноосном сжатии

7.1 Введение

Важными механическими показателями свойств горных пород, характеризующими как их разрушаемость исполнительными органами горных машин, так и их устойчивость в подземных горных выработках и бортах карьеров, являются показатели их деформационных свойств:

зависимость «напряжение – деформация»;

модуль упругости E_y ;

коэффициент Пуассона μ ;

модуль деформации E_d ;

коэффициент поперечной деформации ν .

В процессе эксперимента по одноосному сжатию породных образцов обычно фиксируются только внешние проявления этого внутреннего механизма в виде усредненных по поперечному сечению продольных нормальных напряжений σ_1 и продольных линейных деформаций ε_1 и усредненных по продольному сечению поперечных линейных деформаций ε_2 и ε_3 (для цилиндрических образцов $\varepsilon_2 = \varepsilon_3$). Здесь и в дальнейшем под линейными деформациями понимаются относительные удлинения или укорочения соответствующих линейных размеров образцов [1].

В результате эксперимента представляется возможным построить диаграмму деформирования (зависимость напряжения – деформация), показанную на рис. 7.1, где по горизонтальной оси вправо отложены продольные деформации ε_1 образца, влево – возникающие поперечные деформации ε_2 , а по вертикальной оси – соответствующие продольные нормальные напряжения σ_1 в образце.

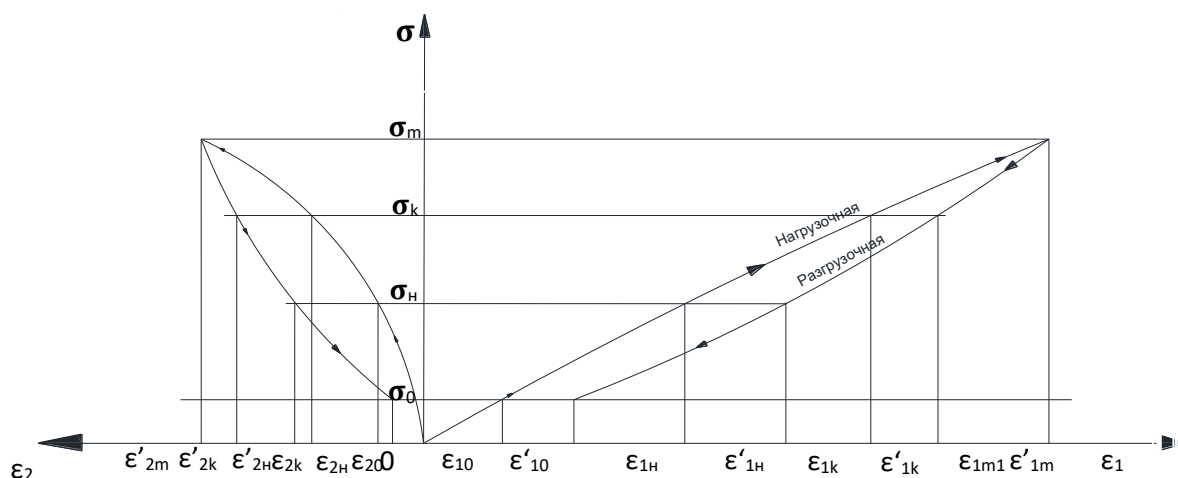


Рис. 7.1 Диаграмма деформирования

Подобные диаграммы деформирования несут в себе ценную количественную информацию о механических свойствах горных пород, знание которых необходимо для прогнозирования различных проявлений горного давления (нагрузки на крепь выработок, деформаций кровли камер, горных ударов и выбросов), проектирования грузонесущих элементов породных массивов (целиков, откосов и др.), а также для расчетов процессов разрушения, дробления и измельчения пород на открытых и подземных горных работах.

Согласно [1] не следует забывать, что в результате эксперимента определяются механические свойства образца горной породы, а не самой горной породы. Допускаемая при этом погрешность в оценке механических свойств горной породы зависит от многих причин. Во-первых, даже если размеры породного образца больше элементарного объема горной породы, определяемого по ее минеральному строению, стандартный породный образец может включать структурные элементы или дефекты более крупных размеров, что искажает экспериментальную оценку механических свойств горной породы: это так называемый масштабный эффект. Во-вторых, при отборе и последующем

изготовлении образцов нарушаются условия естественного залегания горных пород (структура, влажность, газонасыщенность, контакты с окружающими породами, пространственная ориентация в массиве и др.). В-третьих, при испытании образцов из-за несовершенства экспериментальных методов нарушаются условия естественного силового нагружения, что искажает процессы деформирования и разрушения горных пород.

Основной характеристикой деформируемости или деформационных свойств горных пород на допредельной стадии их деформирования является коэффициент связи напряжений и деформаций. На участке линейного упругого деформирования (см. рис. 7.1) в интервале напряжений от σ_k до σ_n этот коэффициент имеет смысл модуля упругости горной породы при сжатии E_y , который численно равен отношению приращения напряжений ($\sigma_k - \sigma_n$) к приращению продольных относительных деформаций ($\varepsilon'_{1k} - \varepsilon'_{1n}$) в конце и начале диапазона при разгрузке.

$$E_y = \frac{\sigma_k - \sigma_n}{\varepsilon'_{1k} - \varepsilon'_{1n}}; \quad (7.1)$$

Поскольку деформирование породных образцов на участке от σ_{1n} до σ_{1k} происходит при закрытых поперечных трещинах и упругом сжатии минерального скелета, модуль упругости E_y являются в основном характеристикой горной породы как материала. [1]

Коэффициент Пуассона μ определяют в этом же диапазоне напряжений по разгрузочной ветви зависимости $\sigma - \varepsilon$

$$\mu = \frac{\varepsilon'_{2k} - \varepsilon'_{2n}}{\varepsilon'_{1k} - \varepsilon'_{1n}}; \quad (7.2)$$

