УДК 622.235.535

Прогнозирование горных ударов на основе энергетического критерия

О. А. ВОВК,
канд. техн. наук
(НТУУ «КПИ»)

Рассмотрены некоторые методы прогнозирования опасных динамических явлений. Достоверность прогнозных оценок предлагается повышать с помощью метода на основе энергетического критерия, а также используя несколько методов одновременно.

Горные удары и внезапные выбросы угля, пород и газа сопровождаются эмиссией в окружающий массив упругой энергии в виде сейсмических волн значительной интенсивности. Последствия горно-динамических явлений (ГДЯ), сопутствующих подземным разработкам, – разрушение и повреждение подземных и поверхностных объектов, нарушение технологии угледобычи и т. п. Поэтому прогнозирование ГДЯ в целях предотвращения либо снижения их интенсивности актуально, представляет собой комплексную научно-техническую и методическую задачу, осложненную неоднородностью литологических параметров и условий залегания угольных пластов, разнообразием технологий их вскрытия и разработки.

Известны методы прогнозирования, учитывающие различные критерии: деформационный; на основе акустической эмиссии; по выходу бурового шлама и его гранулометрического состава [1]; энергетический и др. [2]. Исходя из данных практических исследований, следует констатировать, что ни один из указанных методов не может полностью удовлетворять специалистов угольных предприятий в качестве основы для принятия мер по предотвращению горных ударов и выбросов, максимально безопасного и эффективного ведения горных работ. Поэтому цель данной работы – анализ одного из перспективных научно обоснованных методов прогнозирования по энергетическому критерию. С помощью этого метода можно достоверно оценить вероятность события и характер его проявления в конкретных горнотехнических условиях.

Если считать массив горных пород, в который внедряется выработка любого назначения, единой системой, имеющей определенный запас потенциальной энергии упругого деформирования, изменяющейся под влиянием горных работ, упрощается определение природы горных ударов и энергетические особенности их разновидностей.

Исходными положениями для анализа различных вариантов энергетических схем прогнозов могут служить значения потенциальной энергии угля и вмещающих пород, а также механизм ее перераспределения при развитии горных работ и возникновении горных ударов. Очистная выемка угля сопровождается выделением энергии из разрушаемого массива вмещающих пород пропорци-

онально глубине нахождения пласта (за счет гравитационного градиента) [4]. Например, если угольный пласт мощностью 1 м находится на глубине 1000 м, выемка 1 м^3 угля сопровождается высвобождением энергии, количественно равной $90 \cdot 10^3$ кДж. При нагрузке на лаву 500 т/сут выделяется $30{,}6 \cdot 10^6$ кДж энергии. Она является частью общей потенциальной энергии, характерной для угля либо вмещающих пород.

Общая потенциальная упругая энергия состоит из объемной энергии $E_о^{уд}$ и энергии формоизменения $E_ф^{уд}$ [3], т. е.

$$E_{общ}^{уд} = E_о^{уд} + E_ф^{уд} = \frac{1-2\nu}{\sigma E}\sigma_{сж}^2 + \frac{1+\nu}{3E}\sigma_{сж}^2, \qquad (1)$$

где ν – коэффициент Пуансона;

E – модуль упругости, Па;

$\sigma_{сж}$ – прочность породы на сжатие, Па.

Полный баланс энергии динамического разрушения в очаге $E_{уд}$ представим в виде суммы:

$$E_{уд} = E_{к1} + E_р + E_т + E_у^{ост}, \qquad (2)$$

где $E_{к1}$ – энергия динамических эффектов, затраченная на обеспечение высокой скорости деформации (кинематическая) и на колебательные процессы (сейсмическая);

$E_р$ – энергия разрушения горной породы;

$E_т$ – энергия, потраченная на преодоление сил трения при смещении одной части массива относительно другой по плоскости разрушения;

$E_у^{ост}$ – энергия, которая остается после завершения процесса динамического разрушения, колебаний породы и трения.

