

9. Пономарчук В.А., Лебедев Ю.Н., Шевченко Д.О., и др. (ОИГГМ СО РАН) Микрогеохимическая неоднородность природных минералов. Материалы 18-ого Съезда Международной минералогической ассоциации [ponomar@uiggm.nsk.ru](mailto:ponomar@uiggm.nsk.ru); тел.: 7-3832-333133, факс: 7-3832-332792

10. Мозгова Н.Н., Гликин А.Э., Соколова Е.В. Геология рудных месторождений, 2003, т.45, №3, с. 2

УДК 624.121.532

## **ВОПРОСЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И СНИЖЕНИЯ ОПАСНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Ремез Н.С., Вовк О.А., Вапничная В.В.**

*Национальный технический университет Украины “КПИ”, Украина, г. Киев*

*Рассмотрены вопросы прогнозирования и снижения опасности возникновения и развития динамических процессов; предложена эффективная схема ведения горных работ, позволяющая снизить проявления горного давления, газонасыщенность смежных пластов, регулировать процессы накопления и высвобождения упругой энергии; выбран эффективный метод снижения опасности возникновения горных ударов взрывной обработкой угля и вмещающих пород в районе горных выработок зарядами различного действия, торпедирования и др.*

Общая тенденция развития угольной промышленности Донбасса, приводящая к вынужденному увеличению глубины разработки угольных залежей, ставит, в качестве одной из главных научно – технических проблем, проблему заблаговременной оценки и прогноза удароопасности, своевременное выявление месторождений с угрозой возникновения опасных динамических явлений.

Большую роль играет разработка мероприятий по рациональному управлению геомеханическими процессами, способствующими снижению напряженности в породном массиве или пласте угля, путем перемещения зоны опорного давления вглубь массива и т.п. В результате обобщения и анализа практического материала специалистами выработаны разнообразные критерии оценки степени удароопасности и методы их локализации с доведением до безопасных уровней интенсивности. Разумеется, изучив напряженное состояние нетронутого массива того или иного месторождения, невозможно серьезно ставить вопрос о прогнозе степени его удароопасности и выборе общих подходов к его безопасной разработке. Помимо различных критериев оценки склонности к горным ударам, описанных нами в работе [3] следует упомянуть ещё несколько признаков, основанных на определении критических уровней гравитационных напряжений в нетронутом массиве в сочетании с некоторыми характерными свойствами пород.

На основе анализа обширных практических материалов, установленных ряд гравитационных и энергетических критериев, позволяющих оценить вероятность возникновения динамических процессов. Один из них – геомеханический показатель условий заложения выработки – основан на соотношении гравитационного давления на пласт и прочности угля на сжатие:

$$K_{\min} = \frac{\rho H_0}{\sigma_{сж}}, \quad (1)$$

где  $H_0$  – глубина, на которой замечены признаки таких проявлений;  $\rho$  – гравитационный градиент, который для некоторых сланцев является прочностью на сжатие до 18 МПа находится в пределах (24,3–25,6) для песчаников при прочности  $\sigma_{сж} = 80,3 \text{ МПа} \cdot 24,5 - 25,3 \frac{\text{кПа}}{\text{м}}$ ;  $\sigma_{сж}$  – прочность угля на сжатие, МПа.

Из (1), зная шкалу значений  $K_{\min}$  можно получить зависимость минимальной глубины ( $H_0^{\min}$ ):

$$H_0^{\min} = \frac{K_{\min} \cdot \sigma_{сж}}{\rho}. \quad (2)$$

В условиях залегания угольных пластов на умеренных глубинах гравитационный градиент может быть принят в среднем равным  $25 \frac{\text{кПа}}{\text{м}}$ .

Для условий разработки мощных угольных залежей (6 – 15 м) в зависимости от крепости угля  $K_{\min}$  может изменяться от 0,25 до 0,8.

Такую оценку, наряду с другими методами прогноза, можно осуществлять перед началом проектирования горного предприятия по данным лабораторных испытаний отобранных кернов из разведочных скважин. Если месторождение уже вскрыто горными работами, степень удароопасности отдельных участков породного массива можно оценивать по величине коэффициента ВНИМИ  $K_{\sigma}$ , характеризующего относительную напряженность пород вблизи обнажения выработки. Он представляет собой отношение максимального усилия вдавливания индентора на момент хрупкого выкола породы при бурении скважины ( $P_{\max}$ ) к минимальному значению ( $P_{\min}$ ), определяемому на глубине 0,7 – 0,8 м, т.е.:

$$K_{\sigma} = \frac{P_{\max}}{P_{\min}}. \quad (3)$$

За критерий потенциальной угрозы принимается неравенство  $K_{\sigma} \geq 1,5$ , зафиксированное на расстоянии от свободной стенки выработки

до 1,5 м. Можно также этот показатель сопоставить с коэффициентом хрупкости ( $K_{xp}^M$ ), определяемом в массиве с помощью скважинных приборов.