Модуль деформации E_d и коэффициент поперечной деформации γ в заданном диапазоне напряжений ($\sigma_n - \sigma_k$) определяются по нагрузочным ветвям зависимостей $\sigma - \varepsilon$ по формулам:

$$E_d = \frac{\sigma_k - \sigma_n}{\varepsilon_{1k} - \varepsilon_{1n}}; \quad (7.3)$$

коэффициент поперечной деформации (ν)

$$\nu = \frac{\varepsilon_{2k} - \varepsilon_{2n}}{\varepsilon_{1k} - \varepsilon_{1n}}. \quad (7.4)$$

где σ_k , σ_n - напряжения в конце и начале диапазона при нагружении или разгрузке, МПа;

ε_{1k} , ε_{1n} - относительные продольные деформации образца в конце и в начале диапазона при нагружении;

ε_{2k} , ε_{2n} - относительные поперечные деформации образца в конце и в начале диапазона при нагружении;

ε'_{1k} и ε'_{1n} - относительные продольные деформации образца в конце и в начале диапазона при разгрузке;

ε'_{2k} и ε'_{2n} - относительные поперечные деформации образца в конце и в начале диапазона при разгрузке.

7.2 Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты, материалы по ГОСТ [2]:

индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 мм или индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 – для измерения деформаций образца;

тензорезисторы – для измерения относительных деформаций, в том числе тензорезисторы типов ФКП, ФКТ – для измерения относительных поперечных деформаций образца;

тензометры любой конструкции (индикаторный, тензорезисторный, прижимной, индуктивный, лазерный, оптический, емкостной и т.п.), обеспечивающие измерение продольных и поперечных деформаций образцов с погрешностью не более 2 %;

приборы и устройства, обеспечивающие точность измерения и регистрации относительных деформаций и нагрузок не менее 2 %, например, цифровой тензометрический мост или самопишущий потенциометр;

клей типа БФ-2 или циакрин для наклейки тензорезисторов;

спирт этиловый ректификованный технический, ацетон по ГОСТ 2768 – для очистки поверхностей склеивания;

паяльник;

припой ПОС-61;

флюс канифольный.

Экспериментальная установка содержит пресс марки ИП-1А-1000 или пресс марки «ПЕТРОМЕХАНИКС», соединенные с компьютером и оснащенные сенсорными экранами.

Сущность метода заключается в измерении сжимающей силы, приложенной к торцам образца, продольных и поперечных деформаций его, вызванной этой силой. При этом метод предусматривает знание или определение предела прочности при одноосном сжатии испытываемой породы $\sigma_{сж}$ по лабораторной работе № 1.

Следует отметить, что требуемые показатели деформационных свойств пород следует определять в диапазоне напряжений от 5 до 50 % от предела прочности при одноосном сжатии.

Для эксперимента могут быть использованы цилиндрические или призматические (с квадратным сечением) образцы с размерами, указанными в табл. 7.1

Таблица 7.1

Размеры образцов

Наименование параметра образца	Массовые испытания	Сравнительные испытания
-----------------------------------	--------------------	-------------------------

Диаметр d (сторона квадрата α), мм	От 3 до 90 включ. 2,0 $\pm$ 0,1	42 $\pm$ 2
Отношение высоты h к диаметру (стороне квадрата)	2,0 $\pm$ 0,1	2,00 $\pm$ 0,05

Примечание. Диаметр (сторона квадрата) образцов должен быть не менее 10-кратного линейного размера зерен (неоднородностей), слагающих породу.

Измерения производят штангенциркулем с погрешностью не более $\pm 0,1$ мм. Диаметр (сторону квадрата) измеряют в средней части образца в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Допускается разность диаметров (сторон квадрата) по этим измерениям не более 1,0 мм. За расчетный диаметр (сторону квадрата) принимают среднее арифметическое результатов измерений.

Торцевые поверхности образца должны быть плоскими, параллельными друг другу и перпендикулярными к боковой поверхности.

Неплоскостность (выпуклость, вогнутость) проверяют линейкой штангенциркуля или боковой поверхностью слесарного угольника на отсутствие просвета.

Отклонения от перпендикулярности образующей к торцам образца контролируют слесарным угольником на отсутствие просвета в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Образцы выбуривают или вырезают на камнерезной машине из штуфов или кернов, их торцевые поверхности шлифуют;

Образцы должны иметь одинаковые размеры. Допускается отклонение значений диаметра (сторон квадрата) каждого образца от среднего арифметического не более ± 1 мм и высоты не более ± 3 мм.

База измерения деформации должна быть не менее 15 мм, и превышать линейный размер зерен (неоднородностей), слагающих

образец, не менее чем в 10 раз и располагаться симметрично по отношению к середине образца. База измерения продольной деформации l не должна превышать диаметр (сторону квадрата) образца.

Для регистрации деформации образца горной породы каждый из них оснащается датчиками. При этом количество чувствительных элементов датчиков деформации, закрепляемых на образце, с помощью клея, должно быть не менее двух для каждого вида деформаций. Их располагают равномерно по периметру в средней по высоте части боковой поверхности образца без наложения друг на друга. Возможное расположение чувствительных элементов (тензорезисторов) на боковой поверхности образца показано на рис. 7.2. Для измерения поперечных деформаций должны применяться только фольговые тензорезисторы.

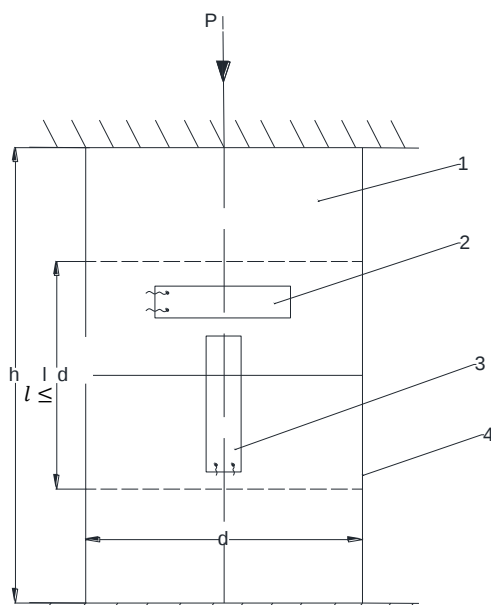


Рис. 7.2 Схема расположения тензорезисторов

1 – образец; 2 – тензорезистор поперечных деформаций; 3 – тензорезистор продольных деформаций; 4 – образующая

Технология наклейки тензорезисторов на боковую поверхность образца должна соответствовать изложенной в документации на тензорезисторы.

