



Негосударственное частное образовательное учреждение
высшего образования
«Технический университет УГМК»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД

Специальность	<u>21.05.04 Горное дело</u>
Специализация	<u>Подземная разработка рудных месторождений</u>
Уровень высшего образования	<u>Специалитет</u> <i>(бакалавриат, специалитет, магистратура)</i>
Квалификация выпускника	<u>горный инженер (специалист)</u>

Автор - разработчик: Казак О. О., канд. техн. наук, доцент
Рассмотрено на заседании кафедры разработки месторождений полезных ископаемых
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма
2021

Задания и методические указания к выполнению контрольной работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Физика горных пород».

Контрольная работа является составной частью самостоятельной работы обучающихся дисциплине «Физика горных пород». Выполнение контрольных работ имеет целью закрепление обучающимися полученных на лекциях теоретических знаний и практического опыта, приобретенного на практических занятиях, путем самостоятельной работы.

Контрольные работы по дисциплине «Физика горных пород» выполняются студентами очной и заочной формы обучения после изучения материала по всему курсу. Контрольные работы предъявляются преподавателю при сдаче экзамена.

Контрольная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы – овладение методикой лабораторного определения деформационных характеристик скальных пород статическим методом применительно к расчетам процессов горного производства.

Определяемые в опыте деформационные характеристики включают: модуль упругости, модуль пластичности, модуль общей деформации, коэффициент Пуассона. По полученным результатам вычисляются модуль сдвига и модуль объемного сжатия. Указанные характеристики определяют устойчивость горных пород и энергоемкость всех процессов связанных с разработкой пород.

Теоретическая основа дается в учебнике [1]:

2.2. Напряжения и деформации в горных породах;

2.3. Упругие свойства горных пород;

2.6. Методы определения упругих свойств горных пород;

2.13. Пластическое деформирование горных пород;

2.14. Пластические свойства горных пород.

Методика эксперимента

1. На испытываемый образец в форме цилиндра (керн) или призмы с параллельными торцами устанавливаются датчики продольной и поперечной деформации (тензодатчики сопротивления или индикаторы часового типа). Измеряют высоту и площадь образца S ; определяют базу измерений (в продольном направлении L и поперечном направлении d).

2. Образец устанавливают на прессе и производят его ступенчатое нагружение. Величина предельной нагрузки определяется прочностью горной породы при сжатии и назначается в зависимости от конкретно решаемой задачи.

3. На каждой ступени нагружения фиксируется значение нагрузки P_i , N (или кгс) и показания парных датчиков продольной и поперечной деформации.

4. После проведения эксперимента вычисляют напряжения на каждой ступени нагружения $\sigma_i = P/S$; усредняют показания пар датчиков и вычисляют относительную продольную $\varepsilon_i = \Delta L/L$ и поперечную $\Delta d_i/d$ деформации.

5. Результаты заносят в таблицу и производят построение графиков продольной и поперечной деформации.

6. По линейным участкам графиков вычисляют модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν ; выделяют нелинейный участок графика, характеризующий пластическую деформацию породы, и вычисляют модуль пластичности $E_{пл}$; по полной деформации определяют модуль общей деформации $E_{деф}$.

7. Вычисляют значения модуля сдвига: $G = E/[2(1 + \nu)]$ и модуля объемного сжатия $K = E/[3(1 - 2\nu)]$.

Задание:

1. Вычислить все указанные выше деформационные характеристики горной породы.
2. Определить удельную энергоёмкость разрушения данной породы: $A_{уд} = \sigma^2/2E_{деф}$, Дж/м³, приняв σ равным предельному значению напряжений, полученному в опыте.
3. Определить удельную энергоёмкость разрушения этой же породы в предположении ее идеальной упругости: $A_{уд}^* = \sigma^2/2E$, Дж/м³.
4. Сравнить результаты и определить потери энергии на пластическое деформирование горной породы: $\Delta A = A_{уд} - A_{уд}^*$; выразить потери в % к $A_{уд}$.