Рассмотрим картину напряженно – деформированного состояния призабойного пространства и расчётные схемы вычисления основных параметров (рис. 1).

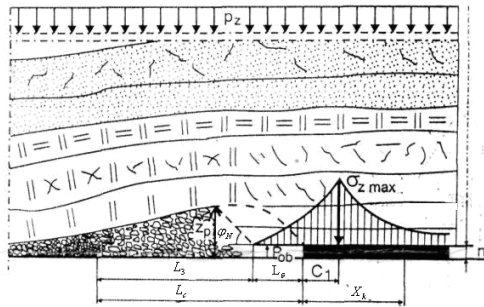


Рис. 1. Схема деформации пород кровли в призабойном пространстве при управлении кровлей с обрушением:

$m$  – мощность пласта;  $R_{сж}, R_p$  – средняя прочность пород кровли соответственно на сжатие и растяжение;  $R_{z\max}$  – максимальное напряжение сжатия в зоне опорного давления перед фронтом эксплуатации;  $P_z$  – литологическое давление (рН);  $Z_N$  – угол дезинтеграции пластов кровли, обрушаемых на всю высоту  $Z_p$ ;

$Z_N$  изменяется в пределах  $24^0 - 28^0$  (при весьма слабых породах достигает  $Z_N^{\max} \approx 33^0$ ).

Ширина свода обрушения ( $L_s$ , рис. 1) может быть найдена из соотношения:

$$L_s = 21m \sqrt{\frac{R_p}{\rho H}} = 4,6m \sqrt{\frac{R_{сж}}{\rho H}}, \text{ м}, \quad (4)$$

Ширина зоны обрушения ( $L_3$ ), при которой происходит полный завал, равна:

$$L_3 = 14m \sqrt{\frac{R_p}{\rho H}} = 3m \sqrt{\frac{R_{сж}}{\rho H}}, \text{ м}, \quad (5)$$

Безопасная длина участка кровли над рабочей зоной равна:

$$L_6 = 7m \sqrt{\frac{R_p}{\rho H}} = 1,53m \sqrt{\frac{R_{сж}}{\rho H}}, \text{ м}, \quad (6)$$

Ширина зоны концентрации напряжений в призабойной части пласта ( $X_K$ ) может быть определена по следующей формуле:

$$X_K = 12,6m \sqrt{\frac{\rho H}{R_{с.ж}}} = 2,7m \sqrt{\frac{\rho H}{R_p}}, \quad (7)$$

Ширину призабойной части пласта от края до максимума напряжений ( $C_1$ ) находим из выражения:

$$C_1 = 2,3m \sqrt{\frac{\rho H}{R_{с.ж}}} = 0,5m \sqrt{\frac{\rho H}{R_p}}. \quad (8)$$

На рис. 2 приведена схема, иллюстрирующая развитие деформационных процессов в зоне опорного давления А длиной  $X_K$  до реализации их в виде горного удара.

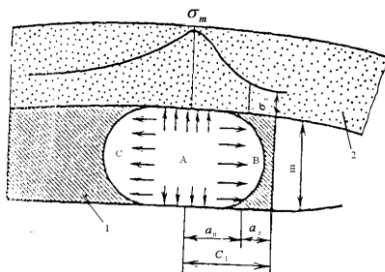


Рис. 2. Схема возникновения горного удара в угольном пласте  
1 – угольный пласт мощностью  $m$ ; 2 – пласт (слой) вмещающих пород кровли.

