



## БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

УДК 622.831.235

### О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СПОСОБОВ ПРОГНОЗА ВЫБРОСОПАСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

И. Я. КОРОЛЬ, инж.

(Объединение Красноармейскуголь)

А. К. НОСАЧ, Н. А. РЯЗАНЦЕВ,

В. Н. НЕСТЕРЕНКО, кандидаты техн. наук  
(Красноармейский фил. ДПИ)

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что для прогноза выбросов пород наибольшее применение получил способ разделения кернов разведочной скважины на диски [1]. Но этот способ в условиях шахты им. Стаханова объединения Красноармейскуголь показал, что надежность прогноза сравнительно невысока. Из опасных зон общей длиной 1145 м, выявленных по дискам за последние пять лет, фактически опасным оказался участок размером 125 м.

Исследователи часто используют баланс энергии при выбросе для оценки значимости той или иной его составляющей. Детальный анализ баланса энергии позволяет найти пути создания и совершенствования способов прогноза и предотвращения выбросов. На достигнутых в настоящее время глубинах возникающие в горных породах напряжения иногда в несколько раз превышают предел сжимаемости, что сопровождается пластическими деформациями, дилатансией и разрушением пород. В этих условиях важен не сам факт разрушения (начало дилатансии), который неизбежен, а количество энергии, затраченное при той или иной степени дробления.

Поэтому применение акустических методов прогноза сопряжено с рядом трудностей. Жесткие и прочные слои, являющиеся концентраторами напряжений в горном массиве, выявляются по коэффициенту поглощения упругой энергии. Однако характер ее поглощения при разрушении породы и при распространении упругих волн различен [2]. В крепких монолитных породах поглощение упругой волны минимальное, и оценить заранее энергоемкость и характер разрушения (что имеет значение для возникновения выброса) по акустическим данным невозможно, так как поглощение энергии при разрушении может быть максимальным.

Поскольку выбросоопасность определяется не столько количеством энергии, накопленной в массиве, сколько энергопоглощающей способностью разрушаемых пород, наряду с обнаружением концентраторов напряжений в массиве в жестких слоях следовало бы оценить энергоемкость разрушения.

Современные достижения механики позволяют представить плотность энергии разрушения  $W_p$  как сумму энергий допредельного  $W_d$  и запредельного  $W_z$  деформирования. Если предельным состоянием считать предел сжимаемости (начало дилатансии), то  $W_d \approx W_m$ , и условие выброса запишем в виде  $W_p > W_z$ , здесь  $W_p$  и  $W_m$  — энергия упругих деформаций (упругого восстановления) вмещающих пород и разрушаемого материала.

Таким образом, главное условие выброса состоит в том, чтобы энергия упругого восстановления вмещающих пород превысила энергию запредельного деформирования разрушаемого материала [3]. Однако такая энергия представляет собой сумму энергий пластического деформирования и дробления породы.

Полная энергия упругих деформаций вмещающих пород для данного напряженного состояния может быть записана в виде:

$$W_p = A_v + A_f = \sigma_{оп}^2 / (2K_n) + (1 + \nu_n) \sigma_{in}^2 / [9K_n (1 - 2\nu_n)],$$

где  $A_v$  и  $A_f$  — плотность энергии изменения соответственно объема и формы;

$\sigma_{оп}$  — шаровой тензор напряжений во вмещающих породах;

$K_n$  — модуль всестороннего объемного сжатия (модуль несжимаемости) вмещающих пород;

$\nu_n$  — коэффициент поперечной деформации вмещающих пород;

$\sigma_{in}$  — девиатор напряжений.

Если пластические деформации невелики, то энергия запредельного деформирования равна энергии дробления  $W_{др}$  и тогда можно записать:

$$W_z = (\sigma_{оз}^2 - \sigma_{ом}^2) / (2M_k) + (1 + \nu_3) (\sigma_{iz}^2 - \sigma_{im}^2) / [9M_k (1 - 2\nu_3)],$$

где  $\sigma_{оз}$  — остаточный шаровой тензор напряжений в запредельной области;

$\sigma_{ом}$  и  $\sigma_{im}$  — разрушающие шаровой тензор и тензор-девиатор напряжений;

$M_k$  — модуль спада материала в запредельной области (аналогично модулю объемного сжатия  $K_m$  в предельной области);

$\nu_3$  — коэффициент поперечной деформации в запредельной области;

$\sigma_{iz}$  — тензор-девиатор в запредельной области после разрушения.

Для одноосного сжатия при остаточной прочности, равной нулю, получим условие [3] динамического разрушения  $M > E$ , где  $M$  и  $E$  — модули спада материала и упругости нагружающей системы.