Пример распечатки результатов

Известняк		
Напряжение, МПа	Деформация (10 ⁻³)	
	продольная	поперечная
5	0.000	0.000
10	0.500	-0.125
15	0.750	-0.188
20	1.000	-0.250
25	1.250	-0.313
30	1.500	-0.375
35	1.750	-0.438
40	2.000	-0.500
45	2.250	-0.563
50	2.500	-0.625
55	2.750	-0.688
60	3.000	-0.750
65	3.250	-0.813
70	3.500	-0.875
75	3.750	-0.938
80	4.000	-1.000
85	4.250	-1.063
90	4.500	-1.125
95	4.854	-1.213
100	5.503	-1.376
105	6.503	-1.626
110	7.901	-1.975
115	9.738	-2.434
120	12.053	-3.013

Модуль упругости, ГПа:

Предел упругости, МПа

Модуль пластичности, ГПа

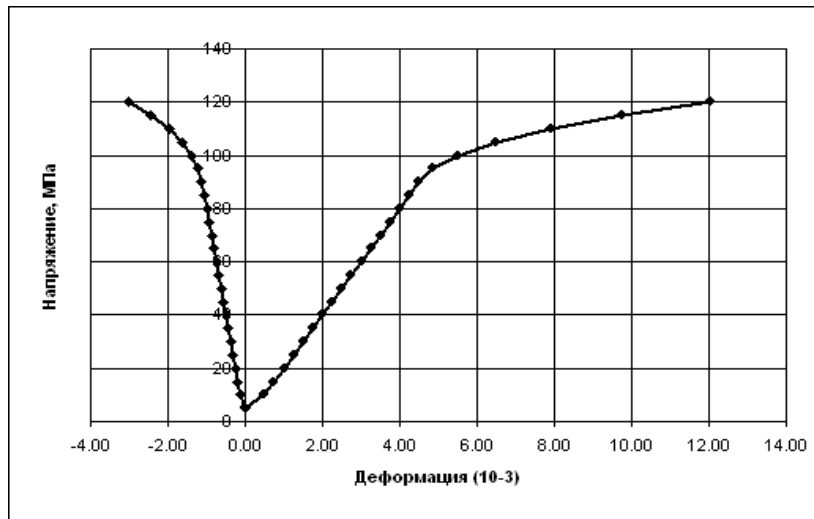
Модуль общей деформации, ГПа

Модуль сдвига, ГПа

Модуль объемного сжатия, ГПа

Коэффициент Пуассона:

20.0
90.0
4.0
10.0
8.0
13.3
0.25



Контрольная работа №2

ПОСТРОЕНИЕ ПАСПОРТА ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы – овладение методикой лабораторного определения прочностных характеристик горных пород и построения их паспорта прочности

Краткая теория

Разрушение пород – определяющий процесс горной технологии. Его параметры определяются прочностью горных пород. Прочность определяется величиной критических напряжений, при которой происходит разрушение горной породы. Следовательно, прочность как любое напряжение σ , $\tau = P/S$ измеряется в Паскалях (Па). В общем случае разрушение горных пород происходит в условиях сложного напряженного состояния, т. е. при различном сочетании нормальных σ и касательных τ напряжений. Для определения предельного сочетания этих напряжений, при котором происходит разрушения горных пород, используются круги напряжений Мора.

Рассмотрим плоскую задачу (рис. 2.1). Пусть элементарный объем горной породы разрушается под действием напряжений σ_{\max} и σ_{\min} . Тогда в любой произвольной площадке под углом α действуют разрушающие напряжения σ_0 и τ_0 . Для определения их величины производится построение круга напряжений Мора. На разнице векторов σ_{\max} и σ_{\min} , как на диаметре, производится построение окружности и проводится луч под углом α , соответствующем углу наклона выделенной площадки. Точка пересечения луча с кругом напряжений Мора даст величину действующих в данной площадке напряжений.

