

КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГОРНЫХ СО-  
ОРУЖЕНИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по курсу

''Разрушение горных пород взрывом''

( для студентов специальностей 7.090216; 7.092501г; 7.090301;  
7.090303; 7.090307 для 2 курса дневной и 3 курса заочной форм обуче-  
ния – бакалавры)

Рекомендовано  
на заседании кафедры  
строительной геотехнологии и  
горных сооружений  
Протокол № 8 от 19.04.2006 г.

Утверждена на заседании  
методического совета ДонГТУ  
Протокол № 5 от 06.05.2006г.

Алчевск,  
ДонГТУ,  
2006

УДК 622.235

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу "Разрушение горных пород взрывом" ( для студ. спец. 7.090216; 7.092501г; 7.090301; 7.090303; 7.090307 для 2 курса дневной и 3 курса заоч. форм обуч. – бакалавры) / Сост.:А.Я.Попов –Алчевск ДонГТУ, 2006. – 52с.

Приведены лабораторные работы, порядок их выполнения.

Составитель: А.Я.Попов, доц.,

Ответственный  
за выпуск В.К.Колодийчак,

Ответственный редактор Г.И.Гайко, проф.

## **КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВАНИИ ЗАРЯДОВ**

Цель: изучение устройства и отработка приемов работы с контрольно-измерительной аппаратурой, применяемой при электрическом взрывании зарядов. В результате выполнения работы студент должен изучить назначение и техническую характеристику, ознакомиться с устройством и электрической схемой, а также отработать приемы работы с контрольно-измерительными приборами.

Для измерения сопротивления электродетонаторов и электро-взрывной сети применяют омметры Р – 3043, ОВЦ – 2, М – 57.

### **1.1 ОПИСАНИЕ ПРИБОРОВ**

Омметр ОВЦ-2 – переносной прибор, смонтированный в металлическом цилиндрическом корпусе. Диаметр прибора 52 мм, длина 155 мм, масса 0,425 кг. Омметр предназначен для измерения сопротивления отдельных ЭД и в целом электровзрывных сетей. Взрывником электрическая схема прибора (рис. 1.1) представляет собой простейшую линейную мостиковую схему для измерения сопротивления, плечи которой образованы измерительным реохордом  $R_0$  (вместе с постоянными сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$ ), постоянными сопротивлениями  $R_3 = 10$  Ом и  $R_4 = 90$  Ом и измеряемым сопротивлением  $R_x$ . Момент равновесия устанавливается по индикатору, включенному в диагональ моста. Подвижной контакт измерительного реохорда жестко

связан с лимбом, шкала которого градуирована от 1 до 50 Ом. Источник питания – батарея из двух аккумуляторов типа Д-02 напряжением 2,5 В и емкостью 0,2 А ч. Предел измерения прибора от 1 до 500 Ом: в первом диапазоне от 1 до 50 Ом, во втором – от 10 Ом до 500 Ом.

Прибор выпускается в нормальном рудничном исполнении. При измерении сопротивлений от 10 до 500 Ом необходимо подключить к прищепкам концы проводов от электровзрывной сети, после чего нажать кнопку включения, обозначенную на корпусе и в электрической схеме «x10» (при этом включается питание), и поворотом кольца лимба совместить стрелку индикатора М с нулевым штрихом шкалы, затем отпустить кнопку, прочесть показания на шкале лимба и отсчет умножить на 10. Это и будет искомое сопротивление. При измерении сопротивлений от 1 до 50 Ом следует нажать обе кнопки включения «x1» и «x10». Нажатием кнопки «x1» на плече с постоянным сопротивлением  $R_3$  и  $R_4$  большее сопротивление  $R_4 = 90$  Ом будет шунтировано, а в цепи останется меньшее сопротивление  $R_3 = 10$  Ом. Нажатием кнопки «x10» включить питание прибора. Затем поворотом кольца лимба надо совместить стрелку индикатора М с нулевым штрихом шкалы, отпустить кнопки включения и прочесть показания на лимбе. Это и будет искомое сопротивление.

Мост переносной Р-3043 предназначен для измерения сопротивления электродетонаторов на расходном складе ВМ, а также для измерения сопротивления взрывных электрических цепей из укрытия в шахте. В приборе использована схема одинарного моста постоянного тока. На внутренней крышке приведена электрическая схема моста и порядок работы по измерению сопротивления. Этот мост помещен в прямоугольный металлический корпус, масса прибора – 1,6 кг.

Метаномер с измерителем взрывной сети ИМС-1 предназначен для периодического контроля содержания метана (до 3 %) в рудничной атмосфере и измерения сопротивления взрывной цепи (из укрытия) в шахтах, опасных по газу и пыли. При измерении сопротивления взрывной сети (от 0 до 20 Ом) используется принцип неуравновешенного моста, в одно плечо которого включается взрывная сеть. Масса прибора – 1,5 кг

Испытатель взрывной светодиодный ВИС-1 (рис. 1.0) предназначен для проверки целостности электровзрывной цепи и для проверки предельно возможного его сопротивления, при производстве взрывных работ в шахтах, опасных по пыли и газу. Масса прибора 0,3 кг. Ток на выходных клеммах прибора не превышает 0,005 А, т. е. Им возможно пользоваться непосредственно в призабой ном пространстве выработки. ВИС-1 состоит из пластмассового корпуса 4, крышки 3, электронного блока с индикатором светодиодным, блока питания, выключателя 2, двух выводных клемм 1Ю, к которым присоединяется измеряемое сопротивление. Исполнение – рудничное особо взрывоопасное.

В настоящее время разработаны новые образцы приборов с цифровой индикацией и автоматическим выбором пределов измерений (ХН-2570, ЖЗ-2460, ДВР-12, PR-12).

Для проверки сопротивления электродетонаторов в шахтных расходных складах применяют омметры ОКЭД-1 и ОКЭД-2 с пределами измерения сопротивления 0,5 ... 8,5 Ом. Приложив концы проводов ЭД к выводным контактам прибора, получают на его шкале величину его сопротивления. Прибор позволяет очень быстро определить

сопротивление большого количества ЭД и классифицировать их по сопротивлениям.

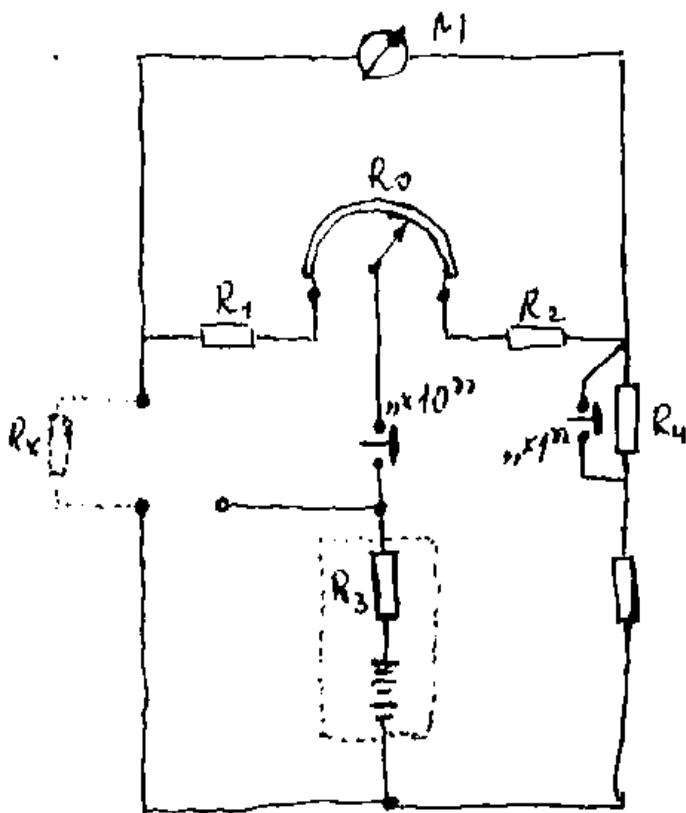
Испытатель ВИС-1 (рис.3) является современным электронным прибором, выполненным в искробезопасном исполнении.

