

УДК 622.831.327

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОВЫБРОСНЫХ
МЕРОПРИЯТИЙ**

**д.т.н. Стариков Г.П., асп. Бойко А.Н., вед. инж. Мельников Д.В.
(ИФГП НАН Украины)**

В статті приведений критичний аналіз фізичних основ існуючих і перспективних методів контролю ефективності противикудних технологій і також шляхи їх вдосконалення

**PROSPECTS OF PERFECTION OF EXISTENT METHODS OF
CONTROL OF EFFICIENCY OF ANTI-EJECTIONS MEASURES**

Starikov G.P., Boyko A.N., Melnikov D.V.

In the article the critical analysis of physical bases of existent and perspective methods of control of efficiency of anti-ejections technologies and also way of their perfection is resulted

Газодинамическое состояния призабойной части пласта определяет как газовыделение из источника «разрабатываемый пласт» так и вероятность выброса угля и газа. Оценка газодинамической активности является неотъемлемой частью существующих способов борьбы с газодинамическими явлениями (ГДЯ).

Поскольку противовыбросные мероприятия, как правило, комплексно влияют на основные факторы выбросоопасности (газ, напряженное состояние, физико-механические свойства) то и способы контроля эффективности должны интегрально учитывать степень их снижения. Исходя из этого требования проведен критический анализ физических основ, используемых и перспективных методов оценки газодинамической активности пластов и показаны пути их совершенствования.

Согласно требованиям [1], для контроля эффективности способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа в Донецком бассейне применяются следующие методы:

- для локальных способов – начальная скорость газовыделения из контрольных шпуров и акустический прогноз;

Прогноз и управление состоянием горного массива

- для региональных способов – сейсмоакустический прогноз, а при увлажнении с добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ) – процентное содержание водо-метанового флюида в угле.

В шахтах восточных и северных бассейнов и месторождений контроль эффективности осуществляют в соответствии с методикой текущего прогноза выбросоопасности по начальной скорости газовой выделению и выходу бурового штыба из шпуров.

Способ контроля эффективности по газодинамике включает в себя два подхода: по начальной скорости газовой выделению и по результатам поинтервальных измерений газовой выделению. В первом случае, согласно [1, 11], измерения начальной скорости газовой выделению производят через каждые 0,5 м по длине контрольного шпура, которые начинают при достижении глубины 1,0 м. Затем на каждом интервале буровую штангу извлекают, в контрольный шпур вводят газозатвор и герметизируют измерительную камеру длиной 0,2 м. Оценку начальной скорости газовой выделению производят не позднее, чем через 2 минуты после окончания бурения данного интервала. Наблюдения прекращают на интервале, на котором начальная скорость газовой выделению снизилась, по сравнению с предыдущим интервалом, не менее чем на 15%.

Мероприятия считаются эффективными, если величина разгруженной и дегазированной зоны в призабойной части пласта, определенная по динамике газовой выделению, превышает глубину заходки, вынимаемой за один рабочий цикл, не менее чем на 1,0 м.

Второй подход заключается в поинтервальном определении скорости газовой выделению в контрольный шпур для определения величины разгруженной зоны призабойной части пласта по изменению начальной скорости газовой выделению и сравнении этой величины с критическим значением, принятым для данного шахтопласта.

Измерения должны производиться через каждые 0,7 м по длине контрольного шпура. При достижении глубины шпура 1,0 м, а затем через каждые 0,7 м (1 м, 1,7 м, 2,4 м, и т.д.) бурение приостанавливают, извлекают буровую штангу, вводят в шпур газозатвор и производят измерение скорости газовой выделению расходомером ПГ-2МА не позднее, чем через 2 мин. после окончания бурения каждого интервала шпура. По изменению начальной скорости газовой выделению по длине контрольного шпура определяют величину зоны разгрузки призабойной части пласта – l_p . Разгруженной зоной считается участок пласта от устья шпура до точки замера начальной скорости га-

зовыделения в интервале снижения. Если интервал снижения не обнаружен, разгруженная зона равна длине контрольного шпура. Разгруженная зона включает допустимую глубину выемки l_e и неснижаемое опережение l_n , которое должно быть не менее 1 м.

