

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЛИАЛ ГУ КузГТУ В Г. ПРОКОПЬЕВСКЕ

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ И КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ
ГОРНЫХ РАБОТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**по выполнению лабораторных работ по курсу «Геомеханика»
для студентов специальности 130404 «Подземная разработка
месторождений полезных ископаемых» всех форм обучения**

Составители: **А. А. Ренев**
С. Г. Костюк
Н. Т. Бедарев
В. М. Камалов

Утверждены на заседании кафедры
РМПИ ПС ГУ КузГТУ
Протокол № 3 от 21.10.2008 г.

Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией спе-
циальности 130404
Протокол № 17 от 22.10.2008 г.

Электронная копия находится
в библиотеке филиала ГУ КузГТУ в г.
Прокопьевске

Прокопьевск 2009

Рецензент: д.т.н., профессор, зам. директора
по научно-исследовательской работе филиала ГУ КузГТУ
в г. Прокопьевске, руководитель НИиПКП «УТК»

Степан Илларионович Калинин

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1	
Определение прочности горных пород на сжатие	
методом уплотнения угольной и породной мелочи	5
1. Цель работы	5
2. Метод испытаний	5
3. Порядок выполнения работы	6
4. Техника безопасности	7
5. Оформление лабораторной работы	8
6. Контрольные вопросы.....	8
7. Список литературы.....	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2	
Определение коэффициента крепости пород	
по методу М. М. Протодияконова	9
1. Цель работы	9
2. Метод испытаний	9
3. Порядок выполнения работы	10
4. Техника безопасности	12
5. Оформление лабораторной работы	12
6. Контрольные вопросы.....	12
7. Список литературы.....	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3	
Определение прочностных параметров горных работ	
и построение паспорта прочности.....	13
1. Цель работы	13
2. Метод испытаний	13
3. Порядок выполнения работы	16
4. Техника безопасности	19
5. Оформление лабораторной работы	19
6. Контрольные вопросы.....	19
7. Список литературы.....	19

ВВЕДЕНИЕ

Показатели механических свойств горных пород и угля используют в расчетах и прикидках инженерных решений при выборе систем и способов ведения горных работ с учетом их высокой производительности, минимальных потерь полезных ископаемых и обеспечения устойчивости горных выработок. От механических свойств пород зависит добыча ископаемых, горное давление, сдвигение и обрушаемость пород.

Определение механических свойств горных пород входит в состав геологических работ и выполняется на всех этапах геологического изучения шахтных полей: при поисках, предварительной и детальной разведке и доразведке, при инженерно-геологических изменениях в периоды строительства и подготовки нижележащих горизонтов шахт, а также при геологическом изучении в период эксплуатации.

В настоящее время при расчете устойчивости горных пород преимущественно используют лишь предел прочности пород на одноосное сжатие (коэффициент крепости). Между тем, геомеханические условия ряда горнотехнических задач характеризуются преимущественным влиянием иных свойств пород. Так, устойчивость откосов, шахтных стволов характеризуется показателями предельной объемной прочности; пучение выработок – пластическими свойствами; опасность возникновения горных ударов – комплексом упругопластических свойств; долговременная устойчивость капитальных камер – длительной прочностью пород; давление на крепь капитальных выработок – остаточным сопротивлением раздавленной породы и мерой её разрыхления.

Для исследования указанных свойств горных пород во ВНИМИ, ИГД им. А. А. Скочинского разработаны разнообразные методики и создана специальная аппаратура: камера запредельного деформирования БВ-21, камера объемного сжатия, пробник «Викинг» и др.).

В предлагаемых методических указаниях (I этап) рассмотрены упрощенные методы изучения прочности пород путем уплотнения угольной и породной мелочи (лабораторная работа №1) и метод М. М. Протодьяконова (лабораторная работа №2). В лабораторной работе №3 предусматривается построение паспорта прочности пород по результатам раскалывания пластин и сжатия оставшихся после раскалывания пластин кубиков.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Определение прочности горных пород на сжатие методом уплотнения угольной и породной мелочи

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение навыков определения прочности пород на сжатие при значительных структурных нарушениях путем уплотнения кусков пород в стакане на заданную величину.

2. МЕТОД ИСПЫТАНИЙ

Устройство для определения прочности пород на сжатие методом уплотнения кусков пород в стакане 2 плунжером 3 на заданную величину представлено на *рис. 1*.

