

6. Научно-исследовательский горнорудный институт Государственного высшего учебного заведения «Криворожский национальный университет» (НИГРИ ГВУЗ «КНУ») обладает большим опытом, соответствующей аппаратурой, обученными кадрами для выполнения обследований комплексов ЦПТ карьеров Кривбасса.

Список использованных источников

1. «Порядок проведения огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки» утвержденного Постановлением Кабинета министров Украины от 26 мая 2004 года №687.

2. НПАОП 0.00-.034 «Єдині правила при розробці рідних, нерудних і розсіпних родовищ підземним способом».

3. ДСТУ 18017637:2003 «Неруйнівний контроль зварювальних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконання зварюванням плавленням».

4. НПОП 0.00-1.24-10 «Правила охрани труда во время разработки месторождения открытым способом».

5. НПАОП 0.00-1.32-97 «Правила безопасности при проектировании и эксплуатации объектов циклично-поточной технологии открытых горных работ».

Рукопись поступила 10.03.2015

УДК 622.257.001.25

*Л.А.Штанько, канд.техн.наук, с.н.с., заместитель директора,
В.И.Чепурной, зав. лаборатории, С.И.Ляш, старший научный сотрудник,
З.С.Добровольская, научный сотрудник,
С.И.Корниязиш, младший научный сотрудник,
Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «КНУ»*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КРЕПОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОРОДНОГО МАССИВА УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

Установлена зависимость скорости распределения продольных ультразвуковых волн от предела прочности горных пород на сжатие.

Ключевые слова: коэффициент крепости горных пород, ультразвуковые измерения, предел прочности горных пород на сжатие, скорость ультразвука.

Установлена залежність швидкості розповсюдження поперечних ультразвукових хвиль від межі міцності гірських порід на стиск.

Ключові слова: коефіцієнт міцності гірських порід, ультразвукові вимірювання, межа міцності гірських порід на стиск, швидкість ультразвуку.

Determine the dependence of velocity of longitudinal ultrasonic waves from the tensile strength of rocks in compression.

Keywords: coefficient of rocks strength, ultrasound measurements, tensile strength of rocks in compression, ultrasound velocity.

Актуальность работы. При добыче железных руд подземным способом буровзрывные работы являются одним из наиболее трудоемких процессов, как при подготовке и нарезке блоков, так и при очистной выемке. Их удельный вес в себестоимости очистной выемки составляет 42-48%, а в общешахтной себестоимости 16,7-17,5%.

При производстве буровзрывных работ параметры расположения зарядов взрывчатых веществ (ВВ) определяются исходя из равенства между сопротивлением массива горных пород разрушению и энергетическими затратами на его преодоление. Показателем, характеризующим физические свойства пород, чаще всего принимается коэффициент крепости пород по М.М. Протодыяконову, а энергетические затраты ВВ оцениваются величиной удельного расхода ВВ на отбойку [1-6].

Известно, что скальные массивы горных пород весьма изменчивы по структуре и прочностным свойствам. При неправильном выборе параметров буровзрывных работ происходят нарушения горного массива вне пределов планируемых контуров отбойки, что требует дополнительных затрат на исправление ошибок (дополнительное бурение, повышенный расход взрывчатых веществ и т.д.).

Практика показывает, что планирование и выполнение в подземных условиях буровзрывных работ требует постоянного оперативного уточнения на местах производства этих работ такого фактического показателя, как коэффициент крепости горных пород. Для определения фактических значений данного показателя необходимо иметь компактный и мобильный метод геофизических инструментальных исследований, в основе которого может быть положен геофизический метод ультразвукового исследования состояния породного массива.

Изложение основного материала и результаты. На основе детального анализа, материалов геофизических исследований выполненных на шахтах Кривбасса установлена зависимость скорости распространения продольных ультразвуковых волн от предела прочности горных пород на сжатие [7-12].

Градуировочную зависимость «скорость-прочность» устанавливают при сквозном прозвучивании образцов пород.

Градуировочную зависимость «время-прочность» устанавливают при поверхностном прозвучивании.

Допускается использовать градуировочную зависимость способом поверхностного прозвучивания с учетом коэффициента перехода

$$K = \frac{V_j}{V_j \cdot \text{нов}}$$

где K – коэффициент перехода, определенный по j -результатам измерений; V_j и $V_{j\text{-нов}}$ – скорость распространения ультразвука при сквозном и поверхностном прозвучивании соответственно.