Научная основа этих методов базируется на результате фундаментальных исследований, приведенных в работах [2, 3] показывающих, что скорость истечения метана (g_m) из загерметизированной скважины, пробуренной в угольный массив прямопропорционально давлению газа в ней ($P_{скв}$), которое функционально связано с пластовым давлением ($P_{пл}$) соотношением $P_{скв} = (0,5-0,6) P_{пл}$. В свою очередь $P_{пл}$ может быть определено [4]:

$$P_{пл} = \frac{1}{2} \frac{P_a T_a}{b T} \frac{1}{\gamma_o + \gamma_z} \left\{ b(Q-a) - \frac{1}{P_a} \frac{T}{T_a} (\gamma_o + \gamma_z) + \sqrt{\left[b(Q-a) - \frac{1}{P_a} \frac{T}{T_a} (\gamma_o + \gamma_z) \right]^2 + 4 \frac{b}{P_a} \frac{T_a}{T} (\gamma_o + \gamma_z) Q} \right\}, \quad (1)$$

где P_a – давление при нормальных условиях ($P_a = 0,1$ МПа); T, T_a – температура абсолютная и среды соответственно; a, b – постоянные сорбции; γ_o, γ_z – объем открытых и закрытых пор в угле; Q – метаносность пласта, включающая ее содержание в открытых и закрытых порах пропорционально их объему.

Анализ формулы (1) показывает, что при прочих равных условиях давление метана в угольном пласте определяется в основном поровым объемом угля. Максимальное давление и соответственно высокая скорость газовыделения достигается при отсутствии в угле закрытых пор, объем которых может составлять (0,15-0,25) м³/т [5] и минимальных значениях открытых пор. В тоже время учет закрытых пор в расчете давления резко снижает его величину и соответственно скорость истечения метана. В результате измерения g_m ее величина и степень снижения будет определяться не только эпюрой горного давления, а динамикой изменения объема закрытых пор, которые являются основным аккумулятором метана. Поскольку при выбросах угля и газа реализуется практически вся его метаноемкость [6], то наличие или отсутствие корректирующих кинетику газовыделения закрытых пор становится первостепенным фактором информативности прогноза ГДЯ. Приведенные доводы ставят под сомнение

Прогноз и управление состоянием горного массива

надежность и достоверность начальной скорости газовыделения как метода контроля эффективности противовыбросных мероприятий. Одним из возможных путей совершенствования этого метода состоит в измерении газовыделения в виде зависимости $g_m=f(t)$ на каждом интервале бурения шпуров и аппроксимация ее экспоненциальной функции. Показатель этой функции может быть критерием, учитывающий степень изменения напряженного состояния угольного массива и процессы фильтрации и диффузии метана из угля, косвенно характеризующие величину открытых и закрытых пор.

При контроле эффективности сейсмоакустическим методом [9, 10], прогностическими параметрами являются:

- частота максимальной амплитуды;
- амплитуды высокочастотной и низкочастотной составляющих.

Для определения критических значений прогностических параметров предварительно проводят разведочные наблюдения в 30 циклах подвигания очистного забоя в неопасной по выбросам зоне, установленной текущим прогнозом выбросоопасности по начальной скорости газовыделения из шпуров, или в зоне, обработанной противовыбросными мероприятиями.

Сейсмоприемник устанавливается путем расклинивания в шпурах диаметром не менее 42 мм, расположенных в угле или вмещающих породах, на глубине 0,3-1,0 м. Допускается установка сейсмоприемников на элементах крепи, если обеспечивается их надежный контакт с массивом.

Данный способ основан на явлении, что любое разрушение материала начинается и сопровождается образованием микротрещин, что может быть зафиксировано сейсмоакустической аппаратурой (по увеличению шумности). За сейсмоакустическую активность (шумность) принимается количество сейсмоакустических импульсов, регистрируемых звукоулавливающей аппаратурой в единицу времени. Способ фактически оценивает изменение напряженно-деформированного состояния углепородного массива и позволяет оценивать его поврежденность, а, в конечном счете, степень разгрузки от горного давления, принимаемого за аналог степени выбросоопасности.

