

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.831.322

А.В. Шадрин, П.В. Егоров, С.Е.Трусов

**КРИТЕРИИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ
И РАЗРАБАТЫВАЕМЫЕ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КУЗБАССА**

В настоящее время более половины угольных шахт Кузбасса, за исключением шахт Ерунаковского и Ленинского промышленных районов, работают на глубинах, ниже региональной критической по фактору выбросоопасности [1]. Выполненный статистический анализ свидетельствует, что ниже этой глубины действительно выбросоопасные зоны составляют менее 5% суммарной протяженности проводимых подготовительных выработок. Протяженность зон, на которых происходит вся совокупность газодинамических явлений (ГДЯ) от повышенного газовыделения с последующим выдавливанием (высыпанием) угля до внезапного выброса или горного удара, не превышает 20% от всей протяженности выработок. Поскольку стоимость противо-выбросных мероприятий высока, как высока и стоимость мероприятий по ликвидации последствий внезапного выброса угля и газа, появилась потребность в разработке и внедрении точных методов прогноза выбросоопасности, обладающих высокой достоверностью. Отсюда следуют высокие требования, предъявляемые к обоснованию критериев выбросоопасности, применяемых способов прогноза.

Критерии выбросоопасности разрабатываются путем выявления основных факторов, способствующих развязыванию этого явления, и изменяются по мере накопления знаний о нем. Так, первые знания о внезапных выбросах угля и газа представ-

ляли минимальные глубины залегания угольных пластов для месторождений, при достижении которых произошли первые выбросы. Эти глубины, взятые с небольшим запасом, были определены как региональные критические глубины по проявлению выбросоопасности для соответствующего месторождения и ниже их должны проводиться мероприятия по предотвращению внезапных выбросов [2]. Для Кузбасса региональная критическая глубина проявления внезапных выбросов угля и газа равна 150 м [3].

Последующие исследования показали, что выбросоопасность определяет большое количество как природных, так и технологических факторов, поэтому для более полного учета природных факторов стали разрабатываться методы зонального уточнения региональной критической глубины проявления внезапных выбросов, а учет технологических факторов осуществляли при разработке, главным образом, методов текущего (локального) прогноза выбросоопасности.

К природным факторам относятся: глубина залегания пласта, рельеф местности над шахтным полем, степень метаморфизма угля, газоносность и давление газа, строение пласта и прочность его пачек, вид и структура вмещающих пород, наличие и параметры нарушения горного массива, фильтрационно-коллекторские свойства угля по отношению к метану и воде, влажность угля и другие [4-7]. Учет этих факто-

ров позволил обосновать зональный характер выбросоопасности (для отдельных крупных зон в пределах шахтного поля) и заметно опустить региональную критическую глубину проявления внезапных выбросов для большинства действующих шахт Кузбасса [7].

Изучение свойств выбросоопасных пластов показало также, что они отличаются большой изменчивостью в пространстве и во времени. Учет изменчивости свойств может быть сделан с различной степенью точности. В соответствии со степенью точности методы прогноза ниже региональной критической глубины называются соответственно зональными, локальными и текущими.

Так, на этапе проектирования горных работ для прогноза выбросоопасности можно использовать данные геологоразведочных скважин. Поскольку плотность расположения их невелика, эти данные используются при зональном уточнении критической выбросоопасной глубины. Более точные данные о свойствах пласта могут быть получены по результатам бурения разведочных скважин и шпуров, пробуренных из горных выработок, или по замерам, сделанным непосредственно в забое выработки. Эти данные используются соответственно в локальных и текущих способах прогноза. Причем к локальным методам прогноза относятся прогноз при вскрытии пласта квершлагом, а в Донбассе еще и эпизодический прогноз выбросоопасности на

неопасном по выбросам пласте на глубинах, уточненных соответствующим зональным прогнозом [8].

К технологическим факторам выбросоопасности следует отнести, главным образом, принятую систему разработки пласта, тип и параметры проводимой выработки и скорость ее проведения [9-10]. Учет этих параметров в методах локального и текущего прогноза выбросоопасности позволяет обосновать такой режим ведения горных работ, который минимизирует опасность развязывания газодинамических явлений [11].