В этой зоне А, при достижении максимальной нагрузки  $P_m$ , превышающей предельную величину  $P_n$ , которую может выдерживать нагружаемый участок пласта, происходит разрушение материала, сопровождающееся мгновенным переходом потенциальной энергии в кинетическую. Следствием этого процесса является выброс части материала зоны В (участка  $a_{II}$ , где деформация происходит на падающем отрезке опорного напряжения) в выработку и удар в сторону целика (зоны С) и в сторону кровли и почвы, сопровождающийся эмиссией сейсмических колебаний. Более общая концепция развития и реализации динамических событий (куда причисляются также внезапные выбросы) исходит из рассмотрения системы «кровля – пласт», соотношения их потенциальных энергий, перераспределения в связи с изменившимися обстоятельствами. В условиях разработки угольных месторождений Донбасса, с характерными большими глубинами разработки и умеренной мощностью пластов [6] вероятными при определенных сочетаниях (литологических) прочностных и энергетич-

ческих параметров будут как внезапные выбросы, так и горные удары. Напомним об одном из критериев оценки этих проявлений по соотношению энергетических параметров: энергии упругого восстановления пласта  $W_s$  и эффективной доли энергии газа в процессе газодинамического события  $W_g$ . Эти параметры могут быть найдены из следующих соотношений:

$$W_s = \frac{(K\sigma)^2}{2E}, \quad (9)$$

где  $K$  – эмпирический коэффициент;  $\sigma$  – давление налегающей породной толщи;  $E$  – модуль упругости.

$$W_g = (9,3X - 0,01)X\varepsilon_{30}\rho, \quad (10)$$

где  $X$  – газоносность пласта,  $m^3/m$ ;  $\varepsilon_{30}$  – коэффициент газоотдачи, показывающий какая часть газа может выделиться из угля, разрушенного до  $g = 0,75$  см за среднее время выброса  $30c$ ;  $g$  – приведенный радиус частиц угля в начальной стадии выброса;  $\rho$  – плотность угля.

При соотношении  $\frac{W_s}{W_g} \geq 2$ , например  $\frac{0,4}{0,2}, \frac{0,6}{0,3}$  либо  $\frac{0,8}{0,4}$  и сумме

$W_s + W_g > 0,4$  возможны как внезапные выбросы, так и горные удары. Среди мероприятий организационного и технологического характера, предупреждающих либо снижающих опасные последствия динамических проявлений, можно назвать взрывные методы обработки призабойного участка: сотрясательное, камуфлетное, камуфлетно – сотрясательное, камуфлетно – отбойное взрывание и некоторые другие. Задачей взрывных технологий есть: а) предварительная дезинтеграция труднообрушаемых пород; б) возбуждение горного удара в заданное время и в желаемом месте расположения очага; в) снятие критического напряжения в зоне А (рис. 3) и перемещения максимума давления передней пяты свода вглубь массива; г) ослабление напряжений с одновременным разрыхлением призабойной полосы угля до стадии, пригодной к погрузке; д) снижение напряжения в массиве угля с отбрасыванием угля от очистного забоя с применением двухстадийного (двухъярусного) взрывания.

Эффективность рассматриваемых методов зависит от того, насколько тщательно и обоснованно будут выполнены расчеты параметров взрывных работ в каждом конкретном случае для обеспечения оптимальных параметров зон трещинообразования, разрушения, релаксации напряжения, снижения порового давления и т.п. при минимальной интенсивности эмиссии сейсмических колебаний в направлении подземных горных выработок. В качестве примера приведём несколько схем взрывного воздействия на разрабатываемый угольный пласт и вмещающие породы с целью регулирования геомеханических процессов, направленного на обеспечение

безопасности технологий угледобычи в сложных горно – геологических условиях. На рис. 3 – 6 приведены несколько вариантов взрывания в угольном массиве и кровле очистного забоя. Торпедирование угольного пласта (рис. 3, а) скважинами, пробуренными вдоль забоя из транспортного штрека 1, либо из призабойного пространства более короткими скважинами (рис. 3, б). Данная схема используется при наличии геологических нарушений (рис. 3, б), флексуры зон с интенсивно раздробленным углём. При составлении паспорта буровзрывных работ должны выполняться ряд требований: при наличии геологического нарушения по всей длине лавы концы зарядов должны быть на расстоянии ближе 5 м от откаточного и вентиляционного штрека, если оно меньше длины лавы, то заряды помещают на 10 м выше и ниже нарушения. В скважинах, пробуриваемых из призабойного пространства (рис. 3, б), заряды должны быть на 5 м короче глубины скважины. Как вариант предлагается двухъярусная схема. Первый ярус – подготовительный, представлен шпурами глубиной 0,6 – 1,3 м, второй ярус – скважины глубиной 8 – 10 м. Взрыванием шпуров первого яруса уголь разрыхляется и частично отбрасывается от забоя, вторым ярусом выполняется задача ослабления напряжения в призабойной полосе угла с перемещением зоны концентрации вглубь массива.