Несмотря на кажущуюся универсальность и технологичность метода, тем не менее, критерии, заложенные в нем, не характеризуют степень снижения выбросоопасности угольного массива по газовому фактору, который является определяющим. Согласно [4] при

прочих равных условиях коэффициент газопроницаемости функционально зависит от степени снижения напряженного состояния. Поэтому отсутствие контроля уровня снижения напряжений и газовыделения после выполнения противовибросных мероприятий существенно снижает достоверность сейсмопрогноза.

Дальнейшее совершенствование этого метода может быть только в уточнении области применения не связанной с оценкой газодинамического состояния угольного массива.

При контроле по начальной скорости газовыделения и выходу бурового штыба контрольный шпур бурят с остановками после окончания бурения каждого интервала. Длина первого интервала составляет 0,5 м, а всех последующих – 1,0 м. Первый интервал бурят диаметром 55 мм, для установки в нем штыбомера, последующие – 42 мм через канал штыбомера.

При бурении второго и последующих интервалов с помощью штыбомера измеряют выход бурового штыба S (л/мин). После окончания бурения второго и последующих интервалов измеряют начальную скорость газовыделения g_n (л/мин). За начальную принимают скорость газовыделения, измеренную через 2 мин после окончания бурения интервала.

После окончания наблюдений по максимальным значениям начальной скорости газовыделения и выхода бурового штыба по длине каждого шпура определяется показатель выбросоопасности:

$$R = (S_{\max} - 1,8)(g_{n\max} - a) - b, \quad (2)$$

где S_{\max} – максимальный выход бурового штыба, л/мин; $g_{n\max}$ – максимальная начальная скорость газовыделения, л/мин; $a = 4$, $b = 6$.

Установлено, что при $R < 0$ – зона считается неопасной; при $R \geq 0$ – зона относится к опасной.

Основное применение этого способа – контроль эффективности защитных пластов. Однако следует отметить, что используемая методология, основанная на учете объема выбуриваемого из скважин угольного штыба, имеет значительную неопределенность. В частности, даже при отсутствии повышенных напряжений в угольном массиве на контуре скважин напряжения могут достигать значений $2\gamma H$ и более [7]. В случае, если $\sigma_{np} f(Q) < 2\gamma H$, где $\sigma_{np} f(Q)$ – прочность угля в условиях приконтурной части скважины, γH – вертикальная составляющая тензора напряжений, а Q – метаноносность угля, произойдет разрушение стенок скважины и рост ее диаметра и соответ-

Прогноз и управление состоянием горного массива

ственно повышенный выход штыба, определяющий газодинамическую активность пласта.

Учитывая, что разгрузка – это снижение напряжений менее γH , то данный способ не способен производить такую оценку. В целом, метод текущего прогноза может характеризовать уровень разгрузки защищаемого пласта и в какой-то степени снижение выбросоопасности при условии наличия информации о предельной прочности угля и его газонасыщенности до и после отработки защитного пласта.

Метод контроля по содержанию физически связанной воды оценивает степень увлажнения пласта водным раствором ПАВ через пластовые скважины по пробам угля, отбираемых из скважины, пробуренной между двумя нагнетательными, с интервалом 5 м по ее длине.

Выбросоопасные пласты считают достаточно увлажненными, если содержание физически связанной воды составляет: для угля марок Г, Ж, К – 2,5%; для угля марок ОС, Т – 2%; для марки А – 3%.

При этом зону пласта считают неопасной, если показатель газодинамической активности угля K , представленный в виде $K = Q/W$, где Q – весовое количество метана; W – весовое количество воды, составляет: для угля марок Г, Ж, К – 3; для угля марок ОС, Т – 1,5; для марки А – 0,5.

Этот метод характеризует количество упругой энергии, которая может выделиться при разрушении угля. Ее величина для углей при $W=0,5\%$ в 5-7 раз больше, чем при $W=3\%$. Примером дальнейшего совершенствования данного способа является метод определения выбросоопасности угольных пластов по комплексу физических показателей, позволяющий оценивать степень выбросоопасности и обосновывать необходимые мероприятия по предупреждению ГДЯ с контролем их эффективности.

Физическая основа метода определения степени (категории) выбросоопасности угольных пластов базируется на разработанной физической модели, связывающей развитие неустойчивого состояния призабойной зоны с количеством водно-метановой смеси в поровом объеме угля, прочностью, напряженно-деформированным состоянием и скоростью изменения вида напряженного состояния.