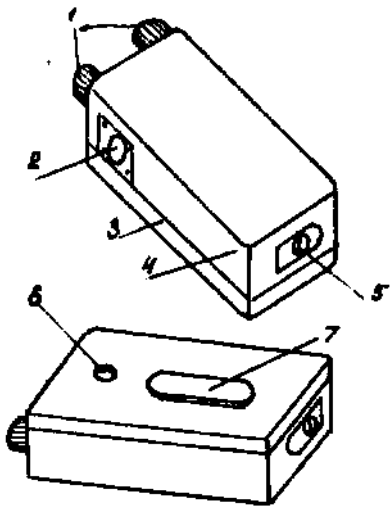
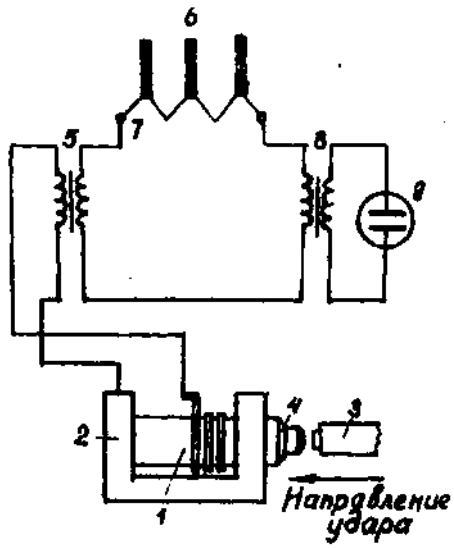
Перед началом работы с испытателе необходимо проверить уровень зарядки блока питания и пригодность испытателя по погрешности контроля допустимого сопротивления.

Обе проверки производятся одновременно при выполнении следующих работ. К клеммам испытателя подключается контрольный резистор сопротивления 336 Ом. При нажатии кнопки включения индикатор светиться не должен. Затем резистор 336 Ом отсоединяется от клемм, заменяется на резистор 304 Ом и после нажатия кнопки индикатор должен светиться красным светом. Свечение индикатора в продолжение 6-10с подтверждает годность испытателя к проверке допустимого сопротивления взрывной сети и достаточный уровень зарядки блока питания. В случае, если в продолжение 6-10 с индикатор начинает светиться тускло, мигает или постепенно перестает светиться, то это является сигналом, что испытатель для проверки допустимого сопротивления не пригоден и требуется его перезарядка.

Для проверки взрывной сети или ее элементов к клеммам испытателя ВИС-1 подсоединяются защищенные концы проводов и нажатием кнопки включается испытатель. При отсутствии обрывов в проверяемой сети или ее элементах и величине ее сопротивления не выше 320 Ом загорается световой индикатор. Длительность нажатия при проверке не более 2-4 с.

В отчете о лабораторной работе следует указать цель и содержание работы, назначение, электрическую схему и правила работы с контрольно-измерительными приборами.







### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Какие приборы применяются для измерения сопротивления взрывной сети (электродетонаторов)?
2. Какие приборы применяются для проверки на токопроводимость взрывной сети (электродетонаторов)?
3. Устройство и принцип работы омметра ОВЦ-2.
4. Что является четвертым плечом в приборе ОВЦ-2?
5. Устройство и принцип работы прибора ВИС-1.
6. Какое количество электродетонаторов проверяется выборочно на соответствие их сопротивлений из каждой коробки?
7. Куда помещается (где находится) каждый электродетонатор при его проверке?
8. Какие приборы допускаются для проверки электродетонаторов?
9. Сроки проверки КИП при электрическом взрывании зарядов?
10. При каком расхождении измеренного и расчетного сопротивления необходимо устранить неисправности в электровзрывной сети?

### *Лабораторная работа 2*

## **ИСТОЧНИКИ ТОКА ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВАНИИ ЗАРЯДОВ**

Цель: изучение устройства и отработка приемов работы с источниками тока, применяемыми при электрическом взрывании заряда. В результате выполнения работы студент должен изучить назначение

и техническую характеристику источников тока, ознакомиться с устройством и электрической схемой взрывных приборов, а также отработать приемы работы с ними.

Для электрического взрывания применяют автономные и сетевые взрывные приборы. Автономные приборы взрывания имеют собственный источник энергии, сетевые получают энергию от осветительных или силовых сетей электрических установок или от передвижных электростанций.

Автономные приборы, у которых источником энергии служат гальванические элементы или аккумуляторы, называют взрывными приборами, если же источником энергии являются маломощные генераторы с ручным приводом, их называют взрывными машинками.

В качестве источников тока для взрывания электродетонаторов в шахтах, опасных по газу и пыли, применяют конденсаторные взрывные приборы.

Принцип действия конденсаторных взрывных приборов заключается в относительно медленном (порядка 10 с) накопления в конденсаторе электроэнергии, получаемой в процессе зарядки от маломощного первичного источника тока, и в быстрой (в течении нескольких миллисекунд) отдаче запасной энергии во взрывную сеть. Вследствие этого мощность посылаемого взрывным прибором импульса в несколько тысяч раз больше мощности, получаемой при зарядке, что позволяет при помощи малогабаритного и легкого источника энергии воспламенить большое число электродетонаторов.

## ОПИСАНИЕ ПРИБОРОВ

Конденсаторный взрывной прибор КВП – 1/100 имеет взрыво-безопасное исполнение и предназначен для взрывания не более 100 последовательно соединенных электродетонаторов при общем сопротивлении взрывной сети не более 320 Ом.

Электрическая схема прибора показана на рис. 2.1. Конденсатор-накопитель 1 емкостью 10 мкф заряжается до напряжения 600 В. Источником тока 2 в приборе служит батарея из трех сухих элементов «Сатурн». Повышение напряжения до 600 В производится с помощью преобразователя, состоящего из релаксационного генератора 3 на полупроводниковом триоде 4 и схемы удвоения и выпрямления на полупроводниковых диодах.

Для защиты конденсатора-накопителя от пробоя при повышении напряжения заданной величины в схеме предусмотрен газовый разрядник 5. Прибор снабжен пружинным миллисекундным замыкателем с тремя парами контактов (а-а, б-б, в-в) и включается специальным ключом.