Некоторое представление о составляющих баланса энергии дает схема, приведенная на рис. 1.

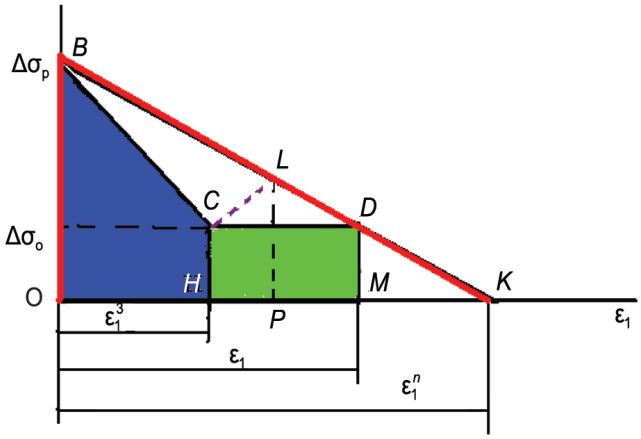

Рис. 1. Схема к расчету баланса энергии при газодинамических явлениях [1].

Энергия разрушения (см. рис.1, *OBCH*)

$$E_р = \Delta\sigma_{ост}\varepsilon_1^3 + 0{,}5\varepsilon_1^3\left(\Delta\sigma_р - \Delta\sigma_{ост}\right) = \\ = 0{,}5\varepsilon_1^3\left(\Delta\sigma_{1р} - \Delta\sigma_{1ост}\right), \qquad (3)$$

где $\Delta\sigma_{ост}$ – остаточные напряжения в разрушенном массиве;

$\Delta\sigma_р$ – критические напряжения разрушения;

ε_1 – энергия динамических эффектов;

ε_1^3 – энергия разрушения.

Энергия трения (см. рис. 1, *HCDM*):

$$E_т = \Delta\sigma_{1ост}(\varepsilon_1 - \varepsilon_1^3). \qquad (4)$$

В связи с тем что минимальное главное напряжение вследствие увеличения бокового отпора может возрастать, увеличивается и сопротивление сдвига (штриховая линия *CL* на рис. 1). Тогда $E_т$ можно графически представить участком *HCLP*.

Энергия динамических эффектов равна потенциальной $E_у$ (участок *OBK*) за вычетом энергий разрушения и трения, т. е.

$$E_{к1} = E_у - E_р - E_т. \qquad (5)$$

Наиболее существенный момент в расчетах – необходимость выявления сейсмической энергии, поскольку при глубинных ударах сейсмические волны представляют главную опасность для подземных и поверхностных объектов вокруг эпицентра горного удара. Количественную оценку этой составляющей баланса энергии можно дать лишь приблизительно из-за отсутствия надежной методики расчета, поскольку требуется учитывать много факторов (например, свойства пород, технология ведения горных работ, конфигурация очага, масштаб явления и т. п.). Специалисты рекомендуют оценивать сейсмическую энергию в процентах к общей энергии горного удара, руководствуясь, в основном, масштабным фактором. Так, в работе [4] ее значение применительно к угольным разработкам рекомендуется принимать в пределах 1 – 2 % общей энергии, а для расчета в конкретных условиях одной из шахт Силезского угольного бассейна (Республика Польша) этот показатель принят равным 1,5 % полной энергии очага.

Следует учитывать, что в каждом конкретном случае доля сейсмической энергии будет зависеть от абсолютных значений $E_{уд}$. Некоторые ученые отмечают [3] , что для очень сильных горных ударов она может составлять 3 % и более. При изучении горных ударов на рудниках было отмечено, что тенденция роста процента сейсмической энергии сохраняется, но по абсолютным значениям намного больше. Мощные и особо мощные горные удары, по

