

превышают нормативные значения этих показателей, определенные в проекте на отработку запаса добычного блока, геологическая и маркшейдерская службы предприятия совместно с техническим отделом, выясняют причины возникновения такой ситуации. При этом руководители предприятия принимают меры по ликвидации этих причин и привлечению к ответственности лиц, допустивших сверхнормативные потери и засорение руды. Кроме того, разрабатываются мероприятия по недопущению таких ситуаций в дальнейшей производственной деятельности предприятия.

Предприятие ежегодно отчитывается перед «Государственной горнотехнической инспекцией охраны недр и геолого-маркшейдерского надзора» (ГТИОНИГМН) о состоянии организации охраны недр и ее эффективности по полученным фактическим значениям показателей извлечения.

Организация работ по реализации указанных функций в области обеспечения рациональной эксплуатации запасов железорудных месторождений представляет одну из основных функций систем управления горными работами на шахтах.

Установление единого методического подхода и правил организации системы управления рациональной эксплуатацией запасов железорудных месторождений горнорудными предприятиями Украины обеспечивается путем выполнения требований «Инструкции по нормированию показателей извлечения руды по техническим, технологически и экономическим критериям, их прогнозированию и учету в процессе подземной разработки железорудных месторождений» для горнодобывающих предприятий Украины, осуществляющих разработку месторождений железных руд подземным способом.

Организация современной системы управления показателями извлечения железных руд при подземной разработке месторождений является залогом высокой эффективности выемки запаса руды в конкретных

Рукопись поступила в редакцию 06.03.12

УДК 622.235

С.В. ТИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф., Г.И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

К.А. ФЕДИН, ООО «Метинвест холдинг»

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ СКВАЖИННЫМИ ЗАРЯДАМИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Теория и практика ведения горных работ открытым способом показывает, что с увеличением глубины железорудных карьеров происходит ускоренная отработка верхних горизонтов с выходом на проектные контуры. Глубина карьеров Кривбасса уже превысила отметку 400 м. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению ширины рабочих площадок на многих горизонтах. В таких условиях далеко не всегда можно эффективно вести взрывные работы традиционными методами [1].

Многорядное короткозамедленное взрывание на узких рабочих площадках не дает необходимого качества дробления горных пород.

Решение данной проблемы возможно путем создания новых технологий ведения взрывных работ открытым способом.

Одной из таких технологий является способ взрывной отбойки, основанный на взрывании дифференцированных скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ) [2,3].

Целью исследований является изучение особенностей физики разрушения горного массива.

Во взрывном деле разработано много технологических приемов, позволяющих управлять действием взрыва в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ. Для получения необходимого результата варьируют пространственным расположением зарядов ВВ в горном массиве, временем их последовательного взрывания, конструкцией зарядов. Перспективным методом управления действием взрыва является создание специальных искусственных зон с помощью взрывов скважинных зарядов, расположенных на границе разрушаемого массива горных пород или его части перед инициированием основных зарядов дробления. Такие зоны могут использоваться в качестве экрана, предохраняющего от разруше-

ния законтурный массив для снижения сейсмического действия взрыва, а также с целью отражения волн сжатия, т.е. направление отраженной волны растягивающих напряжений в заданный объем, подлежащий разрушению. Описанный механизм взрывного разрушения может вызвать процесс самоподдерживающегося разрушения.

Рассмотрим массив горных пород, экранированный динамической зоной разрушения. После взрыва основных скважинных зарядов дробления, рассматриваемый массив находится в поле сжимающих напряжений, поскольку массив экранирован по всему периметру, то вглубь последнего распространятся отраженные волны сжатия в виде волн растягивающих напряжений, иначе говоря, волны разгрузки.

Запасенная разрушаемым горным массивом потенциальная энергия упругого сжатия, вызывает неустойчивость сдвиговых микротрещин, находящихся во фронте разгрузки. Их динамическое развитие приводит к более интенсивному разрушению горной породы.