При установке ключа в положение «заряд» контакты в-в замыкаются от конденсатора – накопителя 1 отключается разрядное сопротивление 6, а контакты а-а окажутся замкнутыми и подключат батарею 2 к генератору. После этого начинается зарядка конденсатора-накопителя, которая продолжается 8-10 с. О готовности к взрыву указывает сигнальная неоновая лампочка 8. При повороте ключа в положение «взрыв» контакты а-а под действием пружины размыкателя разомкнутся, контакты б-б замкнутся и подсоединят конденсатор-накопитель к магистральным зажимам взрывной сети. После этого

замкнутся контакты в-в и к конденсатору-накопителю подключится разрядное сопротивление 6 для снятия остаточного напряжения.

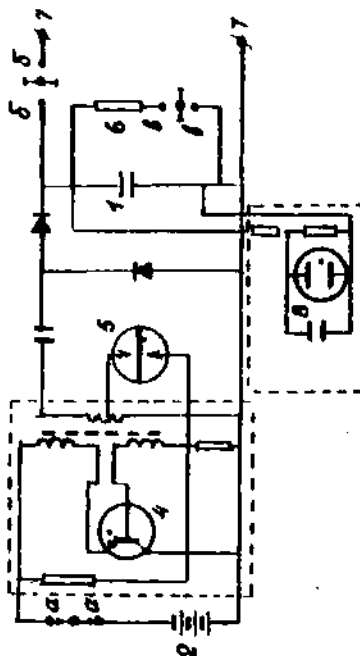


Рисунок 2.1 - Электрическая схема прибора КВП – 1/100.

Масса прибора – 2 кг. Корпус прибора металлический или пластмассовый.

Конденсаторный взрывной прибор ПИВ- 100 м отличается от прибора КВП-1/100 м тем, что в его корпусе заключен еще и омметр для измерения сопротивления – взрывной сети. Измерительная и взрывная схема питаются от отдельных источников питания и вмонтированы в один пластмассовый корпус, имеющий рудничное взрывоне-

проницаемое исполнение. Цена деления шкалы омметра 20 Ом, поэтому измерить сопротивление отдельного детонатора невозможно

Для измерения сопротивления взрывной сети ее подключают к зажимам прибора. По часовой стрелке поворачивают до упора в положение ИВЦ рычаг, включающий омметр. Измерение производят в месте укрытия, откуда будут взрывать заряды. После измерения рычаг отводят в исходное положение и вставляют в гнездо «заряд-взрыв» ключ. Ключ поворачивают против часовой стрелки и заряжают конденсатор-накопитель до загорания сигнальной лампочки. Затем резко поворачивают ключ по часовой стрелке и взрывают заряды. После взрыва ключ вынимают, и гнездо закрывают пробкой.

Электрическая схема и питание взрывного прибора аналогичны таковым в приборе КВП - 1/100 м. Масса прибора – 2,7 кг.

Взрывная часть прибора ПИВ - 100 м обеспечивает не менее 4000 срабатываний, а измерительная схема 6000 измерений сопротивления взрывной сети.

В отчете о лабораторной работе 14 следует указать цель и содержание работы, назначение, область применения, техническую характеристику, электрическую схему и правила работы со взрывными приборами.

При выполнении лабораторных работ по курсу «Разрушение горных пород взрывом» необходимо соблюдать правила техники безопасности, в частности:

строго и четко выполнять все указания руководителя работы;  
на столе должен находиться только тот прибор, который изучается;

приводить взрывной прибор в боевую готовность разрешается только в присутствии руководителя работы; запрещается разбирать взрывные работы.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Классификация электрических взрывных работ.
2. Как подразделяются автономные взрывные приборы?
3. Что называется взрывным прибором?
4. Что называется взрывной машинкой?
5. На чем основан принцип действия взрывных приборов?
6. Устройство и принцип действия взрывного прибора КВП – 1 м.
7. Устройство и принцип действия взрывного прибора ПИВ – 100 м.
8. Чем отличается взрывной прибор КВП – 1 от прибора ПИВ – 100 м?
9. Гарантийная величина силы тока при постоянном токе.
10. Гарантийная величина силы тока при переменном токе.
11. Виды проверки электровзрывных приборов перед их выдачей взрывнику.

### *Лабораторная работа 3*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

### **ГОРНЫХ ПОРОД**

Цель: изучить методы определения плотности, объемной массы и пористости породы.

### 3.1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

К плотностным параметрам относятся: плотность, объемная масса (удельный и объемный веса) и пористость.

Плотностью породы  $\rho_0$  называется масса единицы объема абсолютно сухой породы без учета пор и трещин. Ее можно определить по формуле  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho_0 = \frac{m}{V},$$

где  $m$  - масса породы, кг;

$V$  -объем породы,  $\text{м}^3$ .

Плотность зависит только от минерального состава породы.

Объемной массой  $\rho$  называется масса единицы объема породы с учетом пор, трещин и их заполнителей. Ее можно рассчитать по формуле,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho = \frac{m}{V_T + V_{Ж} + V_G},$$

где  $V_T$  -объем твердой фазы в единице объема породы;

$V_{Ж}$  -объем жидкости в единице объема породы;

$V_G$  -объем газа в единице объема породы.

Объемная база зависит от минерального состава, строения породы и заполнителя порового пространства. Плотность породы всегда больше объемной массы.

В практике горного дела часто пользуются показателями удельного и объемного весов.

Удельным весом  $\gamma_0$  называется вес единицы объема абсолютно сухой породы без учета пор и трещин. Его можно рассчитать по формуле, Н/м<sup>3</sup> :

$$\gamma_0 = \frac{G}{V},$$

где  $G$  -вес породы, Н ;

$V$ -объем породы, м<sup>3</sup>.

Так же как и плотность, удельный вес зависит только от минерального состава.

Объемным весом  $\gamma$  называется вес единицы объема породы с учетом пор, трещин и их заполнителей. Его можно рассчитать по формуле, Н/м<sup>3</sup> :

$$\gamma = \frac{G}{V_T + V_{Ж} + V_G},$$

где  $G$ -вес породы, Н;

$V_T$  -объем твердой фазы в единице объема породы, м<sup>3</sup>;

$V_{Ж}$  -объем жидкости в единице объема породы, м<sup>3</sup>;



$V_g$  -объем газа в единице объема породы.

Объемный вес зависит от минерального состава , строения породы и заполнителя порового пространства.

Объемную массу (объемный вес) используют в геологоразведке, в расчетах: запасов полезного ископаемого, горного давления, производительности горных предприятий и оборудования, расхода взрывчатых веществ при буровзрывных работах ; в выборе крепи, транспортных средств; в обогащении и других процессах.

Объемный вес и объемная масса породы,  $\text{Н/м}^3$ , связаны соотношением:

$$\gamma = q \cdot \rho ,$$

где  $q$ -ускорение свободного падения тела.

В зависимости от плотности породы делят на легкие-  $\rho_0 < 2,5 \cdot 10^3$   $\text{кг/м}^3$  (таких пород около 13 %), средние –  $2,5 \cdot 10^3 < \rho_0 < 4,5 \cdot 10^3$   $\text{кг/м}^3$  (53,2%) и тяжелые –  $\rho_0 > 4,5 \cdot 10^3$   $\text{кг/м}^3$  (33,8%).

Пористостью называется совокупность всех пустот в горных породах, заключенных между минеральными частицами или их агрегатами в единице объема породы.

