

Экспресс-оценка прочности горных пород в массиве методом ударного импульса

Установлена целесообразность использования метода ударного импульса для оценки прочности горных пород непосредственно на месте залегания. Обоснован вариант метода с определением длительности ударного импульса. Представлены сведения о новом средстве контроля. Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: прочность горных пород, неразрушающий контроль, метод ударного импульса

The expediency of shock pulse monitoring usage for an estimation of rock strength directly in final resting place is established. The method option with determination of shock impulse duration is validated. The information about a new control method is presented.

Keywords: rock strength, nondestructive control, shock pulse monitoring

Эффективная и безопасная эксплуатация горных выработок предполагает наличие определенного комплекса данных о физико-механических свойствах массива. Для оценки устойчивости выработок наиболее важно знать прочностные характеристики пород. Известно, что с учетом масштабного эффекта прочности наиболее достоверные данные о физико-механических свойствах пород и руд можно получить либо путем испытаний образцов значительных размеров, либо путем оценки прочности непосредственно в массиве с использованием методов неразрушающего контроля. Последние находят все более широкое применение в силу своей оперативности, низких трудозатрат и достаточно высокой точности.

Большинство методов неразрушающего контроля – косвенные. Определяемый на месте залегания информативный параметр связан с прочностной характеристикой корреляционной зависимостью. Снижение точности определения прочностных характеристик в отдельных точках контроля по сравнению с лабораторными испытаниями компенсируется возможностью значительного возрастания объема выборки и существенным уменьшением затрат на контроль.

В методическом плане наиболее проработан неразрушающий контроль бетона, что закреплено рядом нормативных документов, в частности, украинским стандартом [1]. Разработанные специально для контроля бетона технические средства после соответствующей адаптации находят применение и в смежных областях. В частности, после появления портативных ультразвуковых бетоноскопов появилась возможность их использования в полевых условиях, а затем и в горных выработках. В результате выполненных исследований была установлена достаточно тесная корреляционная связь между прочностными характеристиками широкого круга горных пород и скоростями упругих волн ультразвукового диапазона. Обобщение полученных результатов привело к созданию методики экспресс-оценки прочности пород по

результатам ультразвуковых измерений на необработанных кусках кернового материала [2]. Однако, данному методу присущи определенные ограничения:

- сложность обеспечения искровзрывобезопасности при необходимости работы аппаратуры в шахтах, опасных по газу и пыли;
- снижение точности определения скоростей упругих волн в породах с большим затуханием ультразвукового сигнала;
- сложность обеспечения контактных условий системы «датчик-среда».

По нашему мнению, для экспресс-определения прочностных свойств горных пород в натурных условиях наиболее приемлем метод ударного импульса [3], базовые положения которого, а также методика получения градуировочных (тарировочных) зависимостей для бетона регламентированы.

При рассмотрении возможности использования метода ударного импульса для оперативной оценки прочностных характеристик породного массива был выполнен теоретический анализ процессов, происходящих при соударении жесткого ударника, имеющего контактную поверхность в виде сферы, с поверхностью породного массива. Аналитический вид формы ударного импульса (зависимости величины виброускорения от времени) имеет вид

$$a(t) = a_m \sqrt{\left(\sin \frac{\pi}{\tau} t\right)^3}, \quad (1)$$

где a_m – амплитудное значение виброускорения; λ_m – длительность ударного импульса.

Теоретические исследования позволили получить следующие выражения для амплитуды и длительности ударного импульса. Для амплитуды

$$a_m = \frac{1,285 \sqrt[5]{V_0^6}}{\sqrt[10]{R} \sqrt[5]{\left(m \left(\frac{1-v_1^2}{E_1} - \frac{1-v_2^2}{E_2}\right)\right)^2}}, \quad (2)$$

где R – радиус контактной поверхности ударника; m – масса ударника; V_0 – скорость ударника в начальный момент взаимодействия с породой; E – динамический модуль упругости; ν – динамический коэффициент Пуассона (индексы «1» и «2» относятся к материалу ударника и породы соответственно).

Длительность ударного импульса выражается формулой

$$\tau = 2,87 \sqrt{\frac{1}{V_0}} \sqrt{\frac{m^2}{R}} \sqrt{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)^2}. \quad (3)$$

Масса и радиус ударника – величины постоянные. Варьируемой в процессе выполнения измерений величиной является скорость V_0^* ударника в момент его взаимодействия с породой. Степень влияния вариации данного параметра на относительное изменение двух информативных показателей – амплитуды и длительности ударного импульса, представлена на рис. 1.