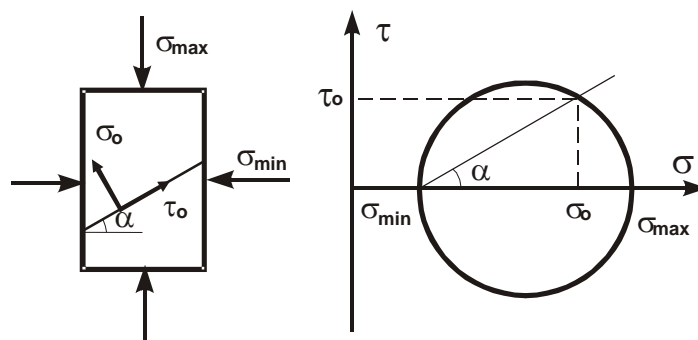


Рис. 2.1. Диаграмма Мора

Данная схема описывает состояние объемного сжатия. Однако разрушение горной породы может происходить и при другом характере нагрузки. Тогда для определения разрушающих напряжений в любом сложном напряженном состоянии требуется построить бесконечное множество кругов напряжений Мора (рис. 2.2). На данном рисунке приведены наиболее характерные предельные круги напряжений Мора. При этом растягивающие напряжения условно считаются отрицательными, сжимающие – положительными. Например, круг №3 получают путем разрыва образца ($-\sigma_1$) предварительно сжатого нагрузкой ($+\sigma_2$). В зависимости от принятого сочетания сжимающих и растягивающих напряжений можно получить бесконечное множество таких кругов (растяжение со сжатием).

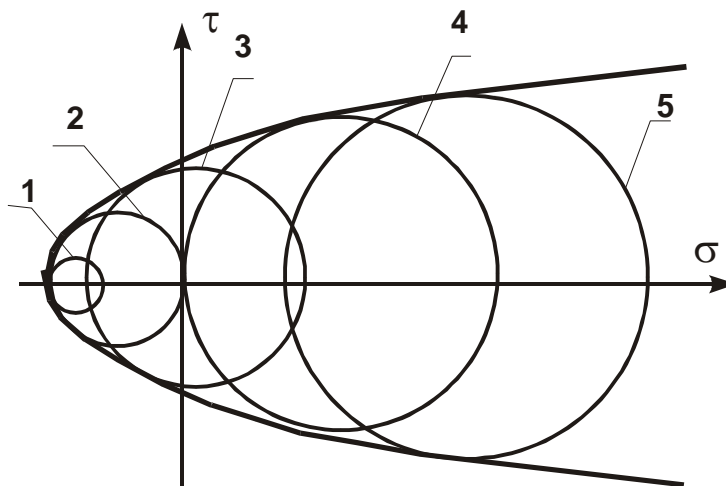


Рис. 2.2. Огибающая кругов напряжений Мора:
 1 – объемное растяжение; 2 – одноосное растяжение; 3 – растяжение со сжатием; 4 – одноосное растяжение; 5 – объемное сжатие

Всю совокупность предельных кругов напряжений Мора можно описать некоторой огибающей, которая и будет характеризовать прочность горной породы в любом сложном напряженном состоянии. Это означает, что точки на огибающей соответствуют сочетанию нормальных σ и касательных τ напряжений, при которых происходит разрушение горной породы. Все точки внутри огибающей соответствуют напряжениям, которые данная горная порода способна выдержать без разрушения.

Таким образом (как видно из чертежа) разрушение горной породы наступает тогда, когда касательные напряжения превысят величину, определяемую огибающей кругов напряжений Мора, либо нормальные растягивающие напряжения превысят определенный предел. Отсюда следует важный вывод: разрушить горную породу чистым сжатием невозможно. Действительно, при сжатии происходит сближение атомов, реакция отпора может возрасти до бесконечности без разрушения связи между частицами, образующими кристаллическую решетку.

Паспортом прочности называется огибающая предельных кругов напряжений Мора. При этом, поскольку положительные и отрицательные касательные напряжения равнозначны, производится построение только верхней половины кругов напряжений. С точки зрения теории Мора все круги напряжений имеют одинаковую ценность, но экспериментально наиболее просто определить прочность горных пород на одноосное сжатие и растяжение. Процедура построения паспорта прочности состоит в следующем. В прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладывают отрезки, пропорциональные прочности породы на одноосное растяжение σ_r и одноосное сжатие $\sigma_{сж}$.

На этих отрезках, как на диаметрах, строят полуокружности, по которым проводят огибающую. В простейшем случае принимают огибающую кругов напряжений в виде прямой (рис. 2.3, линия 1).