Среднеквадратичное отклонение S_k - коэффициента K вычисляется по формуле

$$S_k = \frac{W}{n} d \quad (2)$$

где $W = K_{\text{макс}} - K_{\text{мин}}$;

$K_{\text{макс}} - K_{\text{мин}}$ – максимальное и минимальное из значений коэффициентов;

n – число проведенных определений коэффициента K ;

d – коэффициент, значение которого зависит от числа n приведено в таблице 1.

Таблица 1

n	6	7	8	9	10
d	2,51	3,00	3,47	3,92	4,35

Скорость распространения ультразвука при поверхностном прозвучивании определяется по формуле

$$V = K \frac{l}{t} \cdot 10^3 \quad (3)$$

где l – база прозвучивания, мм;

t – время измерения, мкс;

V – скорость, распространения, м/с.

База прозвучивания должна быть не менее 100 мм. Измерение базы проводят штангенциркулем.

Градуировочные зависимости устанавливаются в виде графика или таблицы (табл.2), построенного по уравнению

$$\sigma_{\text{сж}} = a_0 + a_1 V + a_2 V^2 \quad (4)$$

Погрешность определения прочности горных пород по установленным зависимостям вычисляют по формуле:

$$S = \sqrt{\sum \frac{(\sigma_{\text{факт}}^{\text{сж}} - \sigma_{\text{сж}}^{\text{град}})^2}{n-2}} \quad (5)$$

где $\sigma_{сж}^{факт}$ и $\sigma_{сж}^{град}$ – фактическая и определенная по графику прочности горных пород;
 n – число проведенных определений.

Таблица 2

Градуирование ультразвукового прибора УК-39 зав.№091 вып. 2014 г.
 по прочности горных пород

№ п/п	Наименование породы	Количество определений, n	$\sigma_{сж}$, МПа	K	d	S_r	Скорость, м/с	
							сквозное	поверхностное
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Амфиболиты высокой крепости	7	$\frac{80-120}{100}$	0,595	3,00	0,180	2805	4714
2	Амфиболиты средней крепости	6	$\frac{30-70}{50}$	0,588	2,51	0,145	1960	3333
3	Филлиты	10	$\frac{70-110}{95}$	0,588	4,35	0,252	2764	4700
4	Аркозовые песчаники	9	$\frac{95-110}{102,5}$	0,641	3,92	0,250	3166	4940
5	Аспидные сланцы	7	$\frac{80-110}{95}$	0,584	3,00	0,174	2888	4945
6	Хлоритобiotитовые сланцы	6	$\frac{75-115}{95}$	0,610	2,51	0,153	3019	4950
7	Кварцито-хлоритосерицитовые сланцы	6	$\frac{110-125}{117,5}$	0,654	2,51	0,163	3375	5160
8	Доломиты	7	$\frac{50-100}{75}$	0,663	3,00	0,198	1117	4105
9	Диабазы	6	$\frac{45-87}{66}$	0,564	2,51	0,140	2175	3857
10	Сланцы хлоритогальковые	6	$\frac{18-126}{72}$	0,641	2,51	0,161	2586	4035

Продолжение табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	Роговик карбонатно-магнетитовый тонкополосчатый	8	$\frac{278-302}{290}$	0,617	3,47	0,211	4953	8027
12	Роговик среднеполосчатый	7	$\frac{255-278}{266,5}$	0,625	3,00	0,186	4805	7688
13	Роговик магнетитовый среднеполосчатый	6	$\frac{300-240}{270}$	0,530	2,51	0,133	4105	7746
14	Роговик силикатно-карбонатно-магнетитовый	7	$\frac{189-193}{191}$	0,600	3,00	0,180	3908	6515
15	Роговик лимонито-магнетитовый вышеорченый	6	$\frac{99-176}{137,5}$	0,620	2,51	0,155	3421	5518
16	Джезпилит гематито-магнетитовый тонкополосчатый	8	$\frac{240-332}{286}$	0,615	3,47	0,224	4903	7972
17	Джезпилит магнетито-маритовый	6	$\frac{350-380}{365}$	0,631	2,51	0,158	5683	9006
18	Сланцы тальковые	6	$\frac{18-26}{22}$	0,535	2,51	0,134	1183	2211
19	Плагиогратин серый	9	$\frac{116-180}{148}$	0,597	3,92	0,234	3424	5735
20	Руда маритовая	7	$\frac{39-59}{49}$	0,595	3,00	0,178	1963	3299
21	Кварцит железистый	6	$\frac{85-192}{143,5}$	0,606	2,51	0,152	3422	5647
22	Руда краско-маритовая	6	$\frac{32-43}{37,5}$	0,689	2,51	0,173	1989	2868