В общем случае, когда остаточная прочность не равна нулю, напряженное состояние объемное и при деформировании до разрушения возникают значительные пластические деформации, это условие гораздо сложнее:

$$W_z = W_{пл} + W_{др},$$

где  $W_{пл}$  — плотность энергии пластического деформирования,

$$W_{пл} = (\sigma_{ом}^2 - \sigma_{оу}^2) / (2K_{пл}) + \frac{(1 + \nu_{пл}) (\sigma_{im}^2 - \sigma_{iy}^2)}{9K_{пл} (1 - 2\nu_{пл})};$$

$\sigma_{оу}$  и  $\sigma_{iy}$  — шаровой тензор и тензор-девиатор напряжений на пределе сжимаемости  $K_m = \infty$ ;

$\nu_{пл}$  и  $K_{пл}$  — коэффициент поперечной деформации и модуль объемного сжатия в пластической области.

Исследование закономерностей изменения модулей упругости, пластичности и спада при различных схемах нагружения, а также энергии, затрачиваемой на упругое, пластическое деформирование и дробление, позволит решить неравенство, представляющее собой условие выброса, и найти более совершенные методы прогноза. Кроме того, имеет смысл проанализировать энергию запредельного деформирования. Согласно закону дробления Ребиндера [4], энергия, подведенная к образцу, расходуется на пластическое деформирование и на дробление вещества (образование новых поверхностей). Энергия пластического деформирования прямо пропорциональна изменению объема  $\Delta V_{пл}$  при пластическом деформировании, а энергия дробления — величине вновь образованной поверхности  $\Delta S_n$ .

Удельная объемная энергия разрушения имеет физический смысл энергии активации или зарождения трещины, зависит от величины шарового тензора, вида напряженного состояния и может быть представлена формулой

$$m = m_0 + A_v - A_f / (1 + \mu_\sigma^2),$$

где  $m_0$  — энергия активации трещины при отсутствии механических напряжений;

$\mu_\sigma$  — параметр вида напряженного состояния.

Величину  $S_v = \Delta S_n / \Delta V_{пл}$  называют удельной поверхностью разрушенного материала, а обратную ей величину — приведенным радиусом  $r_{пр}$  частиц. Из закона дробления следует, что при прочих равных условиях размер частиц разрушенного материала тем меньше, чем больше подведено энергии.

Если считать разрушаемый массив и процесс деформирования однородными (удельная поверхность энергии разрушения  $\gamma = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ , а  $\Delta V_{\text{пл}} = V$ , здесь  $V$  — исследуемый объем породы), то прогнозировать зоны с повышенным притоком энергии можно по  $\Delta S_{\text{н}}$ . В свою очередь

$$\Delta S_{\text{н}} = S_{\text{тр}} N,$$

где  $S_{\text{тр}}$  — площадь одной трещины;  
 $N$  — количество трещин.

Широко применяемый прогноз по делению керна на диски (по количеству дисков) основан на этой зависимости. Если величину вновь образованной поверхности выразить через объем частиц штыба при бескернавом бурении, то

$$\Delta S_{\text{н}} = 6 \sum_{i=1}^n V_{\Phi i} / D_{\Phi i},$$

где  $\sum V_{\Phi i}$  — суммарный объем штыба или буровой мелочи;  
 $D_{\Phi i}$  — диаметр частиц данного класса.

Следовательно, одним из главных недостатков существующего способа прогноза выбросоопасности угольных пластов по выходу штыба с 1 м шпура является то, что не учитывается гранулометрический состав. Более правильно вести прогноз по приведенному радиусу частиц штыба или по выходу самого мелкого класса.

Указанные способы могут быть достаточно надежны только в том случае, если массив однороден. В реальном массиве свойства пород меняются практически с каждым метром. Учитывая, что при выбросах приведенный радиус частиц разрушенного материала на порядок меньше, чем при обычном взрывном разрушении, можно, задавшись этой высокой степенью дробления, оценить величину удельной поверхностной энергии разрушения пород для развязывания выброса. Такой способ прогноза известен.