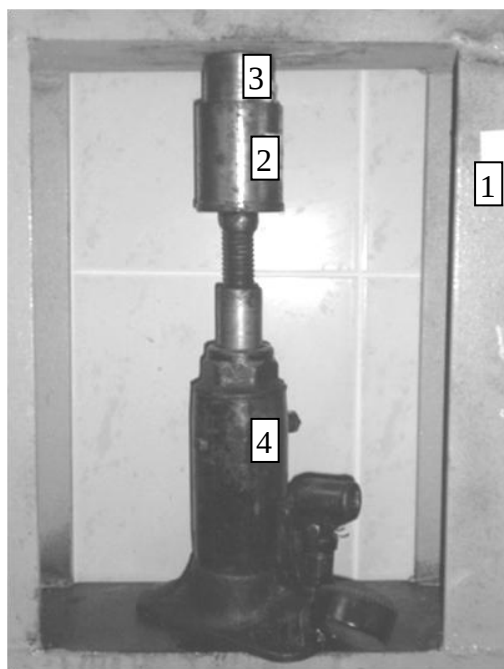


Рис. 1. Устройство для метода уплотнения:
1 – опорная рама; 2 – стальной стакан;
3 – плунжер; 4 – гидродомкрат с манометром.

Сущность метода заключается в определении прочности пород на сжатие, которая пропорциональна отношению работы, затраченной на уплотнение кусков пород на заданную величину (19 мм) оцениваемой величиной приложенного усилия.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Образцы для испытаний – неправильной формы куски породы, просеянные через сито, весом от 5 гр до 20 гр каждый (крупность 15-20 мм) в количестве 500-800 гр (500-600 гр – уголь; 700-800 гр – порода).

Приготовление кусков породы осуществляют на мельнице *рис. 2*.

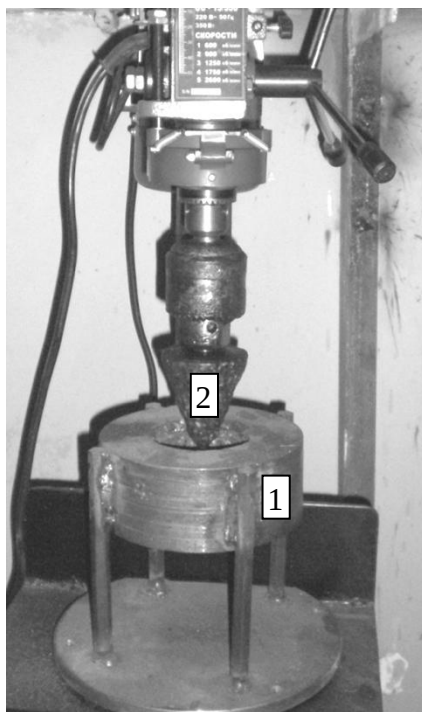


Рис. 2. Мельница для приготовления кусков крупностью 10-20 мм:

- 1 – неподвижное основание с конусным отверстием;
- 2 – подвижный (по вертикали) вращающийся конус.

Если куски угля или породы не входят между конусами 1-2, их предварительно разрушают молотком или кувалдой. В дальнейшем,

после разрушения кусков в мельнице, всю измельченную массу просеивают через сита, три в одном.

Породные кусочки плотно укладывают (рис. 1) в стальной стакан 2 ($d = 55,3$ мм, $h = 80$ мм) на высоту засыпки 53 ± 1 мм. На засыпку устанавливают плунжер 3 ($d = 55$ мм, $h = 80$ мм), замечая высоту установки по его рискам. Нагружение породы через плунжер производят с плавно возрастающей до уплотнения (по шкале) 19 мм скоростью, чтобы нагружение завершалось в течение 30-60 сек. Прочность при сжатии определяют по формуле:

$$\sigma = P/24 \text{ см}^2, \text{ кг/см}^2 \quad (1.1)$$

Испытание повторяют (с новыми засыпками) 2-3 раза, принимают результаты, отличающиеся между собой не более чем 25-30%.