Окончание табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
23	Руда мартитовая крепкая	6	$\frac{101-372}{135,5}$	0,699	2,51	0,175	3836	5487
24	Сланцы слюдястые	6	$\frac{60-90}{75}$	0,600	2,51	0,151	2449	4082
25	Песчаники аркозовые	6	$\frac{110-157}{133,5}$	0,598	2,51	0,150	3257	5446

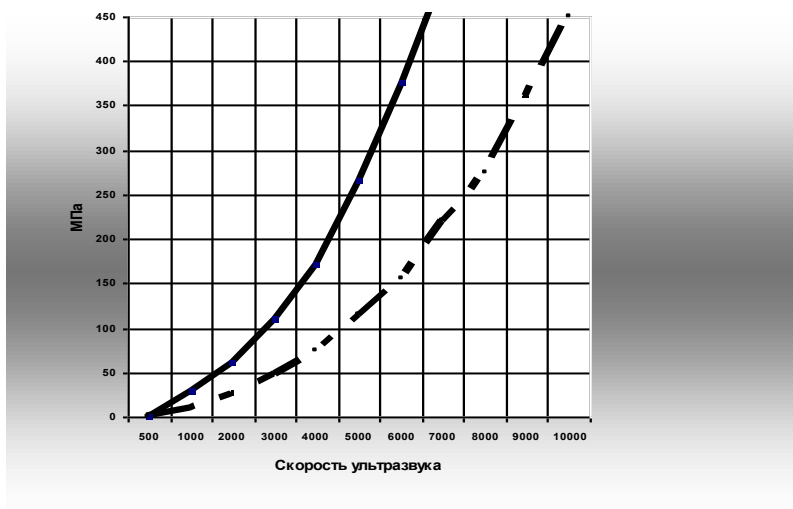


График градуирования ультразвукового прибора УК-39 по прочности горных пород от скорости распространения ультразвука

Градуировка считается завершенной при относительной погрешности определения прочности горных пород 10%, при отсутствии систематической погрешности.

Ультразвуковые измерения производятся при помощи приборов предназначенных для измерения времени распространения ультразвука в горной породе и аттестованных в установленном порядке по ГОСТ 78.383-86.

Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения времени распространения ультразвука на стандартных образцах, входящих в комплект прибора, не должен превышать значения

$$\Delta = \pm(0,01t = 0.1) \text{ мкс} \quad (6)$$

Типы рекомендуемых ультразвуковых приборов по ДСТУ БВ 2.7-226:2009 приведены в таблице 3.

Таблица 3

Типы рекомендуемых ультразвуковых приборов

Характеристика	Тип прибора		
	УК-14ПМ	УК-10 ПМС	УК-39
Диапазон измерения времени распространения ультразвуковых колебаний, мкс	20-9000	8-8500 в ручном режиме, до 9999 в автоматическом	15-999
Режим измерения	Автоматичный	Автоматичный	Автоматичный
Количество измерительных каналов	1	1	1
Электрическое питание	Автономное	Универсальное	Автономное
Конструктивное исполнение	Портативный	Переносной	Портативный
Масса, кг	1,5	10,0	1,0

Между породой и рабочей поверхностью ультразвуковых преобразователей должен быть обеспечен надежный акустический контакт.

В зоне контакта ультразвуковых преобразователей не должно быть раковин глубиной более 3 мм и диаметром 6 мм, а также выступов более 0,5 мм.

Для определения скорости распространения продольных ультразвуковых волн V на выбранном месте контроля производят не менее 3 измерений.

По результатам измерений производят вычисление среднего значения скорости распространения продольных ультразвуковых волн V . Способ контакта должен быть одинаковый при контроле в породном массиве и при установлении градуировочной зависимости.

Отклонение отдельного результата на каждой контрольной точке от среднего арифметического значения на данной контрольной точке не должно превышать 2%. В случае превышения 2% результат измерения отбраковывается.