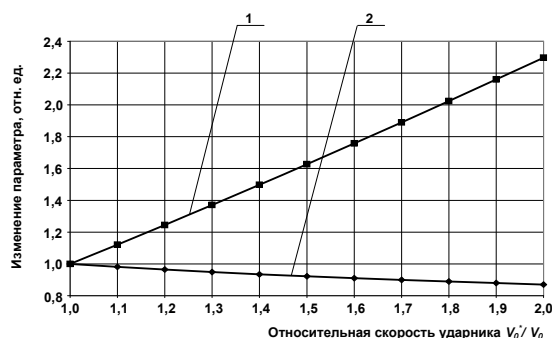


Рис. 1. Относительное изменение параметров ударного импульса при относительном изменении начальной скорости соударения: 1 – изменение амплитудного значения; 2 – изменение длительности

Данные расчетов свидетельствуют, что при возрастании начальной скорости ударника в два раза амплитуда ударного импульса возросла в 2,3 раза. В промышленных приборах для контроля качества бетона с регистрацией амплитуды или энергии импульса осуществляют стабилизацию силы удара с использованием пружинного накопителя энергии. Для условий шахты такое техническое решение не оптимально ввиду следующих причин:

- наличия агрессивной шахтной пыли и высокой влажности, существенно снижающих продолжительность безотказной работы подвижных частей ударного устройства;
- необходимости выполнения измерений под различным углом по отношению к вектору силы тяжести, что вносит в результат дополнительные погрешности.

На рис. 1 видно, что при одинаковой вариации силы удара длительность ударного импульса уменьшается всего на 0,13 отн. ед., поэтому повышение стабильности информативного параметра τ по сравнению с параметром a_m при вариации удара является одним из факторов, свидетельствующим в пользу его выбора. Дополнительное необходимое условие – это наличие зависимости между длительностью ударного импульса и одной из прочностных характеристик.

Установленная для предела прочности породы на одноосное сжатие зависимость имеет вид

$$\tau \approx 2,9 \sqrt[5]{\frac{m^2 A^4}{V_0 \rho_2^2 R (\sigma_{сж.} + B)^4}}, \quad (4)$$

где A и B – постоянные для определенной категории пород, экспериментально определяемые методом УЗИ; $\sigma_{сж.}$ – предел прочности породы на сжатие.

Практический интерес представляет обратная зависимость $\sigma_{сж.} = F(\tau)$. С учетом некоторых упрощающих допущений она может быть представлена в виде степенной функции

$$\sigma_{сж.} = A^* \cdot \tau^{-B^*}, \quad (5)$$

где A^* и B^* – новые постоянные, комплексно включающие параметры A и B , а также характеристики стабильно поддерживаемых условий испытаний.

На специально созданном ударном стенде были выполнены динамические испытания образцов различных пород с регистрацией ударного импульса на экране запоминающего осциллографа. Длительность импульса, а также его амплитуда, определялась путем компьютерной обработки фотографий осциллограмм. На последующем этапе выполнялись разрушающие испытания образцов по ДСТУ ГОСТ 28985:2008. Путем обработки массива экспериментальных данных получены корреляционные зависимости между длительностью ударного импульса и пределом прочности на одноосное сжатие, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Уравнения регрессии для описания зависимости прочности пород от длительности ударного импульса

Исследуемый геоматериал	Уравнение регрессии	Достоверность уравнения
Гипс	$\sigma_{сж.} = 3,4404\tau^{-1,3402}$	0,8218
Уголь	$\sigma_{сж.} = 7,7731\tau^{-1,0605}$	0,8157
Песчаник	$\sigma_{сж.} = 2,614\tau^{-1,3213}$	0,8788
Алевролит	$\sigma_{сж.} = 0,0375\tau^{-3,8711}$	0,8396

Пример связи прочности песчаника с длительностью ударного импульса в графическом виде представлен на рис. 2.

Выполненные теоретические и лабораторные экспериментальные исследования позволили обосновать

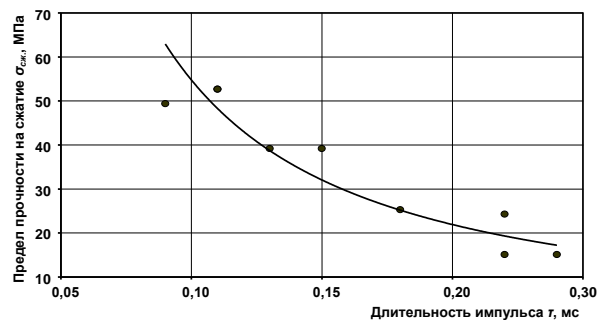


Рис. 2. Связь прочности на сжатие песчаника с длительностью ударного импульса

параметры и разработать конструкцию экспериментального образца прибора ДИКОН, специально предназначенного для работы в полевых и шахтных условиях. Определение длительности ударного импульса осуществляется в режиме работы «Контроль материала». Блок-схема части прибора, реализующего указанный режим, представлена на рис. 3.