УДК 622.831.622.33

## О ТЕКУЩЕМ ПРОГНОЗЕ ВЫБРОСООПАСНОСТИ ПЛАСТОВ ПО НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ШПУР

**И. А. РЫЖЕНКО, И. Я. ЕРЕМИН**, кандидаты техн. наук (ИТТФ АН УССР)

**А. И. РЫЖЕНКО**, инж. (Киевский госуниверситет)

В 1974—1976 гг. на страницах журнала «Уголь» была проведена дискуссия по проблеме внезапных выбросов угля, газа и породы. При подведении ее итогов отмечалось, что поступившие от ведущих специалистов материалы не выявили принципиально новых методов прогноза. В этих условиях необходимо обратить особое внимание на доводку существующих методов и четкое определение степени их надежности. Делать заключение и давать рекомендации следует только с учетом надежности прогноза, что позволит производственникам принимать правильные решения [1]. В это же время утверждена Инструкция, регламентирующая текущий прогноз выбросоопасности пластов [2], согласно которой зона пласта относится к выбросоопасной, если в шпур (длина камеры 0,5 м) на глубине  $l = 3,5$  м от поверхности забоя наблюдается начальное газовыделение  $q_{\text{н}} \geq 5$  л/мин.

Позже, в 1980 г. согласно Инструкции [2] зона пласта относится к выбросоопасной, если начальное газовыделение  $q_{\text{н}}$  в шпур на глубине 1,5, 2,5 или 3,5 м от поверхности забоя в зависимости от выхода летучих

Однако для него, как и для некоторых других, характерно отождествление пластически деформируемого объема с упруго деформируемым, т. е. принимается, что деформация однородна по всему исследуемому объему.

На практике наблюдается локализация пластических деформаций, закономерности развития которых в породах не изучены. Имеются косвенные данные об изменчивости объема  $\Delta V_{\text{пл}}$  при пластическом деформировании, о степени дробления и энергоёмкости разрушения.

Таким образом, авторы предлагают следующие пути совершенствования способов прогноза выбросов породы и газа:

надежное определение слоев или зон, являющихся концентраторами напряжений, по поглощению упругих волн;

оценка энергоёмкости разрушения слоев для наиболее неблагоприятных условий нагружения и нахождения критериальных значений энергоёмкости. Решение первой задачи не вызывает особых затруднений, а решение второй сопряжено с рядом проблем, связанных с недостаточной изученностью поведения горных пород в объемном неравнокомпонентном поле сжимающих напряжений. Исследования в этом направлении будут способствовать созданию надежного метода прогноза выбросов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Николин В. И., Лысков Б. А., Ткач В. Я.* Прогноз выбросоопасности угольных и породных пластов. — Донецк: Донбасс, 1972. — 126 с.
2. *Тангаев И. А.* Энергоёмкость процессов добычи и переработки подземных ископаемых. — М.: Недра, 1986. — 231 с.
3. *Петухов И. М., Линьков А. М.* Механика горных ударов и выбросов. — М.: Недра, 1983. — 280 с.
4. *Рейбинер П. А., Шрейнер Л. А., Жигач К. Ф.* Понижители твердости в бурении. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1944. — 199 с.

веществ  $V^{daf}$  (менее 15%, 15—20, 20—30, более 30%) равно или выше критического значения  $q_{\text{нк}}$ , достигающего 5 л/мин, 4,5, 4, 4,5 л/мин.

В 1983 г. принята Временная инструкция [3], по которой зона пласта относится к выбросоопасной, если  $q_{\text{н}}$  в интервале его снижения превышает критическое значение  $q_{\text{нк}}$  или  $q_{\text{н}} < q_{\text{нк}}$ , но допустимая глубина выемки  $l_{\text{в}}$  меньше ее величины за цикл. Макнии рекомендует [4] определять  $q_{\text{нк}}$  в зависимости от глубины разработки пластов и величины  $V^{daf}$  (при глубине 400—1100 м и  $V^{daf} = 4 \dots 35\%$  газовыделение  $q_{\text{нк}} = 1,7 \dots 18,4$  л/мин).

Для герметизации шпуров и измерения  $q_{\text{н}}$  на практике используются приборы ЗГ-1, ПГШ-1 и ПГ-2ма. К сожалению, ни одной из инструкций не регламентируются средства измерения  $q_{\text{н}}$ , хотя очевидно, что объективность метода текущего прогноза выбросоопасности определяется достоверностью  $q_{\text{н}}$ .

Анализ результатов многих исследований показывает, что величина и характер изменения  $q_{\text{н}}$  по длине шпура зависят от качества герметизации камеры шпура и избыточного давления в ней, а последнее — от аэродинамического сопротивления средств измерения. Поэтому о действительной величине и характере изменения  $q_{\text{н}}$  судить по данным, полученным с помощью применяемых методов и средств герметизации камеры и измерения  $q_{\text{н}}$  при проведении текущего прогноза выбросоопасности пластов, не представляется возможным.

Несмотря на указанные недостатки, при периодических просмотрах Инструкции принимаются рекомендации по текущему прогнозу выбросоопасности пла-