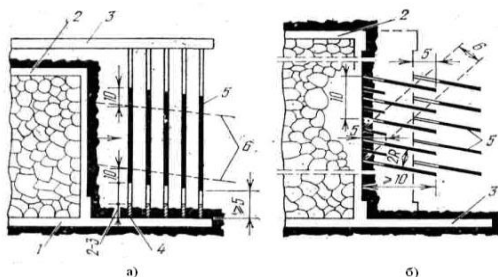


Рис. 3. Торпедирование угольного пласта зарядами ВВ

Следующая схема (рис. 4) представляет собой вариант сотрясательно – камуфлетно – отбойного взрывного воздействия для провоцирования отжима угля или горного удара. Главным требованием, при этом, является обеспечение таких направлений распространения ударной волны в массиве, чтобы угол встречи её фронта был как можно ближе к  $90^0$  по отношению к плоскости максимальных напряжений.

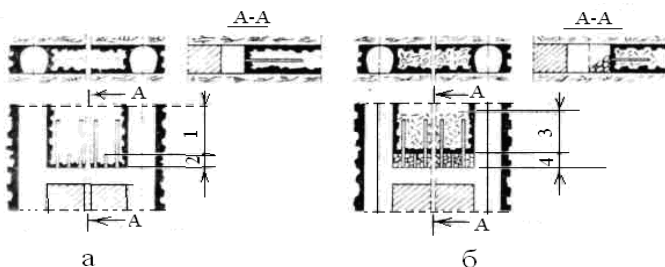


Рис. 4. Схема сотрясательно – камуфлетно – отбойного взрыва  
 а – положение перед взрывом; б – положение после взрыва;  
 1 – зона предусмотренного ослабления напряжений; 2 – забой до выемки;  
 3 – зона ослабленных напряжений; 4 – отбитый уголь.

На рис. 5 изображен один из возможных вариантов использования энергии взрыва для управляемого обрушения кровли в крепких труднообрушаемых породах с целью снижения прочности и способности накапливать упругую энергию. Из двух возможных способов дезинтеграции пород кровли – мелкошпурового и длинными скважинами – последний представляется предпочтительней, поскольку может реализовываться ещё до начала очистных работ.

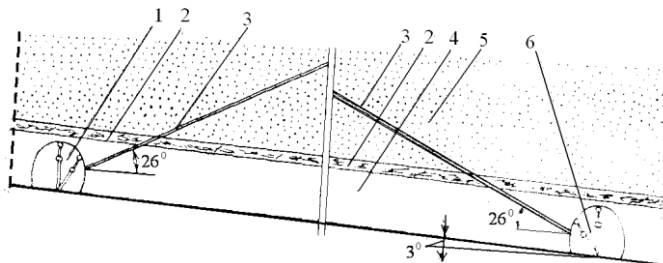


Рис. 5. Расположение скважины в кровле:  
 1 – транспортный штрек; 2 – слой глинистого грунта; 3 – скважины;  
 4 – угольный пласт; 5 – песчаник; 6 – околоствольный штрек.

Длина скважины может приниматься до 90 м диаметром 6-150 мм. В результате взрыва таких скважинных зарядов происходит дезинтеграция слоёв кровли с образованием серии трещин желательно в направлении, близком к линии кровли и пласта. Самой масштабной технологией, направленной на предотвращение горных ударов, является торпедирование кровли массовыми взрывами большого количества глубоких скважин, выбу-

риваемых в лавах. Заряды в них размещаются примерно на  $2/3$  длины (примерно 20 – 25 м), остальная часть заполняется забойкой.

На рис. 6 приведена схема разгрузки призабойной части угольного пласта скважинными зарядами длиной  $l_{зар}$ , размещенными в скважинах глубиной  $Z_c$ . До начала работ по бурению и взрыванию скважин картина напряженного состояния призабойной части пласта выглядит следующим образом. За счёт релаксации напряжений (а также дегазации) участок пласта на глубине, равной  $c_1$  (рис. 1), находится в состоянии неравномерной разгрузки от  $\sigma_{\max}^z$  до значения на линии забоя  $\sigma \leq \sigma_z$ . За этой зоной участок пласта длиной  $x_{к-с1}$  испытывает напряжения, превышающие  $\sigma_z$ , т.е. является частью зоны концентрации напряжений от  $\sigma_{\max}$  до  $\sigma_z$ . Весь участок пласта на глубину  $x_k$  представляет собой зону концентрации напряжений и должен быть подвергнут разгрузке путём образования трещин с помощью взрывания заряженных скважин ударной волной цилиндрической части и двумя импульсами вдоль оси от торцевых частей заряда. Таким образом, для того, чтобы разместить заряд ВВ в зоне концентрации напряжений  $x_k$ , необходимо бурить скважины на глубину  $Z_c$  (рис. 6), равную ширине зоны разгрузки  $Z_p$  за вычетом длины участка  $l_T$ .