Количество образцов при сравнительных испытаниях должно быть не менее 5 при условии обеспечения надежности α результатов не менее 90 % и относительной погрешности δ не более 10 %.

Количество образцов при массовых испытаниях должно быть не менее 3 при условии обеспечения надежности α результатов не ниже 80 % и относительной погрешности δ не более 20 %.

7.3 Порядок выполнения работы

Подготовки к работе пресса ИП-1А-1000 или пресса «ПЕТРОМЕХАНИКС» изложены в лабораторных работах № 1 и № 2.

Образец, оснащенный датчиками деформаций, устанавливают на прессе. [2]

Датчики деформаций подключают к регистрирующей аппаратуре.

Образец нагружают до начального напряжения σ_0 (напряжения нагрузки), составляющего 5 % от предела прочности при одноосном сжатии ($\sigma_0 = 0,05 \sigma_{сж}$).

Значения деформаций при напряжении σ_0 принимают за условный ноль отсчета деформаций. Индикаторы часового типа устанавливают в положении нулевого отсчета с натягом 1 – 2 оборота большой стрелки.

Деформации образца регистрируют не менее чем при десяти значениях напряжения сжатия в процессе нагружения до максимального заданного значения σ_m , и при последующей нагрузке до σ_0 регистрируют деформации также не менее чем при десяти значениях напряжения.

При дискретной записи отсчетов интервал времени между отсчетами не должен превышать 10 с при нагружении и разгрузке образца.

Продолжительность остановки при переходе от нагружения к разгрузке не должна превышать 30 с.

Значения нагрузок P , зафиксированные силоизмерителем прессы, и соответствующие им показания приборов для деформаций (продольных ε_1 и поперечных ε_2) записывают в таблицу 7.2 [2]

Таблица 7.2

Показания приборов

Нагрузка, P , кН	Напряжение σ , МПа	Показания датчиков деформаций, делений						Средние значения показаний датчиков деформаций, делений		Приращение показаний датчиков деформаций, делений		Относительные деформации образцов	
		продольные			поперечные			продольные	поперечные	продольные	поперечные	продольные	Поперечные
		h_1	h_2	h_n	d_1	d_2	d_n	$\bar{h}$	$\bar{d}$	Δh	Δd	ε_1	ε_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

При использовании тензометров, измеряющих абсолютные деформации, рассчитывают относительные деформации образца по формулам [2]:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l}{l};$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta d}{d} \left(\frac{\Delta d}{\alpha} \right),$$

где l – база измерения продольных деформаций образца, мм;

Δl – изменение базы при изменении нагрузки на образец, мм;

$d(\alpha)$ – диаметр (сторона квадрата) образца, мм;

$\Delta d(\Delta \alpha)$ – изменение диаметра (стороны квадрата) при изменении нагрузки на образец, мм.

По результатам испытаний строят графики зависимостей «напряжение σ – деформация ε » (см. рис. 7.1), на которых каждому зафиксированному уровню напряжений σ_0 , σ_n , σ_k , σ_m соответствуют относительные деформации образца: продольные ε_1 – при нагружении

$\varepsilon_{10}, \varepsilon_{1н}, \varepsilon_{1к}, \varepsilon_{1м}$ и разгрузке $\varepsilon'_{10}, \varepsilon'_{1н}, \varepsilon'_{1к}, \varepsilon'_{1м}$; поперечные ε_2 – при нагружении $\varepsilon_{20}, \varepsilon_{2н}, \varepsilon_{2к}, \varepsilon_{2м}$ и разгрузке $\varepsilon'_{20}, \varepsilon'_{2н}, \varepsilon'_{2к}, \varepsilon'_{2м}$.

Показатели деформационных свойств горной породы – модуль упругости, модуль деформации, коэффициент Пуассона и коэффициент поперечной деформации следует определять по формулам 7.1; 7.2; 7.3 и 7.4.

Обработку результатов испытаний n образцов производят в следующем порядке.

Вычисляют средние арифметические значения по пробе для E_d, ν, E_y, μ , средние квадратические отклонения $\Delta E_d, \Delta \nu, \Delta E_y, \Delta \mu$ и коэффициенты вариации $V_{E_d}, V_{\nu}, V_{E_y}, V_{\mu}$, а также фактическую надежность их определения согласно приложению 1. [2]

Необходимые формулы для вычисления указанных характеристик приведены в лабораторной работе № 1.

7.4 Оформление лабораторной работы

Оформление лабораторной работы осуществляется согласно указаниям, приведенным в лабораторных работах № 1 и № 2 (п. 1.4 и 2.4) применительно к решаемым задачам данной работы.

7.5 Техника безопасности при выполнении лабораторной работы

Указания по соблюдению правил по технике безопасности приведены в Лабораторной работе № 1.

Литература

1. Баклашов И.В. Геомеханика: Учебник для Вузов. В 2 т. – М.: Издательство МГГУ, 2004. – т.1. Основы геомеханики. – 208 с.

2. ГОСТ 28985-91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии – М.: Издательство стандартов, 1991 – 15 с.

Лабораторная работа № 8

Определение скорости распространения упругих акустических волн и характеристик деформационных свойств горных пород

8.1 Введение

Известно, что основными характеристиками деформационных свойств горных пород является коэффициент связи напряжений и деформаций E и коэффициент поперечных деформаций μ . В лабораторной работе № 7 рассмотрен статический способ определения коэффициентов E и μ основанный на нагружении образца горной породы с одновременным измерением его продольных и поперечных деформаций.