Результаты испытаний заносят в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний прочности пород методом уплотнения

№ опыта	Крупность кусков, мм	Вес навески, гр	Величина уплотняющего усилия, кг (Н)	Расчетная величина $\sigma_{сж}$, кг/см ² (МПа)	$\sigma_{сж}$, средн. МПа
1					
2					
...					
n					

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. К работе на мельнице допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж.

2. Включение и выключение мельницы производится преподавателем или лаборантом.

3. Разрушение горной породы мельницей или молотком выполняется в перчатках (рукавицах) при наличии устройств для защиты глаз (очки, прозрачные экраны).

5. ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Работа оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа 7.32-81.

Оформленная работа должна содержать:

- краткий конспект по внеаудиторной подготовке, включающий название работы, ее цель и характеристику метода испытаний;
- результаты испытаний в табличной форме;
- вычисленные с помощью формул числовые величины характеристики пород на сжатие.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Укажите предельные интервалы изменения прочности пород на сжатие.
2. В чем заключается сущность метода уплотнения угольной и породной мелочи в стальном стакане цилиндрическим плунжером?
3. В каких случаях допускается возможность первичного определения прочностных свойств пород методом уплотнения?
4. Как перевести предел прочности пород на сжатии в коэффициент крепости пород?

7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Требования к определению механических свойств горных пород при геологическом изучении полей шахт Министерства угольной промышленности СССР (при разведке, строительстве, реконструкции и эксплуатации). Ленинград 1977, 97 с.
2. Породы горные. ГОСТ 7.32-81
3. Породы горные. ГОСТ 50544-93

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Определение коэффициента крепости пород по методу М. М. Протодяконова

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение навыков определения механических свойств горных пород при значительных структурных нарушениях методом ударного измельчения Протодяконова.

2. МЕТОД ИСПЫТАНИЙ

На *рис. 3* представлено устройство для метода ударного измельчения кусков крупностью 10-20 мм.

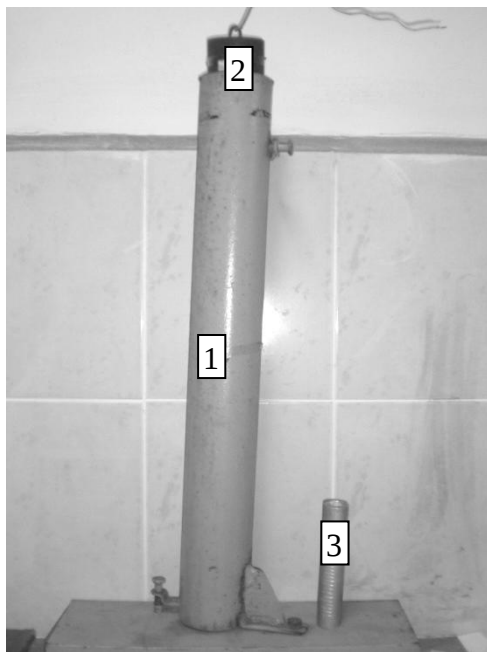


Рис. 3. Устройство для метода ударного измельчения:
1 – стальной стакан; 2 – гиря ($P = 2,4 \text{ кг}$); 3 – мерный стакан.

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.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

После разрушения пород молотком или кувалдой и пропуска через мельницу (рис. 2) разрушенную массу просеивают через сито (три в одном) получают куски крупностью 10-20 мм. Из измельченного материала пробы отбирают двадцать навесок, каждая из которых массой 40-60 г.

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

Каждую навеску отдельно дробят в стакане гирей, падающей с высоты 60 см. Количество сбрасываний гири определяют в зависимости от ожидаемой крепости породы, обычно от 5 до 15 сбрасываний на каждую навеску.

Примечания:

1. При очень мягких породах число сбрасываний может быть сокращено до 1, а при очень крепких – увеличено до 30.
2. При дроблении стальной стакан обязательно устанавливают на жесткое массивное основание – железобетонный или асфальтированный пол, стальную плиту, массой не менее 20 кг, толщиной около 10 см.

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 каждого пяти навесок, их просеивают на сите, затем подрешетный продукт сита ссыпают в объемомер, слегка встряхнув, его измеряют плунжером высоту столбика мелочи и записывают ее.

Коэффициент крепости горной породы (f) вычисляют по формуле:

$$f = \frac{20 \cdot n}{h}, \quad (2.1)$$

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 объемомере после испытания пяти навесок, мм.