Пористость можно рассчитать, зная плотность и объемную массу породы, по формуле, %

$$P = \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_0} \right) \cdot 100$$

Она измеряется либо в долях единицы, либо в процентах.

Пористость зависит от происхождения, формы зерен и их упаковки, наличия цементирующего вещества и его плотности и других факторов.

Приборы и принадлежности: весы, разновесы, пикнометры, мерный цилиндр, дистиллированная вода, образцы породы.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОРОДЫ ПИКНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

При пикнометрическом методе определения плотности горной породы используют пикнометр – мерную колбу точного объема.

Метод основан на изменении массы пикнометра, наполненного дистиллированной водой, при замене части ее навеской исследуемой горной породы.

#### *3.2 ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ*

1. Отобрать, измельчить и просеять через сито с отверстиями 0,5 мм образцы исследуемой горной породы.
2. Взвесить сухой пикнометр (масса –  $m_1$ ).
3. В пикнометр насыпать 10-15 г прошедшей через сито породы и взвесить -  $m_2$ .
4. В пикнометр с породой налить до 0,5 его объема дистиллированной воды, встряхиванием удалить из породы воздух, долить воды до метки и вновь взвесить –  $m_3$ ,

5. Из пикнометра все вылить , вымыть, налить в пикнометр дистиллированной воды до метки , сверху пикнометр обернуть фильтровальной бумагой и взвесить -  $m_4$ .
6. Плотность рассчитать по формуле,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \rho_0}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}$$

1. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 3.1

Таблица 3.1

Наименование породы	Номер пикнометра	Результаты измерений, кг				Результаты вычислений, $\text{кг/м}^3$	
		$m$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$\rho_0$	$\rho_{\text{от}}$
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						

Определение объемной массы исследуемой горной породы

1. Отобрать и взвесить образцы исследуемой горной породы ( $m$ , кг).
2. В мерный цилиндр налить воды до определенной метки  $V_1$ , осторожно опустить образец  $V_2$  и по объему вытесненной воды определить объем образца ( $V = V_2 - V_1$ ,  $\text{м}^3$ )

3. Полученные результаты занести в табл. 2.

4. По формуле  $\rho = \frac{m}{V_2 - V_1}$

Рассчитать объемную массу породы, кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 3.2

Наименование породы	Масса образца, кг	Первоначальный объем воды V <sub>1</sub> , м <sup>3</sup>	Объем воды и породы V <sub>2</sub> , м <sup>3</sup>	Объем породы V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub> , м <sup>3</sup>	Объемная масса породы, кг/м <sup>3</sup>	
					$\rho$	$\rho_{cp}$

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ ИССЛЕДУЕМОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

По полученным результатам объемной массы и плотности исследуемой горной породы определить пористость породы.

### 3.2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты каждого исследования подвергают статистической обработке для выявления среднего значения параметра и доверительного интервала.

Среднеарифметическое значение плотности (объемной массы) породы рассчитать по формуле

$$\bar{\rho}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_{oi}}{n},$$

где  $n$  - количество опытов;

$\rho_{oi}$  - полученные значения плотности исследуемой горной породы.

Затем рассчитать среднее значение квадрата отклонения случайных значений от их среднего, т.е. дисперсию:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\rho}_0 - \rho_{oi})^2}{n-1}$$

После этого нужно найти среднеквадратичное отклонение от среднего значения, т.е. стандарт отклонения:

$$S = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{P}_o - P_{oi})^2}{n-1}}$$

По полученным значениям  $\bar{\rho}_0$  и  $S$  рассчитать коэффициент вариации, %:

$$k_{вар} = \frac{S}{\bar{\rho}_o} \cdot 100$$

Точность определения плотности породы можно вычислить по формуле:

$$K = \frac{2 \cdot k_{\text{вар}}}{\sqrt{n}}$$

### 3.3 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется плотностью породы, объемной массой, удельным и объемным весом?
2. От чего зависят плотность, объемная масса, удельный и объемный вес породы?
3. Объясните, почему плотность породы больше объемной массы?
4. Где используют объемную массу и объемный вес породы?
5. Что называется пористостью породы и от чего она зависит?
6. Как рассчитать пористость породы?
7. На чем основан пикнометрический метод определения плотности породы?

#### *Лабораторная работа 4*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА РАЗРЫХЛЕННЫХ ПОРОД ОТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА**

Цель: Изучение методов определения угла естественного откоса, гранулометрического состава, построение кривой крупности и за-

висимости угла естественного откоса от крупности зерен разрыхленной горной породы.

#### *4.1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ*

В результате разрушения горных пород плотностные показатели применимы только для отдельных кусков породы.

Для характеристики рыхлой массы нужно пользоваться показателями насыпной массы, гранулометрического состава, угла естественного откоса и коэффициента разрыхления породы.

Гранулометрическим составом называется весовое содержание в горной массе частиц различной крупности, выраженное в процентах к исходному.

Гранулометрический анализ состоит в разделении частиц на классы (фракции) по их крупности. Разделение производят на грохотах (ситах). При просеивании часть продукта остается на сите, а часть – просеивается. Продукт, не прошедший через сито, называется надрешетным, ему присваивается знак «+», а прошедший – подрешетным – «-». Для получения класса крупности (фракции) цифрой указывают номер ячейки сита, а знаком «-». Для получения класса крупности (фракции) цифрой указывают размер ячейки сита, а знаком – какой продукт.

Например, для набора сит с размером ячеек 13; 6; 3 мм при просеивании будут получены классы крупности : +13; - 13; +6; - 6; + 3; - 3; + 0.

Гранулометрический состав породы может быть изображен графически кривой, где по оси абсцисс откладывают размер отверстий сит в миллиметрах, а по оси ординат – полные остатки в процентах.

Частным остатком,  $a_i$  на каждом сите называют отношение массы остатка на данном сите к массе исходной навески, %:

$$a_i = \frac{m_i}{M} \cdot 100 ,$$

где  $m_i$  - масса остатка на данном сите, г;

$M$  - масса просеиваемой (исходной навески), г.

Под полным остатком  $A_i$  на каждом сите понимают суммы частных остатков с большим размером отверстий в процентах плюс остаток на данном сите, %:

$$A_i = a_2 + \dots + a_i ,$$

где  $a_2 + \dots + a_i$  – частные остатки на ситах с большим размером отверстий, начиная со второго сверху, %;

$a_i$  – частный остаток на данном сите, %.

Неоднородность состава рыхлых горных пород оценивается коэффициентом неоднородности:

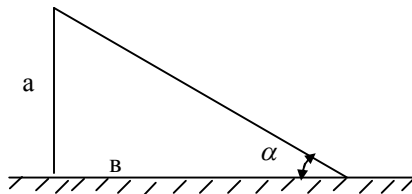
$$k_H = d_{60} / d_{10} ,$$



где  $d_{60}$  и  $d_{10}$ -максимальные диаметры кусков, составляющих соответственно 60 и 10 % общего объема рыхлой породы. Коэффициент неоднородности изменяется в пределах от 1 до 200. Чем меньше его величина, тем однороднее по размеру зерна породы.

Гранулометрический состав играет особую роль при процессах гидромеханизации: при определении удельного расхода воды на разработку и транспортирование, оптимального уклона подошвы забоя и лотков, критической скорости воды и других параметров. Гранулометрическим составом характеризуется качество взрывчатых веществ. Его необходимо знать при конвейерном транспортировании, обогащении и переработке полезных ископаемых.