Необходимо вспомнить, что при одноосном сжатии породного образца на участке упругого линейного деформирования коэффициент E имеет смысл модуля упругости горной породы (модуля Юнга) и определяется как отношение приращения нормальных сжимающих напряжений σ_1 к приращению продольных деформаций ε_1 на этом

участке деформирования. При этом коэффициент поперечных деформаций называется коэффициентом Пуассона и определяется как взятое по абсолютной величине отношение приращений поперечных деформаций ε_3 к приращению продольных деформаций ε_1 .

Помимо статического способа определения характеристик E и μ существует динамический способ их получения. Сущность его заключается в определении этих коэффициентов по скорости прохождения упругих волн через образец исследуемой породы. [1] При этом величина динамического коэффициента E в 1,1 – 1,6 раз больше статического коэффициента.

Такое различие объясняется тем, что при статическом нагружении, продолжительность которого измеряется минутами, значительно сильнее проявляются процессы ползучести горных пород, приводящие к снижению величины модуля E . При динамических испытаниях, когда время действия нагрузки составляет сотые или даже тысячные доли секунды, ползучесть горных пород проявляется в меньшей степени. Следовательно, отношение $\frac{E}{E_{\infty}} = \alpha$ является характеристикой ползучести горных пород, или реологической характеристикой.

Возникающие в упругих средах деформации обуславливают распространение продольных и поперечных волн. Продольные волны (Р) создаются деформациями объема (растяжение-сжатие). Поперечные (S) – деформациями сдвига и кручения. *Продольные волны* распространяются в любой среде – газах, жидкостях и твердых телах, так как все вещества обладают упругим сопротивлением объемному сжатию. *Поперечные волны* могут распространяться только в твердых средах и слоях рыхло- и прочно связанной жидкости, характеризующихся относительно фиксированным положением молекул.

Одним из принципиальных вопросов определения скорости распространения упругих волн в образцах керна, отличающимися малыми размерами, является выполнение требования о подобии распространения волн в образцах и массиве. Экспериментальными исследованиями установлено, что волна на образце, соответствующая волне в массиве, наблюдается при величине отношения радиуса образца r к длине волны λ , большей единицы. [2]

Обычно оценка скорости распространения ультразвуковых волн сводится к определению времени прохождения ультразвуковых импульсов через образцы заданной длины. [3] Эти времена составляют 10 – 100 мс при длине пути до 1 м в породах и жидкостях.

Скорость распространения волн в образцах пород определяется по данным измерений на образце длиной L (м) времени τ (с) пробега упругой ультразвуковой волны.

8.2 Метод испытаний

Целью настоящей лабораторной работы является закрепление студентами теоретических сведений, получение практических навыков определения скорости распространения упругих акустических волн в образцах горных пород в лабораторных условиях с применением прибора «Ультразвук», и определение деформационных свойств пород акустическим методом.

В данной лабораторной работе применяется прибор «Ультразвук» предназначенный для определения скорости распространения упругих акустических волн (продольных и поперечных) в образцах горных пород при сквозном прозвучивании и соответствующий. [3]

В состав прибора входят [2]:

1. Регистрирующий блок, в корпусе которого установлен осциллограф цифровой запоминающий, применяющийся для:

- визуализации полученного ультразвукового сигнала на мониторе компьютера;

- первичной интерпретации полученного сигнала оператором;

- сохранения полученных результатов измерений.

2. Измерительный блок (кернадержатель) – позволяет разместить исследуемый образец относительно ультразвуковых датчиков (излучателя и приемника) с сохранением соосности акустической оси датчиков, их поляризации, стабильности осевой нагрузки. Загрузку и выгрузку образца.

3. Электронный штангенциркуль для измерения линейных параметров образцов горных пород.

Программа управления блоком электроники PropAkk26.exe позволяет переключать типы волн (продольные (P), поперечные – (S)), при этом включенный режим отображается изменением цвета кнопки включенной волны и световой индикацией соответствующего светодиода на блоке электроники.

Для обеспечения связи программы с блоком электроники необходимо корректно указать номер COM-порта, к которому подключен блок (Настройки/Связь с прибором/COM №).

Для работы с цифровым осциллографом применяется программа «АКТАКОМ Oscilloscope Pro».

Подготовка образцов горных пород к испытаниям и их необходимые размеры должны соответствовать п. 3. [3]

8.3 Порядок выполнения работы

1. Запустить на ПК программу «АКТАКОМ». [2]

2. Запустить программу PropAkk26.exe (используя для переключения типа волн).

3. В программе «АКТАКОМ» прочитать конфигурацию (Файл – Прочитать конфигурацию – 555.CFG).

4. На панели управления канал 1 можно скрыть с экрана сняв галочку, для канала 2 установить тип входа «АС».

5. Определить время задержки:

- взять два образца оргстекла или любого другого материала с одинаковыми акустическими свойствами;

- установить первый образец в кернодержатель и замерить время T_1 ;

- установить второй образец в кернодержатель и замерить время T_2 ;

- установить оба образца и замерить время T_{1+2} ;

- вычислить время задержки для продольной и поперечной волны по формуле

$$E_s = T_1 - T_2 - T_{1+2}; \quad (8.1)$$

6. Установить образец в кернодержатель.

7. Замерить общее время на волне Р – продольная волна.

8. Переключить тип волны в программе PropAkk26 в положении S – волна (поперечная волна).

9. Замерить общее время на волне.

10. Время прохождения ультразвука в образце рассчитываем по формуле

$$T = T_{\text{общ}} - T_s; \quad (8.2)$$

11. Записать полученные данные в журнал.

12. Для измерения следующего образца выполнить пункты 6-11.