Основным фактором, определяющим способность хрупкого тела к самоподдерживающему разрушению, является запас потенциальной энергии в разрушаемом объеме. Самоподдерживающийся механизм разрушения состоит в переходе потенциальной упругой энергии разрушаемого объема в кинетическую энергию отдельных фракций разрушенного хрупкого материала. Описанный эффект напоминает самоподдерживающийся механизм распространения детонационной волны, когда ударная волна подпитывается за счет запаса химической энергии перед ее фронтом во взрывчатом веществе. Важную роль в создании запаса потенциальной упругой энергии в разрушаемом объеме играет прочность материала. На рис. 1 показана зависимость между прочностными характеристиками горной породы и возможной величиной запаса потенциальной упругой энергии.

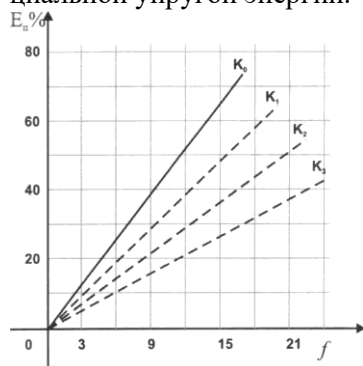


Рис. 1. Зависимость между прочностными характеристиками разрушаемой среды и величиной накопленной потенциальной энергии

В представленной зависимости величина K_i определяется из условия

$$K_i = 1/\Pi, \tag{1}$$

где Π - среднее значение пористости разрушаемого материала; f - коэффициент крепости по шкале М.М. Протождяконова.

Очевидно, что согласно условию (1) величина K_i отвечает условию

$$0 < K_i < 1.$$

Максимальное накопление энергии при прочих равных условиях будет происходить в горных породах с пористостью, близкой к единице.

Вторым важным фактором обеспечения наибольшего запаса упругой энергии в разрушаемом объеме горных пород - создание всестороннего сжатия. Это возможно при использовании технологии ведения взрывных работ с использованием эффекта разрушения горного массива с помощью дифференцированных скважинных зарядов ВВ.

Рассмотрим одномерную задачу, которая моделирует процесс самоподдерживающегося разрушения. Пусть $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные напряжения в однородном поле в рассматриваемом объеме. Согласно физики рассматриваемого процесса напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ таковы, что не вызывают распространения сдвиговых микротрещин, однако они достаточно велики, чтобы поддерживать распространение волны разрушения [4].

Из граничных условий следует соотношение

$$\begin{aligned} \tau_0^2 &= (\sigma_1^2 \alpha^2 + \sigma_2^2 \beta^2 + \sigma_3^2 \gamma^2) - (\sigma_1 \alpha^2 + \sigma_1 \beta^2 \sigma_1 \gamma^2) \\ \sigma_0 &= (\sigma_1 \alpha^2 + \sigma_1 \beta^2 \sigma_1 \gamma^2) \end{aligned} \tag{2}$$

где τ_0 - наибольшее касательное напряжение; σ_0 - нормальное напряжение; σ, β, γ - косинусы углов, которые ось абсцисс составляет с главными осями напряжения.

При самоподдерживающемся разрушении хрупкого тела, в нашем случае горной породы, в поверхностную энергию переходит лишь некоторая часть упругой энергии разрушаемого объема, а остальная часть переходит в кинетическую энергию движения разрушенной среды. Удельная диссипация энергии на фронте разрушения может быть определена как

$$\Pi = U_0 - \frac{\sigma_0^2}{2\rho^2 c^2},$$

где ρ - плотность среды; c - скорость распространения продольных упругих волн.

$$u_0 = \frac{(1+\nu)(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{2E\rho},$$

где ν - коэффициент Пуассона; E - модуль Юнга.

Если принять радиус частицы r за случайную величину $P(r)$, то поверхностную энергию единицы массы разрушенного материала можно записать в виде

$$\Pi = 3\nu J_1 / p J_2, \quad (3)$$

где $J_1 = \int_{-\infty}^{\infty} r^2 P(r) dr$; $J_2 = \int_{-\infty}^{\infty} r^3 P(r) dr$.