Углом естественного откоса называется угол, образованный боковой поверхностью насыпанной породы с горизонтальной плоскостью.



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}$$

Угол естественного откоса связан с коэффициентом трения и зависит от шероховатости, размера и формы зерен, влажности и удельного веса породы.

С увеличением шероховатости, угловатости и размера зерен угол естественного откоса возрастает. С увеличением влажности породы до некоторого предела угол естественного откоса сначала возрастает, а затем падает. Например, для угля предел влажности составляет 14 %.

Угол естественного откоса необходимо знать при открытой разработке полезных ископаемых для расчета устойчивости бортов карьера, при сооружении отвалов, железнодорожных насыпей и т. д.

Приборы и принадлежности: набор сит с ячейками разного диаметра, весы с разновесами, прибор для определения угла естественного откоса.

#### *4.2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ*

Собрать набор сит с убывающим размером ячеек.

1. Взять навеску разрыхленной породы массой 1000 г и рассеять ее на классы крупности.
2. Каждый из полученных классов взвесить и определить частные и полные остатки. Полученные данные занести в таблицу 4.1.
3. Взять класс пород +5,5 и засыпать его в прибор для определения угла естественного откоса, осторожно поднять перегородку, снять значения полученных при этом катетов и занести их в таблицу 4.1.
4. Рассчитать значение  $\operatorname{tg} \alpha$ , найти угол естественного откоса и оформить результаты в таблицу нижеприведенного вида.
5. Сделать пять пар определений, и выполнить математическую обработку результатов по формулам, представленным в лабораторной работе № 3.
6. Пункты 3, 4, 5 повторить для класса породы –2,5.
7. По данным п.2 построить кривую гранулометрического состава разрыхленной горной породы.
8. Определить коэффициент неоднородности, для чего на кривой отметить точки, соответствующие 10 и 60 % общего весового состава

рыхлой породы. Из этих точек опустить перпендикуляры на ось абсцисс и определить соответствующие диаметры частиц  $d_{10}$  и  $d_{60}$ .

Класс крупности, мм	Масса, г	Частные остатки d, %	Полные остатки A, %	a, мм	b, мм	$\text{tg } \alpha$	$\alpha$	$\alpha_{\text{ср}}$

#### 4.3 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими показателями характеризуется рыхлая горная порода?
2. Что называется гранулометрическим составом пород?
3. Охарактеризуйте надрешетный и подрешетный продукт?
4. Что называется частным и полным остатками?
5. Где используется гранулометрический состав?
6. Что называется углом естественного откоса?
7. От чего зависит угол естественного состава?
8. Где используется угол естественного состава?
9. Как определить коэффициент неоднородности рыхлой породы?

#### Лабораторная работа 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НАСЫПНОГО ВЕСА РАЗРЫХЛЕННОЙ ПОРОДЫ ОТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Цель: изучение методов определения насыпного веса рыхлых пород и его зависимости от крупности зерен породы.

### 5.1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Насыпным весом рыхлой породы называется вес единицы объема породы в насыпном состоянии,  $\text{Н/м}^3$ :

$$\gamma_H = \frac{G}{V},$$

где  $G$  - вес рыхлой породы,  $\text{Н}$ ;

$V$  - объем рыхлой породы,  $\text{м}^3$ .

Величина насыпного веса зависит от плотности породы, крупности частиц, влажности и уплотнения породы.

В практике горного дела насыпной вес оценивают коэффициентом разрыхления – отношением объема разрыхленной породы к ее объему в целике (массиве)

$$k_P = \frac{V_P}{V_M}$$

Коэффициент разрыхления можно определить по отношению объемного веса породы к насыпному весу

$$k_P = \frac{\gamma}{\gamma_H}$$

Насыпной вес используют в выборе транспорта, при сооружении отвалов, складировании полезного ископаемого и других процессах.

Для определения насыпного веса берут мерный сосуд и в него с высоты 10 см совком засыпают разрыхленную горную породу так, чтобы над сосудом образовался конус. Затем линейкой, начиная от вершины конуса, скользя по краю сосуда, убирают излишки породы, сдвигая ее от центра вправо и влево. Далее следует взвесить сосуд с породой, затем породу высыпать, взвесить пустой сосуд и рассчитать насыпной вес, Н/м<sup>3</sup>:

$$\gamma_H = \frac{G - g}{V},$$

где G - вес породы с сосудом, Н;

g - вес пустого сосуда, Н;

U - объем сосуда, м<sup>3</sup>.

Приборы и принадлежности: мерный сосуд, весы с разновесами, набор сит, линейка.

## 5.2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Рассеять разрыхленную породу на классы крупности + 5, 5; - 2,5.
2. Взвесить мерный сосуд (пустой) – g, Н.
3. Определить объем сосуда – V, м<sup>3</sup>.
4. Засыпать породу в мерный сосуд (как описано выше) и взвесить сосуд с породой класса + 5,5, G, Н.

5. Рассчитать насыпной вес по формуле, приведенной выше. Трижды повторить опыт. Насыпной вес найти как среднее арифметическое трех измерений.
6. Повторить пп. 4-5 для класса крупности – 2, 5.
7. Полученные результаты занести в таблицу 5.1. Сделать выводы по работе.

Таблица 5.1. - Данные по работе

Класс крупности, мм	Объем сосуда $V$ , $m^3$	Вес сосуда $g$ , Н	Номер опыта	Вес сосуда с породой, $G$ , Н	Вес породы, $G - g$ , Н	Насыпной вес поро- ды, $\gamma_{пв}$ Н/ $m^3$	Среднее значение, $\gamma_{пв}^{ср}$ , Н/ $m^3$
+5,5			1				
			2				
			3				
- 2,5			1				
			2				
			3				

### 5.3 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется насыпным весом?
2. Что больше: насыпной или объемный вес? Почему?
3. От чего зависит насыпной вес?
4. Где используется насыпной вес?

5. Что называется коэффициентом разрыхления?
6. Как связан коэффициент разрыхления с объемным и насыпным весом?

### *Лабораторная работа 6*

## **ПОСТРОЕНИЕ ПАСПОРТА ПРОЧНОСТИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПО ПРЕДЕЛАМ ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ**

Цель: изучить методы определения пределов прочности породы и построения паспортов прочности.

### *6.1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ*

Прочность определяется величинами напряжений, при которых происходит ее разрушение. Критическое значение разрушающих напряжений зависит не только от свойств горной породы, но и от характера самих напряжений. Любое сложное напряженное состояние в любой точке породы может быть разложено на три плоских напряженных состояния, соответствующих трем координатным плоскостям.

Для построения паспорта прочности горных пород используют теорию Мора.

В системе координат  $\tau$ ,  $\sigma$  можно получить ряд (семейство) кругов напряжений, построенных для различных случаев предельного напряжения ( $\sigma_{сж}$ ,  $\sigma_{раст}$ ,  $\tau_{сдв}$  и т.д.). Проведя линию, касающуюся всех окружностей, получают кривую, сгибающуюся в сторону сжатия. Кривая представляет собой совокупность точек, характеризующих предельно напряженные состояния, испытываемых образцами пород при различ-

ных значениях разрушающих нагрузок. Кривая предельных напряжений и является паспортом прочности породы.