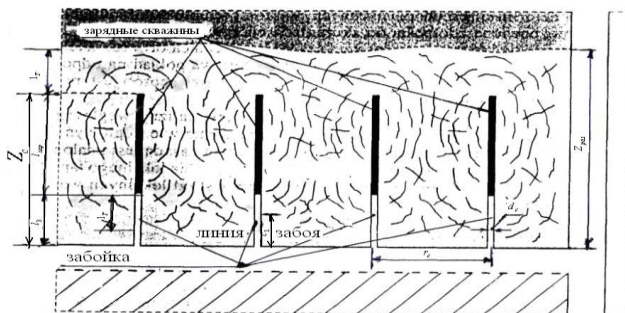


Рис. 6. Схема разгрузки угольного призабойного массива скважинами ПММ зарядами:  $Z_c$  – длина скважины;  $l_3$  – длина забойки;

$Z_{раз}$  – зона разгрузки;  $r_c = 2r_T$  – расстояние между скважинами;

$r_T$  – радиус трещины

Из числа технологических мероприятий по борьбе с горными ударами можно назвать три главных метода, с помощью которых можно воздействовать на механизм зарождения и проявления события: а) управление



кровлей с помощью закладки выработанного пространства; б) регулирование процесса накопления и высвобождения упругой энергии через оптимизацию скорости подвигания забоя; в) при эксплуатации группы пластов мероприятия, связанные с использованием защитных пластов в восходящем, нисходящем и смешанном порядке обработки пластов в свите. Установлено, что эффективным методом снижения опасности возникновения горных ударов, как следствия притока энергии извне в призабойную зону и создания очагов концентрации упругих сил до критических уровней, является взрывная обработка угля и вмещающих пород в районе горных выработок зарядами камуфлетного, камуфлетно–отрясательного, камуфлетно–отбойного действия, торпедирования и др.

#### Литература

1. Chudek M. Geomechanika z podstawami ochrony srodowiska gorniczego i powierchi terenu / Chudek M. – Geivice: Wyd. Politechniki seaskiej, 2002. – 637 s.
2. Петухов И.М. и др. Расчётные методы в механике горных ударов и выбросов – М.: Недра, 1992. – 257 с.
3. Вовк О.А. Прогнозування гірських ударів і критеріїв оцінки ударнебезпеки / О.А. Вовк // Проблеми охорони праці в Україні: Збірник наукових праць. – К.: ДУ «ННДУПБОП», 2012. – Вип. 22. – С. 80 – 89.
4. Вовк О.А. Прогнозирование горных ударов на основе энергетического критерия // Уголь Украины, 2012, № 3. – С. 25 – 27.
5. Пособие для служб прогноза и предотвращения горных ударов на шахтах и рудниках. – М.: Недра, 1995. – 240 с.
6. Вовк А.А. Развитие энергетики в Украине с учётом техногенной и экологической безопасности / Вовк А.А., Демещук Л.И., Шульга Ю.И. – К.: ННИИПБОТ, 2011. – 220с.
7. Михалюк А.В. Торпедирование и импульсный гидроразрыв пласта / А.В. Михалюк. – К.: Наукова думка, 1986. – 208 с.
8. Вовк О.О., Исаенко В.М., Кравець В.Г., Вовк О.О.(мол.) Вплив підземних гірничих робіт на стан довкілля:[монографія] НПУ ім. М.П. Драгоманова. – К.: Вид – во НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2011. – 543 с.

УДК 622.02: 539.375

### **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ НЕВЗРЫВЧАТОЙ САМОРАСШИРЯЮЩЕЙСЯ СМЕСИ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ ПРИ ОБЪЕМНОМ НАГРУЖЕНИИ**

<sup>1</sup>Сахно И.Г., <sup>2</sup>Молодецкий А.В., <sup>3</sup>Исаенков А.А.

<sup>1</sup> Донецкий национальный технический университет, <sup>2</sup> Институт физики горных процессов НАНУ, <sup>3</sup> Красноармейский индустриальный институт Донецкого национального технического университета

*В статье приведены результаты лабораторных испытаний затвердевшего в условиях ограниченных перемещений образца невзрывчатой разрушающей смеси (НРС) в объемном поле напряжений. Экспериментально на (УНТС) определены*