

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗРУШАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СЕЙСМОМЕТРИИ**

В работе [1, с.43] приведены результаты опытов, показывающих, что «энергия ударной волны не может в значительной степени повлиять на интенсивность и объемы разрушения породы и, следовательно, первичный механизм разрушения горных пород определяется энергией поршневого действия взрыва, обусловленного давлением расширяющихся продуктов детонации взрывчатого вещества». При этом «... на поршневое действие ...» расходуется до 50 % энергии ВВ, тогда как в ударную волну или волну напряжений переходит не более 15 % энергии [там же, с.37]. Аналогичный вывод сделан в работе [2, с.55-62]. Приведенные сведения получены в результате лабораторных или подводных испытаний действия ВВ.

Возможность проверки этих выводов в условиях реальных сред в значительной мере определяется объемом и достоверностью имеющейся информации о строении и свойствах взрывааемых пород. Изменение энергии волн напряжений при удалении от эпицентра взрыва происходит вследствие многократных отражений от поверхности границ раздела сред, а также необратимых тепловых потерь. Наиболее близок механизм взаимодействия физических полей с массивом пород в случае распространения сейсмических волн. Поэтому совокупность параметров, характеризующих неоднородный массив, должна содержать сейсмические кинематические и, возможно, динамические параметры, определенные с достаточной детальностью.

Необходимую детальность исследований можно сопоставить с объемом дробящего действия волн напряжений, приведенным в цитированных выше источниках. Это приблизительно 10 % объема. На каждом метре колонки заряда ВВ названному объему при размере сетки взрывных скважин от 4 x 4 до 8 x 8 м соответствует кольцевой слой диаметром 1,4-2,8 м и, соответственно, объемом 1.6-6.4 м<sup>3</sup>. Наиболее детальная и полная информация о массиве пород может быть получена при использовании взрывных скважин. Примеры применения скважинных сейсмических методов: вертикального сейсмического профилирования (ВСП) и межскважинного просвечивания (МП), – при исследовании взрывааемых массивов пород показывают, что характеризуемый объем, который можно определить объемом «диска Френеля» [3], составляет в среднем 2-5 м<sup>3</sup> для продольных волн (P-волн), для поперечных – приблизительно в 2-3 раза меньше. Таким образом, практически достигаемая детальность исследований позволяет анализировать изменения состояния массива пород в объеме разрушающего действия волн напряжений.

Кроме того, необходимо отметить следующую существенную особенность данных, полученных при сейсмических исследованиях в окрестности взрывных скважин. Бурение последних завершает процесс непрерывного изменения горного массива. Неоднородность свойств пород, возникшая в процессе разгрузки от горного давления, действия предшествующих взрывов, дополняется проходкой скважин большого диаметра. Их бурение приводит к растрескиванию пород, изменению гидрорежима. Коаксиально скважинам возникают поля касательных напряжений, разгрузка которых вызывает новые нарушения сплошности пород вблизи стенок скважин. Таким образом, сейсмические параметры, измеренные в окрестности взрывных скважин, отражают влияние максимального числа факторов, определяющих состояние массива пород непосредственно перед взрывом и, вероятно, в значительной мере - результат взрыва.

Для расчета действия волн напряжений на основе сейсмических данных можно воспользоваться известными выражениями, определяющими изменение напряжений в среде при удалении от очага взрыва [4]:

$$\sigma_{\text{ц}} = 17,8\rho V_p (W/V_p r x h) \exp(-\alpha_{\text{ц}} x), \quad (1)$$

где  $\sigma_{ц}$  – напряжение для цилиндрического заряда, Па;  $\alpha_{ц}$  – коэффициент затухания волн напряжений для средней зоны цилиндрического заряда, 1/м;

$$\alpha_{ц} = 3,91 \cdot 10^{-6} / (0,1\rho V_p)^{1,02};$$

$\rho V_p$  – акустическая жесткость среды, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $W$  – энергия заряда, Дж;  $r$ ,  $h$ ,  $x$  – соответственно радиус заряда, высота заряда, удаление от заряда, м.