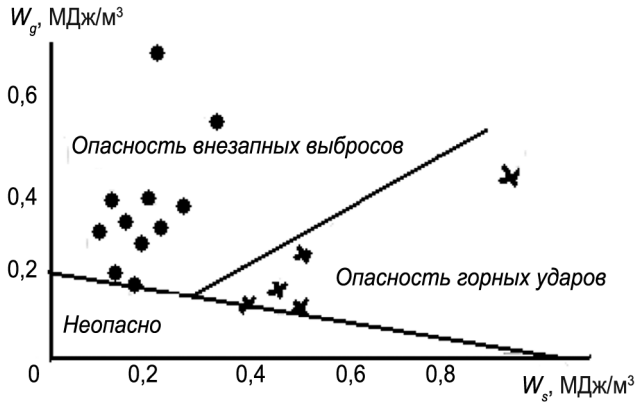

Рис. 2. Диаграмма опасности внезапных выбросов (●) и горных ударов (✱) по энергетическому критерию.

данным Е. И. Шемякина [1], могут эмитировать в сейсмические колебания более 11 % $E_{уд}$.

Для прогнозирования внезапных выбросов и горных ударов в газонасыщенных угольных пластах используется физическая модель, которая предусматривает два условия возникновения события:

потерю устойчивости краевой зоны пласта, прилегающей к горной выработке;

последующее лавинное разрушение за счет быстрого высвобождения энергии угля и газа. Эти условия объединяет следующее соотношение – один из критериев удароопасности

$$B = \frac{\left(\alpha_1 W_g + \alpha_2 W_s\right) l_0}{l_1} \geq 1, \qquad (6)$$

где α_1, α_2 – экспериментальные коэффициенты, учитывающие энергоемкость разрушения и диссипацию энергии;

W_g – эффективная энергия газа, принимающего участие в газодинамическом явлении, МДж/м^3;

W_s – энергия упругого восстановления угольного пласта, МДж/м^3;

l_0 – сменное подвигание забоя или глубина заходки при выемке залежи лавой;

l_1 – размеры зоны разгрузки и дегазации краевой части угольного пласта.

Если $B \geq 1$, то угольный пласт из-за проявлений ГДЯ опасен, если $B \leq 1$, опасность незначительна либо полностью отсутствует. Данное положение справедливо для типичных горных ударов в шахтах, когда происходит внезапное разрушение угля в лавах, в том числе при наличии метана.

На рис. 2 приведена комплексная диаграмма, с помощью которой можно предварительно оценить вероятность динамических проявлений в зависимости от соотношения энергетических составляющих согласно критерию B.

Выводы. Изложены некоторые методы прогнозирования опасных динамических событий, разработанные исходя из предварительной оценки состояния нетронутого массива горных пород и угля, его состояния вблизи выработок, а также энергетического баланса и условий потери устойчивости. Установлено, что достоверность и надежность прогнозирования значительно повышаются при выполнении оценок методом прогнозирования на основе энергетического критерия, а также несколькими методами одновременно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вплив* підземних гірничих робіт на стан довкілля / О. О. Вовк, В. М. Ісаєнко, В. Г. Кравець [и др.]. – К.: Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2011. – 543 с.

2. *Вовк А. А.* Развитие энергетики в Украине с учетом техногенной и экологической безопасности / А. А. Вовк, Л. И. Демещук, Ю. И. Шульга. – К.: ННИИПБОТ, 2011. – 220 с.

3. *Chudek M.* Geomechaka z podstawami ochorony srodowiska gorniczego i powierzchni terenu. – Gliwice: Wyd. Politechniki Slaskiej, 2002. – 637 s.

4. *Chudek M.* O propogacji energii sejsmicznej przy procesach dynamicznych / M. Chudek, O. A. Wowk, A. A. Kuzmenko // Zeszyty naukove politechniki Slaskiej. Ser. Gornictwo. – 2004. – S. 59–69.

5. *Goszcz A.* Elementy mechaniki skal tapania w polskich kopalniach wagla i medi / A. Goszcz // BSEP. Ser. Z lampka gornicza. – 2006. – № 2. – S. 112–134.