Уравнение огибающей запишется в виде:

$$\tau = \tau_c + \sigma \operatorname{tg}(\varphi). \quad (2.1)$$

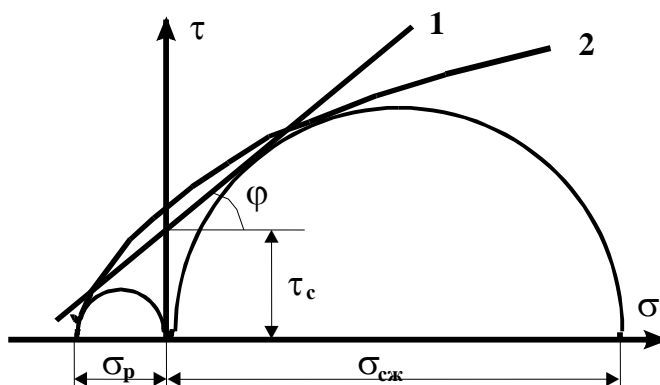


Рис. 2.3. Паспорт прочности горной породы

Величина τ_c называется **сцеплением** и соответствует предельному (разрушающему) касательному напряжению при отсутствии нормальных напряжений. **Угол внутреннего трения** φ характеризует скорость роста предельных касательных напряжений с ростом нормальных. Величина $\operatorname{tg}(\varphi)$ называется коэффициентом внутреннего трения.

Огибающая кругов напряжений в виде прямой является достаточно грубым приближением. Реальная огибающая всегда нелинейна (рис. 2.3, линия 2) и представляет собой монотонную кривую, симметричную относительно оси абсцисс. Для разных горных пород она может описываться уравнением параболы или гиперболы, реже циклоиды.

Для скальных пород уравнение огибающей можно представить уравнением параболы в виде:

$$\tau = \sqrt{K \cdot (\sigma_p + \sigma)}, \quad (2.2)$$

где

$$K = [2\sigma_p - 2\sqrt{\sigma_p(\sigma_p + \sigma_{сж})} + \sigma_{сж}]. \quad (2.3)$$

Координаты точек огибающей вычисляются по 8 точкам, вычисленным и записанным в таблице

σ, МПа	$-\sigma_p$	$-0,75\sigma_p$	$-0,5\sigma_p$	0	$0,25\sigma_{сж}$	$0,5\sigma_{сж}$	$0,75\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$
τ, МПа								

Величина сцепления определится из условия $\sigma = 0$, тогда:

$$\tau_c = \sqrt{K \cdot \sigma_p}. \quad (2.4)$$

Тангенс угла внутреннего трения определится как первая производная уравнения огибающей в точке с координатами $[\tau = \tau_c; \sigma = 0]$, т. е.

$$\varphi = \arctg(K/2\tau_c). \quad (2.5)$$

Экспериментальное определение прочности горных пород

Для построения паспорта прочности производится экспериментальное определение прочности горной породы на одноосное растяжение σ_p и сжатие $\sigma_{сж}$. Для определения прочности при растяжении используется метод раскалывания пластин соосными клиньями. Прочность при сжатии определяется путем раздавливания кубических образцов. Результаты заносятся в таблицу.

ПРОЧНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

Горная порода: туфы

Коэффициент крепости $f =$ 8

При растяжении				При сжатии			
Площадь, см ²	Нагрузка, кгс	Прочность, МПа	$(X_i - X_{ср})^2$	Площадь, см ²	Нагрузка, кгс	Прочность, МПа	$(X_i - X_{ср})^2$
14,6	1060	7,26	2,36	4,6	3440	75,44	18,8
6,8	410	6,02	0,08	3,7	2920	79,13	0,4
9,2	370	4,02	2,92	5,9	7240	123,34	1897,6
9,3	480	5,16	0,33	7,8	8440	108,90	848,3
7,5	400	5,36	0,14	6,7	8520	127,35	2263,6
8,8	370	4,22	2,28	5,9	3320	56,56	539,1
7,4	470	6,36	0,40	6,6	2000	30,21	2456,8
8,9	460	5,16	0,33	5,6	4120	73,05	45,3
5,3	410	7,73	4,00	4,8	4200	87,32	56,9
9,7	586	6,01	0,08	3,5	1275	36,47	1875,9
Среднее		5,73	12,91	Среднее		79,78	10002,6
Стандарт		1,140		Стандарт		31,60	
Квар, %		19,80		Квар, %		39,60	

Рекомендуемая последовательность анализа результатов

1. Вычисляются единичные значения прочности как отношение нагрузки P к площади образца S : $\sigma = P/S$. При этом следует иметь ввиду, что $1 \text{ кгс/см}^2 = 0,1 \text{ МПа}$.