Согласно теории Мора разрушение наступает тогда, когда-либо касательные напряжения превысят величину, ограниченную сгибающей, либо нормальные растягивающие напряжения превысят свой предел при  $\tau = 0$ .

Наиболее просто и достаточно для решения практических задач сгибающая Мора может быть представлена в виде прямой, МПа:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + K_{\text{сц}},$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  - коэффициент внутреннего трения породы (коэффициент пропорциональности между приращениями нормальных и касательных напряжений при разрушении породы);

$K_{\text{сц}}$  - сцепление породы, равное касательным напряжениям, воспринимаемым породой при нулевом нормальном напряжении, т.е. пределу прочности породы на сдвиг;

$\varphi$  - угол внутреннего трения породы.

Для получения паспорта прочности в виде кривой можно применить несколько методов:

расчетный метод по результатам испытания породы на прочность при одноосном сжатии и растяжении, когда по таблицам, зная величины  $\sigma_{\text{сж}}$  и  $\sigma_{\text{раст}}$  строят огибающую кругов Мора;

экспериментальный метод построения паспорта прочности горной породы по результатам испытания образцов пород на срез.



Каждый из перечисленных здесь методов имеет свои достоинства и недостатки.

Достоинство первого метода – простота эксперимента и отсутствие сложного оборудования, а недостаток – сложные вычисления и неизбежная ошибка при построении паспорта прочности в области, где нет экспериментальных точек.

Достоинство второго метода – точность и надежность полученного паспорта прочности породы, а недостаток – необходимость использования сложного оборудования.

Достоинством третьего метода является использование относительно простого оборудования, больше, чем в первом методе, точность построения паспорта прочности, несложность вычислений, недостатком – неизбежная ошибка при графическом определении коэффициента сцепления породы.

В настоящей работе предлагается расчетный метод.

Построение паспорта прочности в этом случае производится по единому уравнению огибающих предельных кругов Мора, предложенному проф. М.М. Протодяконовым.

где  $y$  – координата, характеризующая касательные напряжения и откладываемая при построении паспорта прочности по оси ординат, Мпа;

$$y = y_M \left( \frac{x^2}{x^2 + a^2} \right)^{\frac{3}{8}}, \quad (1)$$

где  $y_M$  – максимальное сопротивление срезу, Мпа;

$x$  – координата, характеризующая нормальные напряжения и откладываемая при построении паспорта прочности по оси абсцисс, Мпа;

$a$  - параметр формы огибающей максимальных кругов Мора.

При построении паспортов прочности на основе уравнения (1) необходимо пользоваться данными табл.6.2 и 6.3, в которых приняты следующие обозначения:

$$K = \frac{x}{d}$$

$$l = \left( \frac{K^2}{K^2 + 1} \right)^{\frac{3}{8}} - \text{безразмерная ордината огибающей кривой};$$

$K_1 = K + l_p S$  - безразмерная координата центра круга Мора для растяжения;

$P = \frac{3}{K(K^2 + 1)^{\frac{3}{8}}}$  - безразмерное уравнение первой производной для огибающей кривой.

$$S = \frac{y_M}{d} \approx 0,73,$$

$q_1$  - безразмерное выражение радиуса круга Мора для одноосного растяжения;

$q_2$  - то же, для одноосного сжатия;

$\frac{q_2}{q_1} \approx \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p}$  - отношение радиусов кругов Мора для одноосного растяжения;

$K_1 + q_1 = K_2 + q_2$  - точка касания кругов Мора.

Для построения паспорта прочности из табл. 6.1 против начальной буквы своей фамилии выбрать значения  $\sigma_{сж}$  и  $\sigma_{р}$ .

Таблица 6.1

Начальная буква фамилии студента	Вариант	Временное сопротивление породы на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа	Временное сопротивление породы на одноосное растяжение $\sigma_{р}$ , МПа	Примечание
А	1	69,5	17,5	
Б	2	84,0	21,0	
В	3	45,0	4,5	
Г	4	36,0	6,0	
Д	5	84,0	12,0	
Е, Е	6	9,8		
Ж	7	85,5	9,5	
З	8	73,6	11,5	
И	9	52,2	9,0	
К	10	60,0	7,5	
Л	11	100,0	25,0	
М	12	195,3	31,0	
Н	13	83,0	10,0	
О	14	70,0	12,5	
П	15	73,7	11,0	
Р	16	60,0	12,5	
С	17	58,0	9,2	
Т	18	67,0	10,0	

Продолжение таблицы 6.1

У, Ф	19	28,0	4,0	
Х, Ц	20	54,0	9,0	
Ш, Щ	21	72,5	12,5	
Ч, Э	22	25,0	5,0	
Ю, Я	23	80,3	11,0	

### 6.1 ПОРЯДОК РАСЧЕТА

1. Вычислить отношение радиусов кругов Мора для одноосного сжатия и растяжения по формуле

$$\frac{q_2}{q_1} \approx \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p}$$

2. На основе полученного отношения в табл. 6.2 найти значения  $q_1$  (графа 2) и  $q_2$  (графа 3).
3. Вычислить средние значения параметров формы огибающей максимальных кругов напряжений Мора

$$a_1 = \frac{\sigma_p}{2q_1}; \quad a_2 = \frac{\sigma_{сж}}{2q_2}; \quad a_1 \approx a_2$$

$$a_{cp} = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

4. Определить максимальное сопротивление срезу  $s$  у учетом того, что оно составляет примерно 73 % от  $a_{cp}$  :

$$y_m = 0,73 a_{cp}.$$

5. В табл. 6.2 (графа 4) найти значение безразмерной координаты точки касания кругов Мора

$$K_1 + q_1 = K_2 - q_2$$

6. Вычислить величину сопротивления породы всестороннему растяжению

$$\sigma'_p = a_{cp} (K_1 + q_1)$$

при этом должно соблюдаться  $\sigma_p^1 \geq \sigma_p$

7. В табл. 6.3 приведены значения безразмерных координат центра круга Мора  $K$  и безразмерные ординаты огибающей кривой  $\ell$ . Для того, чтобы точки равномерно распределились на огибающей, рассчитать последнюю точку по формуле

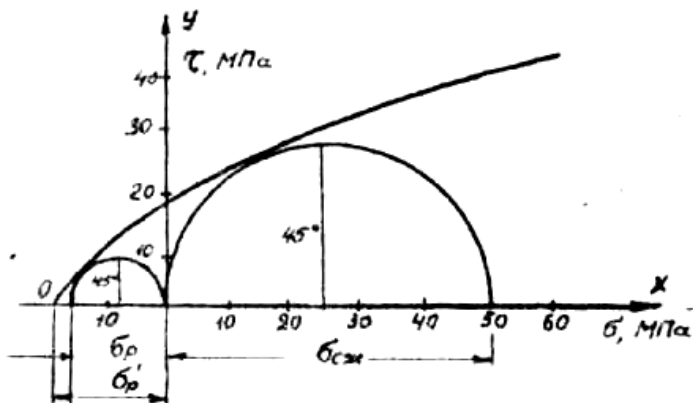
$$K_5 = \frac{\sigma_{сж} + \sigma_p}{a_{cp}}$$

От полученного значения из табл. 6.3 выбрать через два значения в сторону уменьшения третье, которое и будет  $K_4$ , и. д., всего 5 точек. Против значения  $K$  выбрать соответствующее значение  $\ell$ . По формулам

$$x = K \cdot a_{cp}; \quad y = y_m \cdot \ell$$

рассчитать координаты огибающей.