Для расчета максимального действия волн напряжений можно принять ряд допущений:

1. Сопротивление массива разрушающим воздействиям оказывает минимальный в ряду прочностных показателей параметр – статическое сопротивление растяжению  $\sigma_{ст}$ . В действительности при динамических нагрузках происходит упрочнение материала в зависимости от величины и времени нагружения [4]:

$$\sigma_d = \sigma_{ст} (1 + k \ln W_H), \quad (2)$$

где  $\sigma_d$ ,  $\sigma_{ст}$  – динамическое и статическое значение показателя прочности соответственно;  $k$  – коэффициент динамической прочности;  $W_H$  – скорость нагружения.

2. В области камуфлета не происходит скачкообразного уменьшения энергии взрыва. Данные ВСП и МП указывают на значительные изменения сейсмических свойств в объеме взрывааемых блоков. Например, на гранитном карьере «Новосмолинский» (Челябинск) менее подвержены выветриванию породы третьего горизонта. Тем не менее, по результатам скважинных сейсмических исследований отмечены изменения скорости продольных волн в пределах 550-5000 м/с. Сведения о распределении скоростей волн отражают их изменение через 1 м. Такие данные в совокупности со сведениями о  $\sigma_{ст}$  и принятыми характеристиками ВВ (среднее значение  $\sigma_{ст} = 6 \div 4$  МПа, ВВ – аммонит 6ЖВ) позволяют оценить радиус действия волн напряжений для каждого метрового интервала колонки заряда. Он составил 1-2 м, причем только для участков массива пород с  $V_p \geq 2700$  м/с или  $\geq 50\%$  от среднемаксимального значения скорости для данного литотипа ( $V_{max}$ ). Такие участки в общем объеме составляют около 10%. При сетке взрывных скважин 5 x 5 и 6 x 6 м расчетный объем разрушений вследствие действия волн напряжений составил 8 и 6% соответственно. Для 1-го и 2-го горизонтов карьера участки массива с  $V_p \geq 0,5 V_{max}$  составляют 8,6 и 4,1%, а объем разрушений вследствие действия волн напряжений около 1%.

Другой пример – данные о распределении скоростей сейсмических волн в объеме блока пород на карьере «Южный» Баженовского месторождения асбеста. В измененных перидотитах и серпентинитах  $V_p = 580 \div 5000$  м/с, в среднем 1800 м/с. При среднем значении  $\sigma_{ст} = 16,5$  МПа зоны разрушающего действия волн напряжений с радиусом, большим или равным 1 м, соответствуют участкам пород с  $V_p \geq 4000$  м/с ( $0,7 V_{max}$ ). Последние составляют около 16% объема блока пород, а разрушения вследствие действия волн напряжений примерно 4%.

Аналогичные расчеты проведены при использовании данных о распределении скоростей волн во вскрышной толще пород 27-го и 3-го горизонтов угольного разреза «Красногорский» (Кузбасс). Породы – алевролиты и песчаники. При среднем значении  $\sigma_{ст} = 8,3$  МПа зоны разрушающего действия волн напряжений с радиусом, большим или равным 1 м, соответствуют участкам пород со значениями скорости сейсмических волн от  $0,8 V_{max}$ . Такие участки на 27-м горизонте составляют около 6%, на 32-м горизонте примерно 37%. Объем разрушений пород вследствие действия волн напряжений при размере сетки скважин 5 x 5 м составляет соответственно 1 и 5%.

Таким образом, расчетный объем разрушений неоднородных массивов пород под действием волн напряжений составляет 1-8%. Максимальное из полученных значений – 8% соответствует условиям наименее измененных выветриванием гранитов. Такое значение близко к результатам лабораторных и подводных испытаний, приведенных в работах [1, 2].

Следовательно, использование данных сейсмометрии позволяет оценить изменение напряжений в неоднородном горном массиве и подтвердить их ограниченное участие в разрушении пород взрывом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США / В.Л.Барон, Я.Х.Кантор. М.: Недра. 1989.
2. Ефремов Э.И. Управление взрывным дроблением трещиноватых сред / Э.И.Ефремов, Н.И.Мячина, В.А.Никифорова // Мировая горная промышленность. М.: МГА «Интермин». 1994. № 3.
4. Оксанич И.Ф. Закономерности дробления горных пород взрывом и прогнозирование гранулометрического состава / И.Ф.Оксанич, Л.С.Миронов. М.: Недра, 1982.
3. Кунин Я.Я. Разрешающая способность сейсмометрии при изучении геологических сред / Я.Я.Кунин, А.Г.Будагов, Э.Р.Шейх-Заде // Разведочная геофизика / ВИЭМС. М., 1986.