Отношение скоростей продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн является функцией коэффициента Пуассона (μ) и выражается в виде :

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1 - \mu)}{1 - 2\mu}}; \quad (8.3)$$

Вычисление коэффициента Пуассона позволяет рассчитать модуль Юнга (E) с учетом плотности (ρ) образцов

$$E = \frac{V_p^2 \cdot \rho \cdot (1 + \mu)(1 + 2\mu)}{1 - \mu} = 2V_s^2 \cdot \rho(1 + \mu); \quad (8.4)$$

По известным значениям E и μ можно определить модуль сдвига G, сжимаемость β и модуль всестороннего сжатия K:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = V_s^2 \cdot \rho; \quad (8.5)$$

$$\beta = \frac{3(1 - 2\mu)}{E}; \quad (8.6)$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)}; \quad (8.7)$$

Исходные данные и рассчитанные параметры деформационных свойств образцов горной породы записывают в таблицу 8.1. [2]

Таблица 8.1

Параметра деформационных свойств горной породы

№ обр.	Длина образца, L, мм	Общее время		Время прохожде- ния		Скорость		Отноше- ние V_p/V_s	Коэффициенты упругости				
		$T_{\text{общ.р}},$ мкс	$T_{\text{общ.с}},$ мкс	$T_p,$ мкс	$T_s,$ мкс	$V_p,$ м/с	$V_s,$ м/с		μ	E, Па	G, Па	β	K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

8.4 Оформление лабораторной работы

Оформление лабораторной работы осуществляется согласно указаниям, приведенным в лабораторных работах № 1 и № 2 (п. 1.4 и п. 2.4) применительно к решаемым задачам данной работы.

8.5 Техника безопасности

1. К лабораторной работе допускаются студенты, прошедшие общий инструктаж по технике безопасности в лаборатории НОЦ Горного факультета ЗабГУ.

2. Запрещается приступать к выполнению лабораторной работы, не изучив ее описания и не получив допуск у преподавателя.

3. При эксплуатации прибора «УЛЬТРАЗВУК» следует соблюдать правила работы с электрическими установками.

Литература

1. Баклашов И.В., Давиденко Б.Ю., Кузьев Л.С., Христолюбов В.Д. Лабораторный практикум по дисциплине «Геомеханика»; Под ред. И.В. Баклашова: Учебно-методическое пособие для Вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МГГУ, 2006. – 71 с.

2. Печерин В.Н. Определение удельного электрического сопротивления и акустических свойств горных пород. Методические указания./В.Н. Печерин, Н.П. Демченко. – Ухта: УГТУ, 2014. – 23 с.

3. ГОСТ 21153.7-75. Породы горные. Метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 7 с.

Лабораторная работа № 9

Определение основных характеристик физических свойств и морозостойкости горных пород

9.1 Введение

К основным физическим свойствам горных пород относят плотность, пористость, влажность, водопоглощение.

Согласно [1] плотность горной породы характеризуют параметрами средней и истинной плотности.

Среднюю определяют путем измерения массы единицы объема образцов горной породы с порами.

Истинную плотность определяют путем измерения массы единицы объема измельченной и высушенной породы без пор.

Пористостью горной породы называется совокупность пор и трещин, заполненных или незаполненных жидкой или газообразной фазой. Поры и трещины различаются по их происхождению, по форме, по размеру и распределению в горной породе. По размеру поры и

трещины могут быть от 0,0002 мм (капиллярные) до огромных полостей в горном массиве объемом в сотни и тысячи кубических метров (карстовые пустоты)

Пористость может быть открытой, когда поры в горной породе сообщаются между собой и с внешним пространством, и закрытой, когда поры не сообщаются между собой. Общая пористость характеризуется объемом открытых и закрытых пор.

Открытая пористость характерна для нецементированных песчано-алевролитово-глинистых пород, для карбонатных пород меловидного, гранулярного, трещинного и отчасти для карстового типов. Закрытая пористость характерна для магматических пород с пузырчатыми, ячеистыми порами.

Пористость определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней и истинной плотности.

Весовой влажностью горной породы W называется отношение массы воды, содержащейся в данном объеме горной породы к массе этого объема, высушенного при температуре 100 - 105° С до постоянной массы.

Практически влажность горной породы W определяют по результатам взвешивания естественной пробы горной породы до и после ее полного высушивания.

Известно, что количество, объем и структура пор и трещиноватость при прочих равных условиях определяют механические свойства горных пород. Одновременно с этим поры и трещины являются каналами, по которым вода движется в горной породе. На поверхности пор и трещин активно развивается взаимодействие воды и газов с породообразующими минералами и цементирующим веществом горных пород.

Потому изменение физико-механических свойств горных пород под действием воды тесно связано с пористостью и трещиноватостью.

Увеличение влажности горных пород ведет к уменьшению их твердости и повышению пластичности, а также к увеличению деформируемости в области упругих деформаций. В определенных условиях намного усиливаются под влиянием воды и реологические свойства пород (особенно осадочных).

Особенно резкое снижение прочности наблюдается для аргиллитов и алевролитов. Наличие влаги в зоне контакта литологических разностей снижает сопротивление разрыву по контакту в два раза и более, а иногда вообще уничтожает силы сцепления, вызывая самопроизвольное расслоение породы.

Изменение механических свойств горных пород при насыщении их водой, имеющее важное практическое значение как для проблемы горного давления, так и для разрушения горных пород машинами, а именно, уменьшение прочности и повышение деформируемости пород.

Водопоглощение определяют путем сравнения массы образцов горной породы в насыщенном водой состоянии и после высушивания.

9.2 Определение средней плотности горной породы на образцах правильной формы.

Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно [1], [2].

Для эксперимента используют пять образцов правильной кубической или цилиндрической формы.

В состав оборудования входят:

- Весы настольные циферблатные или лабораторные.
- Шкаф сушильный.
- Щетка металлическая.

9.3 Порядок выполнения работы

Каждый образец очищают щеткой от рыхлых частиц, пыли и высушивают до постоянной массы. Высушенные до постоянной массы образцы правильной формы взвешивают, измеряют и определяют их объем.

Среднюю плотность ρ_0 , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho_0 = \frac{m}{V}; \quad (9.1)$$

где m - масса образца, г;

V – объем образца, см³.

Среднюю плотность горной породы вычисляют как среднеарифметическое значение результатов определения средней плотности пяти образцов.