- По вычисленным координатам точек огибающей кривой ( $x = \sigma$ ), ( $y = \tau$ ) в принятом масштабе построить огибающую кривую (рисунок). Ее построение производится следующим образом.



В отрицательном направлении от начала координат по оси абсцисс откладываем величину  $\sigma_p^1$ , а затем, считая эту точку за начало координат системы  $x, y$  (где  $x = \sigma, y = \tau$ ), нанести по вычисленным координатам точки, по которым провести сглаживающую кривую, которая и будет представлять собой паспорт прочности рассматриваемой горной породы.

Если круги Мора для одноосного сжатия и растяжения коснутся огибающей, то расчет и построение огибающей выполнены правильно.

Таблица 6.2

$\frac{q_2}{q_1} \approx \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_P}$	$q_1$	$q_2$	Безразмерная абсцисса касания кругов Мора для одноосного растяжения и сжатия $k_1 + q_1 = k_2 - q_2$
1	2	3	4
4,00	0,1087	0,4338	0,2357
4,10	0,1028	0,3210	0,2218
4,20	0,09877	0,4221	0,2123
4,30	0,09474	0,4031	0,2027
4,40	0,09091	0,3942	0,1932
4,50	0,08682	0,3855	0,1840
4,60	0,08342	0,3778	0,1767
4,70	0,08002	0,3701	0,1694
4,80	0,07662	0,3625	0,1621
4,90	0,07322	0,3548	0,1548
5,00	0,06982	0,3471	0,1475
5,10	0,06720	0,3403	0,1418
5,20	0,06504	0,3340	0,1371
5,30	0,06288	0,3278	0,1325
5,40	0,06072	0,3215	0,1378
5,50	0,05856	0,3153	0,1231
5,60	0,05640	0,3090	0,1184
5,70	0,05424	0,3028	0,1138
5,80	0,05208	0,2965	0,1091
5,90	0,04992	0,2903	0,1040

Продолжение таблицы 6.2

6,00	0,04776	0,2840	0,09977
6,10	0,04557	0,2772	0,09507
6,20	0,04341	0,2685	0,09040
6,30	0,04125	0,2597	0,08573
6,40	0,03915	0,2503	0,09028
6,50	0,03709	0,2406	0,07688
6,70	0,03502	0,2309	0,07248
6,80	0,03350	0,2243	0,06926
6,90	0,03100	0,2139	0,06395
7,00	0,0321	0,2113	0,06232
7,10	0,02943	0,2086	0,06069
7,20	0,02865	0,2060	0,05906
7,30	0,02787	0,2033	0,05743
7,40	0,02711	0,2003	0,05578
7,50	0,02633	0,1969	0,05414
7,60	0,02555	0,1935	0,05250
7,70	0,02477	0,1901	0,05086
7,80	0,02399	0,1867	0,04922
7,90	0,02334	0,1839	0,04786
8,00	0,02282	0,1818	0,04678
8,10	0,02230	0,1797	0,04570
8,20	0,02178	0,1775	0,04462
8,30	0,02126	0,1754	0,04354
8,40	0,02074	0,1732	0,04246
8,50	0,02022	0,1711	0,04138



Продолжение таблицы 6.2

8,60	0,01970	0,1690	0,04030
8,70	0,01919	0,1668	0,03923
8,80	0,01872	0,1644	0,03822
8,90	0,01826	0,1617	0,03726
9,00	0,01780	0,1590	0,03630
9,10	0,01734	0,1563	0,03534
9,20	0,01688	0,1536	0,03438
9,30	0,01642	0,1509	0,03342
9,40	0,01596	0,1482	0,03246
9,50	0,01550	0,1455	0,03150
9,60	0,01504	0,1438	0,03054
9,70	0,01458	0,1401	0,02958
9,80	0,01412	0,1374	0,02862
9,90	0,01366	0,1347	0,02766
10,0	0,01320	0,1320	0,02698

Таблица 6.3

К	$\ell$	К	$\ell$
2,0	0,920	0,03	0,0721
1,8	0,904	0,02	0,0532
1,6	0,884	0,01	0,0316
1,4	0,865	0,008	0,0268
1,2	0,024	0,006	0,0215
1,0	0,771	0,005	0,0188
0,9	0,740	0,004	0,0158

Продолжение таблицы 6.3

0,8	0,700	0,003	0,0129
0,7	0,660	0,002	0,0094
0,6	0,608	0,001	0,0056
0,5	0,547	0,0009	0,0052
0,4	0,467	0,0008	0,0048
0,3	0,3925	0,0007	0,0043
0,2	0,2947	0,0006	0,0038
0,1	0,1772	0,0005	0,0033
0,08	0,1508	0,0004	0,0028
0,06	0,1208	0,0003	0,0022
0,05	0,1056	0,0002	0,0017
0,004	0,0894	0,0001	0,0010

### *6.1 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Что понимают под прочностью?
2. Что называется паспортом прочности?
3. В чем заключается физический смысл огибающей кругов Мора?
4. В чем заключается физический смысл коэффициента сцепления?
5. Какие существуют методы построения паспорта прочности горной породы?
6. Каковы преимущества и недостатки методов построения паспортов прочности горных пород?
7. Когда произойдет разрушение породы, если она находится в сложном напряженном состоянии?
8. Когда разрушится порода, если действует только растягивающее напряжение?

9. Когда произойдет разрушение породы, если действует только сжимающие напряжения?

### *ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КРЕПОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПО УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ РАЗРУШЕНИЯ НА ПРИБОРЕ ПОК**

Цель: изучение методов определения коэффициента крепости горных пород.

### *1.1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.*

Относительный показатель, приближенно характеризующий относительную сопротивляемость различных горных пород разрушению при добыче, называется коэффициентом крепости  $f$  по шкале М.М.Протодяконова (старшего). Крепость горных пород можно рассматривать как сопротивление разрушению вообще. По шкале М.М.Протодяконова все горные породы по крепости разделены на 10 категорий. Максимальное значение коэффициента крепости равно 20 (для наиболее крепких пород).

Коэффициент крепости той или иной породы характеризует крепость данной породы в отношении сопротивляемости бурению, взрыванию, резанию (зарубке) и т.д. Величину коэффициента крепости можно определить по сопротивляемости горной породы элементарной деформации, по величине работы, затрачиваемой на дробление, по сопротивляемости бурению, расходу зубков на зарубку, расходу

взрывчатого вещества на отбойку, а также по производительности труда бурильщика в смену, проходчика в выработке или землекопа на поверхности проходки выработки.

При составлении шкалы проф. М.М.Протодяконов принял за единицу крепости временное сопротивление одноосному сжатию (раздавливанию) образцов правильной формы, равное 10 Мпа.

По результатам испытания образцов на сжатие коэффициент крепости определяется по формуле:

$$f = \sigma_{-c} / 10 ,$$

где  $\sigma_{сж}$  - временное сопротивление одноосному сжатию образца правильной формы, Мпа.