Перед измерением пыль уплотняют легким постукиванием стакана по столу.

После просеивания через сито (ячейка = 0,5 мм) результаты определения высоты навесок в объемомере заносят в *табл. 2*.

Таблица 2

**Результаты испытаний крепости пород
по методу М. М. Протодяконова**

№ опыта	Крупность кусков, мм	Вес навесок, гр	Число сбрасываний гири	Высота h в объемомере, мм	h_{cp}	Коэффициент крепости, f
1						
2						
...						
n						

Испытания повторяются 2-3 раза, в качестве окончательных принимают значения, которые различаются между собой не более, чем на 25-30%.

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. К работе на мельнице допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж.
2. Включение и выключение мельницы производится преподавателем или лаборантом.
3. Разрушение горной породы мельницей или молотком выполняется в перчатках (рукавицах) при наличии устройств для защиты глаз (очки, прозрачные экраны).

5. ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Оформленная работа должна содержать:

- краткий конспект по внеаудиторной подготовке, включающий название работы, ее цель и характеристику метода испытаний;
- результаты испытаний в табличной форме;
- вычисленные с помощью формул числовые величины характеристики пород.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Укажите предельные интервалы изменения коэффициента крепости пород.
2. В чем заключается сущность метода определения коэффициента крепости?
3. В каких случаях допускается возможность первичного определения прочностных свойств пород грубыми методами (метод уплотнения, метод Протодяконова)?
4. В чем заключается физический смысл коэффициента крепости по Протодяконову?
5. Как перевести коэффициент крепости в предел прочности пород при сжатии?

7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Требования к определению механических свойств горных пород при геологическом изучении полей шахт Министерства угольной промышленности СССР (при разведке, строительстве, реконструкции и эксплуатации). Ленинград 1977, 93 с.

2. Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протодяконову. ГОСТ 21153.1-75*, 3 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Определение прочностных параметров горных пород и построение паспорта прочности

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков экспериментального определения пределов прочности горной породы при сжатии и растяжении методом многократного раскалывания пластины и раздавливания образовавшихся кубиков, построение паспорта прочности горной породы, определение сцепления и угла внутреннего трения изучаемой породы, оценка анизотропии.

2. МЕТОД ИСПЫТАНИЙ

Экспериментальная установка для определения пределов прочности горной породы при сжатии и растяжении методом многократного раскалывания пластин и раздавливания образовавшихся кубиков представлена на *рис. 4*.

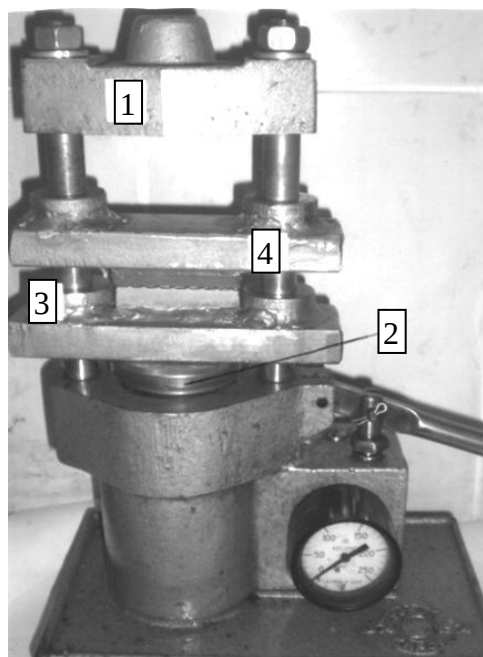


Рис. 4. Устройство для определения усилий сжатия и растяжения:
*1 – ручной пресс $P = 40$ кН; 2 – опорная плита;
 3, 4 – стальные клинья, между которыми помещают
 образец породы пластинчатой формы.*

Образцы выпиливают в виде пластин толщиной 20 мм и поперечными размерами 60x80 мм. На поверхности пластин с помощью линейки наносят сетку со стороной квадрата 20 мм (рис. 4).

При этом линии разметки по взаимно перпендикулярным направлениям наносят двумя различными цветами, что позволяет при выполнении эксперимента оценить анизотропию породы – различие значений определяемых параметров (в нашем случае величины σ_p) по различным направлениям.