9.4 Определение средней плотности горной породы на образцах произвольной формы

Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно. [2]

Для эксперимента используют пять кусков произвольной формы размером от 40 до 70 мм.

В состав оборудования входят:

- Весы настольные циферблатные или лабораторные.
- Весы с приспособлением для гидростатического взвешивания.
- Шкаф сушильный.
- Сосуд для насыщения образцов водой или для парафинирования образцов.

- Щетка металлическая.

9.5 Порядок выполнения работы

Согласно [2] каждый образец очищают металлической щеткой от рыхлых частиц, пыли и высушивают до постоянной массы.

Образцы горной породы произвольной формы насыщают водой, погружая их в воду комнатной температуры на 2 ч так, чтобы уровень воды в сосуде был выше поверхности образцов не менее чем на 20 мм.

Насыщенные образцы породы вынимают из воды, удаляют влагу с их поверхности мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают на настольных гирных или циферблатных, а затем на гидростатических весах, помещая пробу в сетчатый (перфорированный) стакан, погруженный в воду.

Образцы горной породы произвольной формы с мелкими открытыми порами вместо насыщения допускается покрывать пленкой парафина толщиной около 1 мм. Для этого высушенный до постоянной массы образец погружают в разогретый парафин и охлаждают на воздухе. В случае обнаружения при остывании на парафиновой пленке пузырьков или повреждений их заглаживают с помощью горячей металлической пластинки, ножа или проволоки.

Подготовленный образец взвешивают на настольных циферблатных или лабораторных, а затем на гидростатических весах.

Среднюю плотность образцов горной породы формы ρ_k , г/см³, определяют по формуле

$$\rho_k = \frac{m}{m_1 - m_2} \rho_v; \quad (9.2)$$

где m - масса образца или пробы в сухом состоянии, г;

m_1 - масса образца или пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе, г;

m_2 - масса образца или пробы в насыщенном водой состоянии в воде, г;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Среднюю плотность запарафинированных образцов горной породы произвольной формы $\rho_{\text{к1}}$, г/см³, определяют по формуле

$$\rho_{\text{к1}} = \frac{m}{\frac{m'_1 - m'_2}{\rho_{\text{в}}} - \frac{m'_1 - m}{\rho_{\text{п}}}}; \quad (9.3)$$

где m - масса образца в сухом состоянии, г;

m'_1 - масса запарафинированного образца на воздухе, г;

m'_2 - масса запарафинированного образца в воде, г;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность парафина (может быть принята равной 0,93 г/см³).

За результат принимают среднеарифметическое значение результатов испытания пяти образцов горной породы или двух параллельных испытаний проб щебня (гравия). При этом расхождение между результатами двух определений средней плотности не должно превышать 0,02 г/см³.

9.6 Определение истинной плотности горных пород пикнометрическим методом

Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно [1].

В состав оборудования входят:

- Пикнометр вместимостью 100 мл.
- Весы настольные циферблатные или лабораторные.
- Стаканчик для взвешивания или чашка фарфоровая.
- Ступка чугунная или фарфоровая.

- Эксикатор.
- Кислота серная концентрированная.
- Кальций хлористый (хлорид кальция) безводный.
- Шкаф сушильный.
- Баня песчаная или водяная.
- Дробилка щековая лабораторная или мельница лабораторная.

Для испытания используют образцы, на которых определялась средняя плотность. Каждый промаркированный образец очищают щеткой от пыли, измельчают до крупности 5 мм, затем перемешивают и полученную пробу квартованием сокращают до 150 г. Затем эту пробу вновь измельчают до крупности менее 1,25 мм, перемешивают и сокращают до 30 г. Приготовленную таким образом пробу измельчают в порошок в фарфоровой ступке, насыпают в стаканчик для взвешивания или в фарфоровую чашку, высушивают до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры над концентрированной серной кислотой или безводным хлоридом кальция после чего отвешивают две навески массой по 10 г каждая (m).

9.7 Порядок выполнения работы

Согласно [1] каждую навеску высыпают в чистый высушенный пикнометр наливают дистиллированную воду в таком количестве, чтобы пикнометр был заполнен не более чем на половину своего объема. Пикнометр в слегка наклонном положении ставят на песчаную или водяную баню и кипятят его содержимое 15 – 20 мин для удаления пузырьков воздуха. Пузырьки воздуха могут быть удалены также путем выдерживания пикнометра под вакуумом в эксикаторе. После удаления воздуха пикнометр обтирают, охлаждают до комнатной температуры, доливают до метки дистиллированной водой и взвешивают (m_2). Освобождают пикнометр от содержимого, промывают, наполняют до

метки дистиллированной водой комнатной температуры и вновь взвешивают (m_1).

Обработка результатов испытания

Истинную плотность ρ , г/см³, вычисляют по формуле [1]

$$\rho = \frac{m\rho_{\text{в}}}{m+m_1-m_2}; \quad (9.4)$$

где m - масса навески порошка, высушенного до постоянной массы, г;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, равная 1 г/см³;

m_1 - масса пикнометра с дистиллированной водой, г;

m_2 - масса пикнометра с навеской и дистиллированной водой после удаления пузырьков воздуха, г.

За результат принимают среднеарифметическое значение пяти параллельных испытаний.

9.8 Определение пористости горной породы

Пористость горной породы определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений истинной и средней плотности. [2]

Пористость горной породы $V_{\text{пор}}$, % по объему, определяют по формуле

$$V_{\text{пор}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{к}}}{\rho}\right) \cdot 100; \quad (9.5)$$

где $\rho_{\text{к}}$ - средняя плотность горной породы;

ρ - истинная плотность горной породы;

9.9 Определение природной влажности горных пород

Для определения весовой влажности предварительно взвешивают бюкс. Затем в него помещается образец горной породы и снова

производится взвешивание. Бюкс с образцом горной породы помещается в сушильный шкаф и высушивается при температуре 100 - 105°C до постоянной массы. Бюкс с образцом горной породы извлекается из сушильного шкафа и взвешивается.