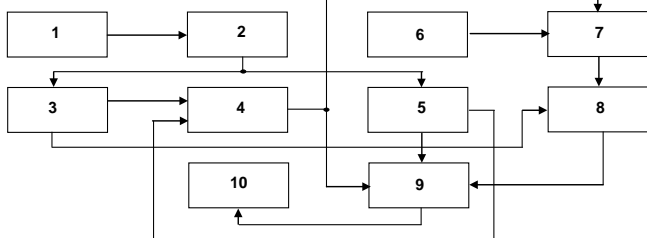


Рис. 3. Блок-схема модуля прибора ДИКОН, реализующего измерение длительности ударного импульса: 1 – первичный преобразователь, 2 – усилитель напряжения, 3 – первое пороговое устройство, 4 – формирователь «временных ворот», 5 – второе пороговое устройство, 6 – генератор опорных импульсов, 7 – первый электронный ключ, 8 – второй электронный ключ, 9 – счетчик импульсов, 10 – цифровой индикатор

Амплитуда сигнала на выходе первичного преобразователя 1 составляет десятые доли вольта, что недостаточно для его обработки цифровыми методами. Для достижения необходимого уровня сигнала предназначен усилитель 2. Первое пороговое устройство 3 служит для формирования импульсов измеряемой длительности T^* . Синхронно в формирователе 4 импульса «временных ворот» происходит генерация одиночного импульса постоянной длительности t_u . Второе пороговое устройство 5 также формирует импульс постоянной длительности T_o ($T_o \gg T_u$). Генератор 6 опорных импульсов выдает непрерывную последовательность калиброванных по частоте (100 кГц) импульсов, которые поступают на коммутационный вход первого электронного ключа 7. Управляющий вход ключа 7 соединен с выходом формирователя 4 временных ворот и открывает его на интервал времени продолжительностью 3 мс. Если входной импульс имел амплитуду, достаточную для срабатывания второго порогового устройства, то при единичном потенциале на его выходе повторный запуск формирователя 4 блокируется и, соответственно, ключ 7 будет по окончании указанных 3 мс закрыт до окончания импульса длительностью T_o . С выхода ключа 7 предварительно селективированные во времени опорные импульсы поступают на коммутационный вход второго электронного ключа 8 и через него на счетчик 9. Открывание ключа 8 осуществляется импульсами измеряемой длительности T^* с выхода блока 3. Количество подсчитанных в течение интервала T^* опорных импульсов определяет длительность ударного импульса. Состояние счетчика 9 отображается цифровым индикатором 10. Установка счетчика на нуль происходит по заднему фронту импульса блокировки, а также по окончании формирования импульса «временных ворот» при наличии нулевого потенциала на выходе формирователя 5. После этого устройство снова готово к выполнению измерения.

Важнейшие технические характеристики прибо-

ра ДИКОН, относящиеся к режиму «Контроль материала», следующие:

- диапазон определения длительности, мс - 0-1,99;
- приведенная погрешность измерения, % - 1,5;
- длительность индикации результата, с - 2-5;
- напряжение питания, В - 6;
- потребляемая мощность, Вт - 0,2.

Аппаратура ДИКОН была использована при изучении геологической нарушенности в выработках Артемовской гипсовой шахты. Одной из проблем, возникающих при оценке длительной устойчивости выработок, пересекающих геологические нарушения в виде карстопроявлений, является снижение прочности массива за пределами визуально наблюдаемого выхода карста. Точное определение границ зоны влияния карста позволяет оптимизировать состав инженерных мероприятий по обеспечению безопасной эксплуатации выработки.

Первоначально в привязке к маркшейдерским пикетам на стенке выработки выполняют разметку с шагом 1 м. В каждой из точек контроля производят зачистку поверхности на площади до 10 см². В одной точке выполняют по 10 измерений длительности ударного импульса с последующим усреднением результатов.

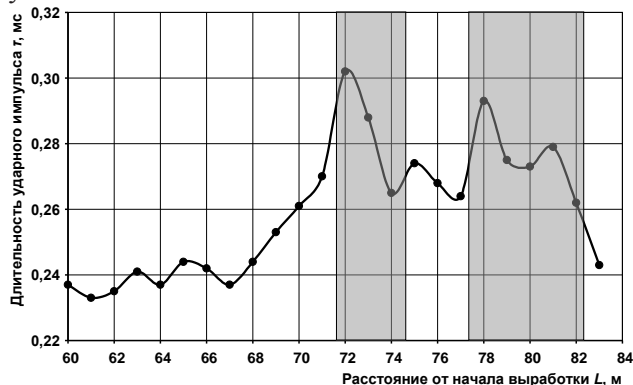


Рис. 4. Изменение длительности ударного импульса на поверхности гипсового массива в окрестности геологического нарушения

На рис. 4 приведены результаты измерений длительности ударного импульса в нижней части комбайновой вентиляционной выработки 19 камеры VII-й панели вблизи барьерного целика, расположенного под автодорогой «Харьков – Ростов». Видимые границы карстопроявления выделены серым цветом. Результаты измерений свидетельствуют о плавном снижении прочности гипса (повышенные значения длительности ударного импульса) по мере приближения к геологическому нарушению. Ширина переходной зоны составляет в данном случае порядка 4 м.