При подготовке образцов следует учитывать особенности строения породы. Для слоистых пород выпиливают два набора пластин – вдоль (параллельно) и поперек (перпендикулярно) 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. При обработке экспериментальных данных усредняют только однотипные показания.

Отметим, что толщина образцов (d) для проведения эксперимента в некоторых случаях может превышать 20 мм. Например, в соответствии с ГОСТом 22450-77 для углей крепких и средней крепости толщина пластин составляет 30-40 мм, а для слабых и хрупких – 40-80 мм. Расстояние между линиями раскола в этих случаях принимают равным толщине пластины.

Испытания могут вестись на сухих образцах или на влажных, что отмечают при проведении работы.

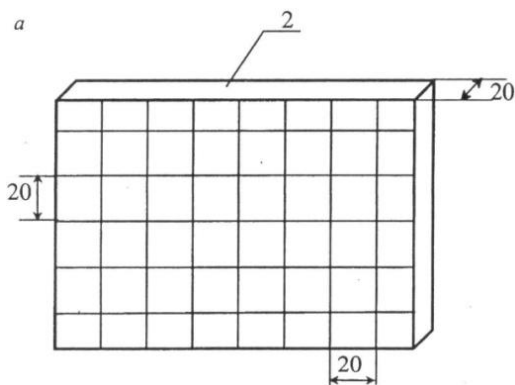


Рис. 4а. Подготовка образцов к испытанию
(разметка плиты – 2)

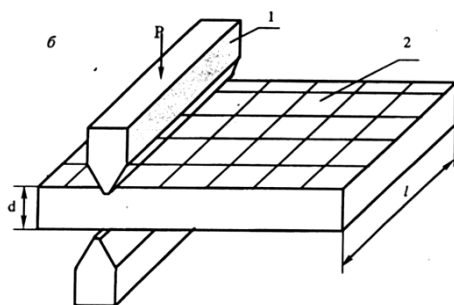


Рис. 4б. Подготовка образцов к испытанию
(размещение стальных клиньев – 1, относительно плиты – 2):
 d – толщина плиты; l – 60-80 мм, поперечные размеры плиты

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При определении предела прочности при растяжении σ_p пластину породы располагают между клиньями так, чтобы лезвия клиньев были строго ориентированы в одной плоскости и параллельны друг другу. Плоскости поверхностей образца породы должны быть строго перпендикулярны направлению приложения раскалывающей силы P_p , Н (рис. 4б).

Скорость нагружения поддерживают в пределах $(5-10) \cdot 10^5$ Па/с. Раскол производят поочередно по всем продольным линиям. Затем получившиеся бруски раскалывают по поперечным линиям.

Вычисляют для каждого образца значение предела прочности при растяжении σ_p :

$$\sigma_p = \frac{P_p}{dl}$$

где:

P_p – максимальная разрушающая нагрузка
при раскалывании образца между клиньями, Н;

d – толщина пластины, м;

l – длина линии раскола, м.

Полученные после многократного раскалывания пластин кубики сечением $20 \times 20 \times 20$ мм можно использовать для определения $\sigma_{сж}$.

Для этой цели клинья снимаются с направляющих штанг прессы, на днище прессы укладывается плита толщиной не менее 10 мм.

Тщательно осматривают получившиеся в результате раскола кубики полуправильной формы. Кубики с дефектами (сильно выщербленные края, трещины и т. п.) бракуются. Для дальнейшего эксперимента отбираются только кубики (образцы) без дефекта.

Штангенциркулем уточняют размеры полученных образцов и вычисляют площадь приложения нагрузки S .

Осуществляют раздавливание отобранных образцов на прессе. Образцы размещают так, чтобы сжатие их происходило между плоскими шлифованными поверхностями. Скорость нагружения – $(5-10) \cdot 10^5$ Па/с.

При разрушении образца фиксируют разрушающую нагрузку $P_{сж}$ и вычисляют $\sigma_{сж}$ для каждого образца:

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{сж}}{S}.$$

Результаты определения $\sigma_{сж}$ и σ_p заносят в табл. 3 и 4.

Паспорт прочности горных пород строят по методам, изложенным в ГОСТе 21153.4-75 и ГОСТе 21153.8-88.