Коэффициент крепости пород по Протодьяконову М.М. определяется по формуле

$$f = 0,1 \cdot \sigma_{сж} \quad (7)$$

Результат вычисления f округляют до целого числа.

Максимальное значение коэффициента крепости по шкале Протодыяконова М.М. установлено 20. Поэтому при $\sigma_{сж} > 200$ МПа коэффициент крепости пород равен 20.

Определение фактического предела прочности горных пород на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа проводилось с помощью прибора УК-39 зав.№091 в выработках НТВ-2 ШУ ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Режим определения поверхностный, базовое расстояние при поверхностном прозвучивании 160 мм. Допустимая относительная ошибка измерения времени прохождения ультразвука t прибором УК-39 $\pm(0,01t+0,1)\%$. Результаты измерений приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты определения фактического предела прочности на сжатие и коэффициента крепости горных пород

№ п/п	Место проведения обследования	Длина выработки, м	Горная порода	Скорость распространения ультразвуковых волн	Предел прочности на сжатие, МПа	Коэффициент крепости, f
1	2	3	4	5	6	7
1	Камера загрузки конвейера НТВ-2 Гор.-1172 м	10,0	Саксаганский плаггиогранит	5962	160,0	16
2				5856	154,3	15
3				5900	156,6	16
4				5960	159,8	16
5				6100	167,4	17
6				6150	170,2	17
7				6070	165,8	17
8				6189	172,4	17
9				6100	167,4	17
10				5999	161,9	16
11	Камера дробилки НТВ-2 гор.-1160 м	5,0	Саксаганский плаггиогранит	6000	162,0	16
12				5981	160,9	16
13				6075	166,1	17
14				6030	169,1	17
15				6000	162,0	16
16	Доставочная выработка НТВ-2 к монтажно-ходовому восстающему гор.-1172 м	7,0	Саксаганский плаггиогранит	5940	158,8	16
17				5900	156,6	16
18				6210	173,5	17
19				6300	178,6	18
20				6254	176,0	18
21				6290	178,0	18
22				6120	168,5	17

Выводы

1. В выработках НТВ-2 шахты им. Артема ШУ ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» при измерениях ультразвуковым методом исследования установлено, что горные породы (Саксаганский плагиогранит) имеют предел прочности на сжатие $\sigma_{сжс} = 166,0_{-12,1}^{+15,4}$ МПа.

2. В соответствии с результатами исследований и корреляционной зависимостью между пределом прочности на сжатие $\sigma_{сжс}$ и коэффициентом крепости f горные породы в выработках НТВ-2 имеют $f=16\div 18$.

Список использованных источников

1. Кутузов Б.П. Взрывные работы. -М.:Недра,1988. – 383 с.
2. Проектирование взрывных работ /Под ред.Б.П. Кутузова. – М.:Недра,1974. – 328 с.
3. Авдеев Ф.А., Барон В.Л., Блейман И.Л. Производство массовых взрывов. – М.:Недра, 1977. – 312 с.
4. Багдасаров А.Г., Давыдов С.А., Страусман Р.Я. Взрывные работы в гидротехническом строительстве. – М.:Энергия, 1969. – 263 с.
5. Друкованых М.Ф. Справочник по буровзрывным работам. – М.: Недра, 1976. – 631 с.
6. Инструктивно методические указания по выбору рациональных параметров буровзрывных работ при подземной очистной выемке на шахтах Криворожского бассейна и ЗЖРК-1. – Кривой Рог: НИГРИ, 1977. – 53 с.
7. Занкевич Б.А. Геологическое строение и геодинамика Криворожского железорудного бассейна. Науковий вісник Національного гірничого університету, 2003. – №9. – С.52-57.
8. НПАОП 0.00-1.34 Єдині правила при розробці рудних, нерудних і розсипних родовищ підземним способом.
9. Словар по гидрогеологии и инженерной геологии, сост. А.А. Маккавеев и др. – М.: Недра, 1980.
10. Панюков П.П. Инженерная геология 2-е изд. – М.: Недра, 1978. – 296 с.
11. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных работ. – М.: Недра, 1973, с.268.
12. Любиков Н.И., Носенко Л.И. Справочник по физико-механическим параметрам горных пород рудных районов. – М.: Недра, 1978, с.285.

Рукопись помтупила 06.10.2015