Выводы

1. Внедрение средств и методики экспресс-оценки прочностных характеристик пород непосредственно на месте их залегания взамен отбора керна, подготовки и испытания образцов в лабораторных условиях является актуальной задачей сегодняшнего дня. В этом плане перспективен метод ударного импульса.

2. Теоретически установлено и эксперименталь-

но доказано существование тесной связи между длительностью ударного импульса и пределом прочности породы на одноосное сжатие, аналитически выражающейся степенной зависимостью.

3. Разработан и апробирован в производственных условиях экспериментальный образец прибора ДИ-КОН для оперативной оценки прочности пород в массиве по величине длительности ударного импульса.

4. Метод может быть использован на месторождениях рудного сырья при получении соответствующих корреляционных зависимостей между значением информативного параметра и прочностью руд и вмещающих пород.

Библиографический список

1. ДСТУ БВ.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами

неруйнівного контролю: Чинний від 2010-09-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 20 с.

2. Руководство по экспресс-определению прочностных свойств углевмещающих пород Донбасса по их геологическим характеристикам и акустическим измерениям кернов геологоразведочных скважин / А.А. Майборода, О.С.Алферов, А.А. Яланский и др. – Днепропетровск: ДГИ, 1988. – Ч. 1. – 48 с.; Ч. 2. – 82 с.

3. Штенгель В. Г. О методах и средствах НК для обследования эксплуатируемых железобетонных конструкций / В.Г. Штенгель // В мире НК. – 2002. – № 2(16). – С. 12-15.

Поступила 10.12.2012

УДК 622.75/76.022.68:621.926.47

Морус В.Л. /к.т.н./

ИГТМ НАН Украины

Филимонов П.Е. /к.т.н./

ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»

Наука

Опыт применения техники промывки и классификации минерального сырья техногенных месторождений

Разработано технологически высокоэффективное и долговечное обогатительное оборудование на основе рабочих поверхностей из износостойких резин и динамически активных просеивающих поверхностей типа СДАЛ. Приведены примеры применения техники промывки и классификации глиносодержащих материалов и минералов техногенных месторождений. Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: техника, промывка, классификация, глиносодержащие материалы, техногенные месторождения

The technological and highly durable mineral processing equipment, based on the working surfaces of the wear-resistant rubber and dynamically active sieve-type surfaces is developed. The examples of application of leaching technique and classification of clay-containing materials and minerals of industrial deposits are given.

Keywords: technique, leaching, classification, clay-containing materials, industrial deposits.

В ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины в течение многих лет ведутся исследовательские работы по созданию, освоению производства и широкому внедрению технологически высокоэффективного и долговечного обогатительного оборудования на основе рабочих поверхностей из износостойких резин и динамически активных просеивающих поверхностей (СДАЛ).

Проведены исследования и обоснованы рациональные режимные и конструктивные параметры обогатительных машин барабанного типа с одновременным разнонаправленным перемещением частиц надрешетных фракций [1].

На рис. 1 представлена экспериментальная установка для моделирования процесса загрузки барабанного грохота. Проведены экспериментальные исследования противонаправленного движения частиц и оценка влияния частоты вращения и угла наклона

оси барабана на скорость перемещения фракций. Для выполнения основной цели исследований предварительно подготовлен исходный материал для мелкого и тонкого грохочения, который подавался в загрузочную часть грохота. Характеристика грохота длина барабана $L_0 - 2,17$ м; диаметр барабана $D_0 - 0,8$ м; объем барабана $V_0 - 1,09$ м³; число спиралей - 24; ширина спирали - 56 мм; высота буртика спирали - 40 мм; просеивающая поверхность - эластичные резиновые сита динамически активные ленточные (СДАЛ); угол наклона барабана - от минус 5 до 5; частота вращения барабана $n_0 - 7-28$ мин⁻¹.

Экспериментальные исследования, выполненные на полноразмерном барабанном грохоте с замкнутым циклом питания показатели, что при противонаправленном перемещении частиц различных фракций увеличение частоты вращения приводит к увеличению скорости перемещения крупных кусков к про-