Таблица 3

**Результаты определения предела прочности
при одноосном растяжении**

Наименование породы _____

Номер опыта	Площадь раскола $d \times l$, м ²	Раскалывающее усилие P_p , Н	σ_p , МПа	Примечание
1				
2				
3				
...				
n				

Таблица 4

**Результаты определения предела прочности
при одноосном сжатии**

Наименование породы _____

Номер опыта	Площадь нагружения S , м ²	Разрушающее усилие $P_{сж}$, Н	$\sigma_{сж}$, МПа	Примечание
1				
2				
3				
...				
n				

Паспорт прочности строится по полученным средним значениям σ_p и $\sigma_{сж}$ упрощенным способом (прямолинейная форма паспорта прочности).

Для этого на миллиметровке в одном и том же масштабе откладывают по оси абсцисс нормальные напряжения σ , а по оси ор-

динат – касательные напряжения τ . От начала координат (рис. 5) вправо откладывают среднюю величину $\sigma_{сж}$, полученную по данным эксперимента. Из центра полученного отрезка радиусом $0,5 \cdot \sigma_{сж}$ 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 K (МПа).

Производят расчеты K и ρ по формулам и сравнивают полученные значения со значениями, занесенными в паспорт прочности.

Для случая прямолинейной формы паспорта прочности (рис. 5) справедливы соотношения:

$$K = 0,5 \sqrt{\sigma_{сж} \sigma_p}$$

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{\sigma_{сж} - \sigma_p}{2 \sqrt{\sigma_{сж} \sigma_p}}$$

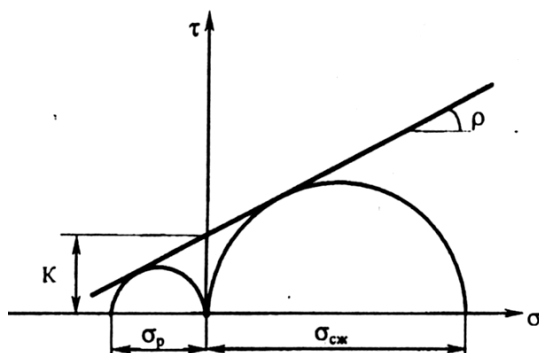


Рис. 5. Паспорт прочности горной породы

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. К работе на прессе допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж.

2. Пластины толщиной 20-40 мм с поперечными размерами 60×100 мм готовятся заранее лаборантами или преподавателями с помощью «болгарки» и других устройств или из кернов $d = 60-80$ мм с последующей нарезкой дисков на камнерезном станке.

3. Работа по разделке пластин и кубиков выполняется в перчатках (рукавицах) при наличии устройств для защиты глаз (очки, прозрачные экраны).

5. ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Работа оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа 7.32-81.

Оформленная работа должна содержать:

- краткий конспект по внеаудиторной подготовке, включающий название работы, ее цель и характеристику метода испытаний;
- результаты испытаний в табличной форме и в виде паспорта прочности; вычисленные с помощью графиков и таблиц числовые характеристики механических свойств испытанных пород; анализ полученных результатов и выводы.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение предела прочности породы при сжатии.
2. Дать определение предела прочности породы при растяжении.
3. В чем заключается физический смысл сцепления горных пород?
4. В чем заключается физический смысл угла внутреннего трения горных пород?

7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 50544-93. Породы горные. Термины и определения. – М.: Изд. стандартов, 1993. – 47 с.
2. ГОСТ 21153.1-75. Породы горные. Методы физических испытаний. – М.: Изд. стандартов, 1975.
3. ГОСТ 21153.3-85, ГОСТ 21153.5-68, ГОСТ 21153.2-84, ГОСТ 21153.8-88.

Составители:

Алексей Агафангелович РЕНЕВ
Светлана Георгиевна КОСТЮК
Николай Тимофеевич БЕДАРЕВ
Василь Марсельевич КАМАЛОВ

Рецензент:

Степан Илларионович КАЛИНИН

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных работ по курсу «Геомеханика»
для студентов специальности 130404 «Подземная разработка
месторождений полезных ископаемых» всех форм обучения

Сверстано и отпечатано в филиале ГУ КузГТУ в г. Прокопьевске.
653033, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а.

Редактор: Н. П. Романцова

Подписано в печать 09.01.09 г. Отпечатано на ризографе.
Формат 60×84 1/16. Объем 1,25 п. л. Тираж 65 экз. Заказ 008.