Критерий оценки степени (категории) выбросоопасности устанавливается на основе нахождения трех безразмерных параметров по комплексу физических показателей [12]:

Прогноз и управление состоянием горного массива

$$B = f\left(K \frac{Q-W}{W}, \frac{\sigma_{\gamma H}}{R_{сж}}, \frac{l_0}{l_k}\right). \quad (3)$$

где l_0 – сменное подвигание забоя; l_k – расстояние от кромки пласта до максимума напряжений; $\sigma_{сж}$ – прочность угля на одноосное сжатие; $\sigma_{\gamma H} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ – величина горного давления; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения.

Связь между двумя первыми безразмерными показателями установлена при моделировании частичной разгрузки в виде

$$B = Q/W - 0,27\sigma_{ср} / R_{сж} - 2,5 = 0. \quad (4)$$

Здесь вместо Q/W по формуле (3) введен аналогичный параметр $\frac{Q-W}{W}$. Это связано, как было сказано выше, с расширением возможностей данного критерия, в частности, при выборе противовыбросных мероприятий.

Безразмерный показатель l_0/l_k характеризует градиент изменения газоносности и напряжений в призабойной части пласта и в значительной степени зависит от технологии проведения горной выработки – от скорости разгрузки $l_0/l_k = 0,1-1$.

При скорости снижения минимального напряжения σ_3 менее 1,0 МПа/с вид напряженного и деформационного состояния будет характеризоваться как обобщенный сдвиг, при котором степень повреждения трещиновато-пористой структуры угля минимальна, соответственно в процессе газовыделения будет вовлекаться только свободный метан. В то же время результаты показывают [6], что при ГДЯ выделяется практически весь сорбированный метан. Естественно, что при скоростях разгрузки 10 МПа/с и более и высокой метаноемкости угля часть угольного массива переходит в обобщенное растяжение с активным выделением всего сорбированного газа.

Угольный пласт (участок) относится к категории опасных при значении критерия выбросоопасности, равного:

$$B_1 = \left[(Q-W)/W + 0,06\sigma_{\gamma H} / \sigma_{сж} \right] \times l_0 / l_{сж} - 0,75 = 0. \quad (5)$$

Учитывая целый ряд недостатков, присущих нормативным способам, необходимо продолжать поиск новых методов контроля эффективности противовыбросных технологий, основанных на резуль-

Прогноз и управление состоянием горного массива

татах фундаментальных исследований, в частности кинетических параметров [8] и температуры дегидратации выхода флюидов из поровой структуры угля, оценивающих особенности его поведения в выбросоопасных зонах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа. ДНАОП 1.1.30-5.06-89 Москва, 1989 – 192с.
2. Лейбензон А.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М.: Гостехиздат, 1947. – 240с.
3. Кузнецов С.В., Кригман Р.Н. Природная проницаемость угольных пластов и методы их определения. М.: Наука, 1979. – 221с.
4. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных пород и выбросов. М.: Недра, 1983. – 280с.
5. Алексеев А.Д., Зайденварг В.Б., Синолицкий В.В. Радиофизика в угольной промышленности. – М.: Недра, 1992. – 183с.
6. Стариков Г.П. Прогнозування нестійкості системи «вугілля-газ» при відпрацьовуванні викидонебезпечних вугільних пластів: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.11 / Донецьк., 2005. – 35с.
7. Партон В.З. Механика разрушения: от теории к практике. – М.: Наука, 1990. – 240с.
8. Эттингер И.Л. Физическая химия газоносного угольного пласта. – М.: «Недра», 1981.
9. Волошин Н.Е. Актуальные проблемы динамических и газодинамических явлений в шахтах (сборник научно-технических статей). Донецк: Полиграфическая фирма «Вега-Принт» 2004 – 88с.
10. Руководство по применению на шахтах Донбасса акустических способов контроля состояния призабойной части выбросоопасного пласта. Макеевка-Донбасс, 2002 – 60с.
11. Ольховиченко А.Е. Прогноз выбросоопасности угольных пластов. М., Недра, 1982 – 278с.
12. Стариков Г.П. Условия развития выбросов угля и газа и методы прогноза выбросоопасности угольных пластов // Физико-технические проблемы горного производства. – ИФГП НАНУ. – Донецк:2004. - №7 - С.214-224.