2. Вычисляется среднее значение прочности при растяжении и сжатии $\sigma_{ср}$.

3. Оценивается точность экспериментов. Вариация (изменчивость) единичных определений прочности σ_i , обусловленная неоднородностью горной породы, значительно выше (на порядок и более) приборной погрешности. Поэтому для оценки точности используют общий коэффициент вариации единичных значений прочности

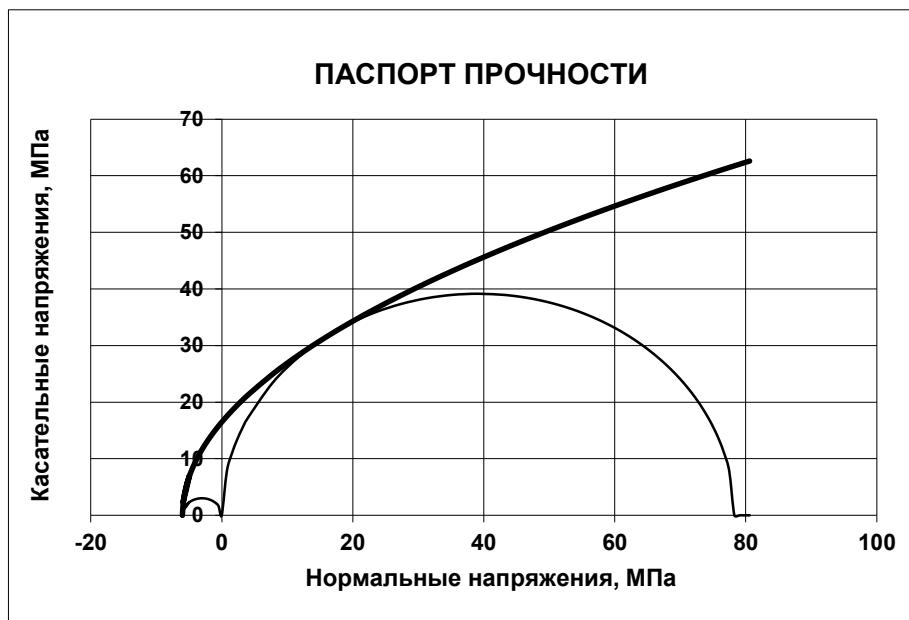
$$K_{\text{вар}} = \frac{S_{\sigma}}{\sigma} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

среднее квадратическое отклонение (стандарт):

$$S_{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{\sigma})^2}{n-1}}. \quad (2.7)$$

Для удобства расчетов квадрат разности измеренных значение от среднего записывается в последние столбцы таблицы. Ниже показана сумма квадратов отклонений.

4. Производится построение огибающей предельных кругов напряжений (паспорта прочности) по уравнениям (2.2, 2.3). Для приведенного выше примера паспорт прочности показан на рисунке.



5. Вычисляются значения угла внутреннего трения (уравнение 2.5) и сцепления (уравнение 2.4). Для рассматриваемого примера: $\varphi = 54$ град.; $\tau_c = 16,5$ МПа.

Порядок выполнения и оформления контрольной работы

1. Производят все указанные в задании вычисления характеристик горных пород.
2. В соответствии с заданием определяют параметры элементов горной технологии по полученным характеристикам горной породы.
3. Оформляют и защищают контрольную работу.

Контрольная работа должна состоять из титульного листа с указанием ее названия, автора и руководителя; краткой теории вопроса; сводки результатов и выводов.

При выполнении графических построений и таблиц на компьютере приводятся их распечатки.

Все расчеты оформляются в виде формулы в общем виде, ее числовое выражение и полученный результат с указанием размерности.