Влажность горной породы определяется по формуле

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100; \quad (9.6)$$

где m_1 - масса пустого бюкса;

m_2 - масса бюкса с образцом породы до высушивания;

m_3 - масса бюкса с грунтом после высушивания.

9.10 Определение водопоглощения горной породы

Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно [1].

Водопоглощение горной породы определяют на пяти образцах кубической формы с ребром 40 – 50 мм или цилиндрах диаметром и высотой 40 – 50 мм.

В состав оборудования входят:

- Весы настольные циферблатные.
- Шкаф сушильный.
- Сосуд для насыщения образцов водой.
- Щетка металлическая.

9.11 Порядок выполнения работы

Согласно [1] образцы очищают металлической щеткой от рыхлых частиц и пыли и высушивают до постоянной массы.

Образцы взвешивают после их полного остывания на воздухе до температуры помещения.

Образцы укладывают в сосуд с водой, имеющей температуру $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, в один ряд так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верха образцов на 20 мм. Образцы выдерживают в воде в течение 48 ч, извлекают из сосуда, удаляют с поверхности влагу мягкой тканью и взвешивают. Массу воды, вытекшей из пор образца на чашку весов, включают в массу насыщенного водой образца.

Водопоглощение $W_{\text{погл}}$, % по массе, вычисляют по формуле

$$W_{\text{погл}} = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100; \quad (9.7)$$

где m_1 - масса образца в насыщенном водой состоянии, кг;

m - масса образца в сухом состоянии, кг.

Величину водопоглощения вычисляют как среднеарифметическое значение результатов определения водопоглощения пяти образцов горной породы.

9.12 Определение морозостойкости горной породы

Сущность метода заключается в определении прочности горной породы после заданного числа циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Другим методом определения морозостойкости обломков горной породы (щебня) является нахождение потери массы пробы при попеременном замораживании и оттаивании.

Метод испытаний

Для подготовки и проведения испытаний применяют оборудование, инструменты и материалы согласно [1].

Из пробы горной породы, отобранной при геологической разведке и представленной керном или штуфом, при помощи сверлильной или камнерезной машины изготавливают пять образцов в форме цилиндра

диаметром и высотой 40 – 50 мм или куба с ребром 40 – 50 мм. Для горных пород с выраженной слоистостью изготавливают десять образцов.

Допускается испытывать керны диаметром от 40 до 110 мм и высотой, равной диаметру, полученные в процессе разведочного бурения из одного слоя породы, с пришлифованными торцами, если керны не имеют внешних повреждений.

Отношение высоты к диаметру образцов допускается от 0,9 до 1,1.

Для горных пород с выраженной слоистостью оси образцов, по направлению которых проводят сжатие, должны располагаться: у пяти образцов – перпендикулярно слоистости, у других пяти – параллельно слоистости. Образцы должны быть промаркированы стрелкой перпендикулярно слоистости пород.

В состав оборудования входят:

- Камера морозильная, обеспечивающая достижение и поддержание температуры минус (20 ± 2) °С.
- Шкаф сушильный.
- Пресс гидравлический марки ИП-1А-1000 или «ПЕТРОМЕХАНИКС».
- Ванна с устройством для поддержания температуры (20 ± 2) °С для насыщения образцов водой и их оттаивания.
- Контейнеры для образцов.

9.13 Порядок выполнения работы

Согласно [1] образцы горной породы укладывают в ванну на решетку в один ряд и заливают водой так, чтобы уровень воды был выше верха образцов на 20 мм. Образцы выдерживают в воде 48 ч, после чего образцы извлекают из ванны, удаляют влагу с поверхности образцов мягкой влажной тканью. Образцы устанавливают в контейнер или на

сетчатый стеллаж морозильной камеры так, чтобы расстояние между образцами, стенками контейнера и вышележащими стеллажами было не менее 30 мм. Началом замораживания считают момент установления в камере температуры минус 18°C. Продолжительность выдерживания образцов в камере при температуре минус (20±2) °C должна составлять 4 ч, после чего образцы помещают в ванну и выдерживают в не до полного оттаивания, но не менее 2 ч. Далее цикл замораживания – оттаивания повторяют.

После 15, 25 и каждых последующих 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания по пять водонасыщенных образцов подвергают испытанию на сжатие.

С этой целью образец устанавливают в центре, совмещая оси образца с центром нижней опорной плиты, и прижимают верхней опорной плитой пресса, которая должна плотно прилегать по всей торцевой грани образца.

При испытании нагрузка на образец должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью от 0,3 до 0,5 МПа (от 3 до 5 кгс/см²) в секунду.

Значение разрушающей нагрузки должно составлять от 20 до 80 % максимального усилия, развиваемого прессом. Записывают максимальную величину разрушающей нагрузки.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа (кгс/см²), вычисляют с точностью до 1 МПа по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F}; \quad (9.8)$$

где P - разрушающая нагрузка, Н (кгс);

F - площадь поперечного сечения образца, см².

Потерю прочности образцов ΔR , %, вычисляют по формуле

$$\Delta R = \frac{R_{сж} - R'_{сж}}{R_{сж}} \cdot 100; \quad (9.9)$$

где $R_{сж}$ - среднеарифметическое значение предела прочности при сжатии образцов в водонасыщенном состоянии, МПа (кгс/см²);

$R'_{сж}$ - среднеарифметическое значение предела прочности при сжатии образцов после испытания на морозостойкость, МПа (кгс/см²).

Потерю прочности образцов вычисляют как среднеарифметическое значение результатов испытания пяти образцов. Для образцов горной породы с выраженной слоистостью отдельно записывают результаты, полученные при испытании вдоль слоистости и перпендикулярно к ней.

Горная порода отвечает соответствующей марке по морозостойкости, если значение потери прочности при сжатии после установленного числа циклов попеременного замораживания и оттаивания не превышает 20 %.