Уравнение (3) позволяет оценить средний размер фракций разрушенной среды и параметры их распределения.

Определим количество энергии, переданной в экранированный массив. Согласно работы [5] поток энергии в замкнутом объеме среды равен работе внешних сил.

$$I = |P\bar{u}|. \quad (4)$$

Энергия, определяемая соотношением (3), есть энергия, переданная в среду при детонации цилиндрического заряда ВВ.

Полное количество энергии, переданной в среду за время dt , может быть определено как

$$dE = P(t) \cdot S(t) \cdot d(x(t)), \quad (5)$$

где $P(t)$ - функция давления; $S(t)$ - функция площади; $x(t)$ - зависимость границы смещения ВВ-среда.

Введя замену $z=x(t)$ и проинтегрировав выражение (4), получим

$$E = \int P(t) \cdot S(t) \cdot d(x(t)), \quad (6)$$

При взрывании цилиндрического заряда происходит изменение площади контакта, которое учитывается как

$$dS = 2\pi (r_0 + x(t)) dh,$$

где dh - цилиндрический сегмент.

После интегрирования формула (6) примет вид

$$E = \int_0^h dE(Xh), \quad (7)$$

где Xh - функция, зависящая от длины заряда.

Согласно исследованиям [6], количество диссипированной энергии может быть определено

$$E_d = 4\pi r^2 \cdot t \int \left(\sigma_r \frac{du}{dr} + 2\sigma_\theta \frac{u}{r} \right) dr. \quad (8)$$

Для случая, когда рассматривается горный массив, экранированный со всех сторон, формула (8) не учитывает энергию, привнесенную отраженными волнами сжатия. Если обозначить указанную энергию через E_{om} , то формула, отражающая полную энергию взрыва в замкнутом горном массиве, будет иметь вид

$$E_{пол} = E - (E_d - E_{om})$$

На основании изложенного материала можно сделать вывод, что использование технологии разрушения горного массива или его определенной части с помощью дифференцированных зарядов ВВ, позволит увеличить интенсивность процесса разрушения последнего. Этому способствует образование в экранированном массиве волн разгрузки, которые, в свою очередь, концентрируют в разрушаемом объеме упругую потенциальную энергию. Последние обеспечивают раскрытие первоначальных сдвиговых трещин перед основным фронтом разрушения, что способствует поддержанию основного фронта разрушения и более интенсивному дроблению разрушаемой среды.

Список литературы

1. Колесник Н.Д., Черконос А.И. Совершенствование взрывной технологии в условиях глубоких железорудных карьеров // Разработка рудных месторождений. - Кривой Рог: изд-во КГУ, 2003. - Вып. 82. - С.17-22.
2. А.С. 1626750 СССР. МКИ Е 21 С 37/00. Способ взрывания горных пород / Л.К. Елисеев, Г.А. Воротеляк, Г.И. Еременко, В.С. Куц, С.В. Тищенко, В.С. Шебеко (СССР): -4674451/03. Заявлено 04.04.89. - Не подлежит публикации в открытой печати.
3. Патент 1761002 СССР. МКИ Е 21 С 37/00. Способ взрывной подготовки горных пород: Пат1761002 ССР, МКИ Е 21 С 37/00 / А.Р. Черненко, Г.И. Еременко, В.С. Куц, Л.К. Елисеев, С.В. Тищенко, В.С. Шебеко (СССР): - НИГРИ. - № 4773993/03. заявлено 04.04.89. - П.
4. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения.-М.: Наука, 1974.-640 с.
5. Умов Н.А. Избранные сочинения. М.: Гостехиздат, 1980. - 555 с.
6. Поздняков З.Г., Росси Б.Д. Промышленные взрывчатые вещества и средства взрывания. - М.:Недра, 1971.- 175 с.

Рукопись поступила в редакцию 06.03.12