В последнее время применяется уточненная формула Л.И.Барона

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

По количеству работы, затрачиваемой на выбуривание породы, коэффициент крепости определяется по формуле

$$f = \frac{a}{4,6} ctq(\varphi + \frac{a}{2}) = 0,52\sqrt{a^2} ,$$

где  $a$  - количество работы, затрачиваемой на выбуривание породы, кг.м;

$\varphi$  - угол трения бура о породу ( $\varphi = 11 \dots 19^\circ$ );

$\alpha$  - угол заострения бура ( от  $60^0$  в мягких породах до  $110^0$  - в крепких).

На основе производственных данных коэффициент крепости можно определить по формулам

$$f = k_1 \cdot A_{\text{разр}}; \quad f = k_2 / P_{\text{разр}}; \quad f = k_3 \cdot \sqrt{Z},$$

где  $A_{\text{разр}}$  - удельная работа разрушения;

$P_{\text{разр}}$  - производительность средств разрушения;

$Z$  - удельный расход инструментов при разрушении;

$k_1, k_2, k_3$  - коэффициент пропорциональности.

Определение коэффициента крепости методов толчения основано на пропорциональной зависимости работы, затрачиваемой на дробление пробы горной породы, от величины вновь образованной при этом поверхности.

По этому методу отбирается проба с таким расчетом, чтобы можно было получить 20-25 навесок по 40-60 г. каждая. Навески должны быть размером 20 - 40 мм. Для каждого определения используются 5 навесок. На одной и той же пробе производятся 4 - 5 определений для получения надежной средней величины коэффициента крепости. Определение коэффициента крепости этим методом осуществляется на приборе ПОК (прибор для определения крепости). Прибор ПОК состоит из стакана копра, трубчатого копра, гири, объемомера для замера высоты столбика пыли, сита с отверстиями 0,5 мм и желоба для насыпания просеянных мелких фракций в объемомер.

Навеска породы в приборе ПОК дробится гирей массой 2,4 кг, сбрасываемой с высоты 600 см. Изменение величины работы разруше-

ния при толчении производится варьированием только числа сбрасываний гири по навеске. Масса гири и высота ее сбрасывания остаются постоянными. Число сбрасываний гири в зависимости от прочности принимается от 3 до 15.

Все навески, раздробленные в копре прибора, просеиваются совместно. Фракция размером менее 0,5 мм собирается и высыпается в стакан объемомера диаметром 23 мм. Высота столбика мелкой фракции пропорциональна насыпному объему мелкой фракции.

Коэффициент крепости исследуемой породы определяется как отношение затраченной на дробление работы к вновь образованной поверхности.

### *7.2. Порядок выполнения работы*

1. Ручным молотком разбить образец породы на куски размером 20 - 40 мм.

2. Отобрать из полученной массы 5 навесок по 40 - 60 г. Каждая.

3. Засыпать отобранные навески в стакан прибора ПОК.

4. Вставить гирю в стакан и произвести в зависимости от крепости породы от 3 до 15 сбрасываний, принимая гирю из стакана за трос или шнур (дробление навесок производить отдельно).

5. Высыпать полученную после толчения измельченную породу из стакана на сито с отверстиями 0,5 мм (раздробленные навески просеиваются совместно).

6. Собрать просеянную массу (фракции менее 0,5 мм) и высыпать в стакан объемомера.

7. Зафиксировать высоту столбиков мелкой фракции в объемомере.

8. Произвести 4 - 5 определений коэффициента крепости.

Результаты испытаний занести в таблицу 7.1:

Номер определения	Результаты измерений				Результаты вычислений	
	n	h, мм	Q, Н	H, м	f	A, Дж

### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

Вычислим коэффициент крепости породы по формуле

$$f = 20n / h,$$

где n - число ударов по одной навеске;

h - высота столбика мелкой фракции в объемомере, мм;

20 - эмпирический коэффициент пропорциональности.

По полученным 4 - 5 значениям коэффициента крепости определить среднеарифметическую величину

$$f = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_n}{n}$$

Вычислить общую работу, затрачиваемую на дробление одной навески;

$$A = G \cdot H_n,$$

где  $G$  - масса гири, кг;  
 $H$  - высота сбрасывания гири, м;  
 $n$  - число сбрасывания гири.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

Какие свойства горных пород характеризуют коэффициент крепости?

На какие категории по коэффициенту крепости по шкале М.М.Протодьяконова разделены горные породы?

Какое максимальное значение может иметь коэффициент крепости горных пород?

По каким показателям можно определить коэффициент крепости горных пород?

Как определить коэффициент крепости горных пород по результатам испытаний образцов на сжатие?

Как определить коэффициент крепости горных пород по количеству работы, затрачиваемой на выбуривание  $1 \text{ см}^3$  породы?

В чем заключается сущность определения коэффициента крепости горных пород методом толчения?

Из каких элементов состоит прибор для определения крепости (ПОК) горных пород?

Как определяется общая работа, затраченная на дробление одной навески на приборе ПОК?



## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ржевский В.В. Основы физики горных пород. / В.В.Ржевский, Г.Я.Новик - М.: Недра, 1984. - 359 с.

2. Алексеенко С.Ф. Физика горных пород. Горное давление./ С.Ф.Алексеенко, В.П.Мележик - Киев: Вища шк., 1987. - 279 с.

3. Разрушение горных пород взрывом./ Р.Н.Шевцов, П.Я.Таранов, В.В.Левит, А.Г Гудзь. - Донецк: Тов. ”Лебедь”, 2003. - 553 с.

4. Суханов А.Ф. Разрушение горных пород взрывом./ А.Ф.Суханов, В.Н. Кутузов - М., Недра, 1983. - 344 с.

5. Единые правила безопасности при взрывных работах. - М.: Недра, 1992. - 171 с.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

6. Алексеенко С.Ф. Физика горных пород. Горное давление. Лабораторный практикум./ С.Ф. Алексеенко, В.П.Мележик - Киев: Вища шк., 1990. - 183 с.

7. Новик Г.Я. Основы физики горных пород./ Г.Я. Новик, Л.С. Кузьяев - М.: МГИ, 1970. - 251 с.

8. Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород./ Ломтадзе В.Д. - Л.: Недра, Ленинград. отд-ние, 1972. - 312 с.

9. Ильицкая Е.И. Свойства горных пород и методы их определения./ Е.И.Ильицкая - М.: Недра, 1969. - 392 с.

10 Ямщиков В.С. Методы и средства исследования и контроля пород и процессов./ В.С.Ямщиков - М.: Недра, 1982. - 296 с.

11. Лабораторные и практические работы по разрушению горных пород взрывом: Учебное пособие для вузов /

Б.Н.Кутузов, В.И.Комащенко, В.Ф.Носков и др. - М.: Недра, 1981. - 254 с.

12. Позняков З.Г. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания./ З.Г.Позняков, В.Д.Росси - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1986. - 252 с.

13. Нормативный справочник по буровзрывным работам / Ф.А.Авдеев, В.Л.Берон, Н.В.Гуров, В.Х.Контор и др. - 5-е изд., пераб. и доп. - М.: Недра, 1986. - 510 с.

14. Граевский М.М. Справочник по электрическому взрыванию зарядов./ М.М.Граевский - М.: Недра, 1983. - 240 с.