9.14 Оформление лабораторной работы

Оформление лабораторной работы осуществляется согласно указаниям, приведенным в лабораторных работах № 1 и № 2 (п. 1.4 и п. 2.4), применительно к решаемым задачам данной работы.

9.15 Техника безопасности

Указания по соблюдению правил по технике безопасности аналогичны приведенным в предыдущих лабораторных работах.

Литература

1. ГОСТ 30629-99. Материала и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов. 2001. – 66 с.
2. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы

физико-механических испытаний. – М.: Издательство стандартов. 1998.
– 50 с.

Контрольные вопросы

1. Дать определение предела прочности горной породы при одноосном сжатии.
2. В чем заключается сущность метода определения предела прочности горных пород при одноосном сжатии образцов правильной формы плоскими плитами.
3. Перечислите основные позиции метода определения предела прочности горных пород при одноосном сжатии способом разрушения образцов – плиток плоскими соосными пуансонами.
4. Для каких целей используется предел прочности горной породы при одноосном сжатии?
5. Можно ли отождествлять предел прочности горной породы при одноосном сжатии с пределом прочности массива горной породы?
6. Дайте определение предела прочности горной породы при одноосном растяжении.
7. В чем заключается сущность метода разрушения цилиндрических и призматических образцов прямым растяжением?

8. Почему были предложены косвенные методы определения предела прочности горной породы при растяжении? Назовите их.
9. Назовите особенности метода разрушения цилиндрических образцов сжатием по образующим. Для определения каких характеристик он предназначен?
10. В чем заключается сущность метода разрушения образцов произвольной формы встречными сферическими инденторами?
11. В чем заключается особенности метода комплексного определения пределов прочности при одноосном растяжении и сжатии? Какие характеристики горных пород можно определить этим методом?
12. Дайте определение термину «прочность горных пород».
13. Назовите особенности метода определения предела прочности горных пород при срезе со сжатием. Для определения каких параметров он предназначен?
14. Что называется паспортом прочности горной породы?
15. Какие характеристики горной породы можно определить по паспорту прочности?
16. Что постулируется в теории Мора?
17. Назовите основные методы построения паспорта прочности горных пород.
18. Назовите основные этапы построения паспорта прочности горной породы упрощенным способом.
19. Какой смысл заложен в термин «крепость» горной породы?
20. Какой принцип реализован в методе определения коэффициента крепости по Протоdjаконову?
21. Расскажите о конструктивных особенностях прибора для определения коэффициента крепости по ГОСТ.
22. Как определяется коэффициент крепости?

23. Какие деформационные характеристики можно определить при одноосном сжатии цилиндрических или призматических образцов горной породы?

24. В чем заключается физический смысл модуля упругости и коэффициента Пуассона?

25. В чем заключается физический смысл модуля деформации и коэффициента поперечной деформации?

26. Назовите основные этапы определения деформационных характеристик горной породы при одноосном сжатии.

27. Какой вид имеет диаграмма деформирования в методе определения деформационных характеристик горной породы при одноосном сжатии?

28. Дайте определение термину «физические свойства горных пород».

29. Дайте определение термину «механические свойства горных пород».

30. Поясните различия в величинах статического и динамического модулей упругости породы.

31. Какие основные физические свойства горных пород учитывают при их изучении и оценке?

32. Какие показатели характеризуют прочность горных пород?

33. Какие показатели характеризуют деформационные свойства горных пород?

34. С какой целью используют метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн в горных породах?

35. Каким образом определяют скорость распространения упругих волн в образцах керна?

36. Какой смысл представляет собой отношение упругих продольных и поперечных волн?

37. Каким образом могут быть вычислены модуль Юнга и коэффициент Пуассона горных пород по результатам определения скоростей продольных и поперечных волн?

38. Назовите основные процедуры определения средней плотности горных пород.

39. Что представляет собой пикнометрический метод определения истинной плотности горных пород?

40. Что понимается под влажностью горных пород?

41. Как определить водопоглощение горной породы?

Заключение

Библиографический список

1. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – М.: Изд. Стандартов. 1984 – 10 с.
2. ГОСТ 21153.3–85. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении – М. : Издательство стандартов . 1985– 6 стр.
3. ГОСТ 21153.5-88. Породы горные. Метод определения предела прочности при срезе со сжатием. – М.: Издательство стандартов. 1988 – 5 с.
4. ГОСТ 21153.8-88. Породы горные. Метод определения предела прочности при объемном сжатии. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 15.
5. ГОСТ 21153.1-75*. Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протодьяконову. – М.: Издательство стандартов. 1981. – 4 с.

6. ГОСТ 28985-91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии – М.: Издательство стандартов, 1991 – 15 с.

7. ГОСТ 21153.7-75. Породы горные. Метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 7 с.

8. ГОСТ 30629-99. Материала и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов. 2001. – 66 с.

9. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. – М.: Издательство стандартов. 1998. – 50 с.

10. Геомеханика: Учеб. Пособие /Э.В. Каспарьян, А.А. Козырев, М.А. Иофис, А.Б. Макаров. – М.: Высш. шк. 2006 – 503 с.

11. Свойства горных пород и методы их определения / Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. – М.: Недра, 1969. – 392 с.

12. Геомезаника: Учебное пособие / Э.В. Каспарьян, А.А. Козырев, М.А. Иофис, А.Б. Макаров. – М.: Высш. шк., 2006. – 503 с.

13. Баклашов И.В. Геомеханика: Учебник для вузов. В 2 т. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. - Т.1. Основы геомеханики – 208 с.

14. Баклашов И.В., Давиденко Б.Ю., Кузьяев Л.С., Христюков В.Д. Лабораторный практикум по дисциплине «Геомеханика»; Под ред. И.В. Баклашова: Учебно-методическое пособие для Вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МГГУ, 2006. – 71 с.

15. Печерин В.Н. Определение удельного электрического сопротивления и акустических свойств горных пород. Методические указания./В.Н. Печерин, Н.П. Демченко. – Ухта: УГТУ, 2014. – 23 с.

16. (в конце) бугров