Исследования показали, что названные природные факторы неодинаково влияют на выбросоопасность. Поэтому с целью оптимизации способов прогноза в них стали использовать наиболее значимые для данного вида прогноза факторы. Так, например, при вскрытии пластов большое значение имеют давление газа в пласте и его прочностные характеристики (крепость). Поэтому они и используются в методе локального прогноза выбросоопасности пласта при его вскрытии [3]. Природная газоносность, степень метаморфизма угля, его вещественный состав, тектоническое строение, а в последнее время и стратиграфическое положение пласта в значительной мере определяют его зональную выбросоопасность и поэтому используются для зонального уточнения критических глубин проявления внезапных выбросов [12-13].

Поскольку большинство факторов выбросоопасности учтено ранее методами регионального и зонального прогноза, задачей текущего прогноза является выявление участков, на которых имеет место превышение основными факторами, определяющими выбросоопасность, некоторых критериальных значений. Локальные изменения свойств пласта и напряженного состояния были заложены природой в процессе ме-

таморфизма угля и имевших место тектонических движений земной коры, а также появились в процессе ведения горных работ. На выбросоопасных участках это проявляется в изменении структуры пласта (нарушенность), что сопровождается изменениями и газового фактора (как правило, газоносность и давление газа здесь возрастают, а коэффициент фильтрации уменьшается), и фактора напряженного состояния (либо появляются дополнительные напряжения тектонического или технологического характера, либо в окрестности слабых, нарушенных углей появляются зоны повышенного горного давления, либо оба этих фактора действуют одновременно). Отсюда предметом контроля способа текущего прогноза выбросоопасности является появление в пласте пачек слабого угля, увеличение действующих напряжений и рост давления газа и газоносности.

Длительное время на шахтах Востока страны применялся метод текущего прогноза выбросоопасности, основанный на измерении начальной скорости газовыделения и выхода буровой мелочи при поинтервальном бурении контрольных шпуров [5]. Метод характеризовался высокой надежностью, за исключением случаев выполнения прогноза по увлажненному углю, когда буровая мелочь налипла на буровые штанги, что вносило некоторую погрешность в измерения. На это обратила внимание соответствующая комиссия в процессе расследования причин одного из внезапных выбросов и рекомендовала доработать способ текущего прогноза выбросоопасности.

С принятием новых Правил безопасности, обязывающих при проведении подготовительных выработок по мощным и средней мощности пластам комбайнами избирательного действия в обязательном порядке применять предварительное

увлажнение угля, эту рекомендацию комиссии учли: было принято, по нашему мнению недостаточно обоснованное, решение отказаться от измерения выхода штыба при прогнозе выбросоопасности. Поэтому перешли к прогнозу, основанному на измерении лишь начальной скорости газовыделения при бурении контрольных шпуров по потенциально выбросоопасной пачке, характеризующейся низкой прочностью и сильной перемятостью, устанавливаемой прочностномером П-1 конструкции ННЦ ГП - ИГД им. А.А. Скочинского.

Поскольку величина выхода буровой мелочи в методе прогноза выбросоопасности характеризовала устойчивость угля к механическим напряжениям, прогноз, основанный на измерении только начальной скорости газовыделения, имеет чрезмерно большой запас надежности, т.к. основан на том, что за всю историю изучения внезапных выбросов они не происходили, если величина начальной скорости газовыделения при бурении контрольных шпуров была менее 4 л/мин. Эта величина и была взята в качестве критериальной при текущем прогнозе выбросоопасности. Другой недостаток этого метода заключается в его большой продолжительности и поэтому его целесообразно применять в ремонтную смену. При прогнозе «не опасно» разрешается проходка на глубину 4 м до выполнения следующего цикла прогноза. Однако высокие скорости проведения подготовительных выработок современным оборудованием (более 10 м в сутки) требуют выполнения нескольких циклов прогноза за сутки. Поскольку это существенно снижает темпы ведения работ, на практике вопреки нормативным документам часто ограничиваются одним циклом прогноза в ремонтную смену и работают за пределами разведанной зоны, несмотря на опасность развязывания ГДЯ.

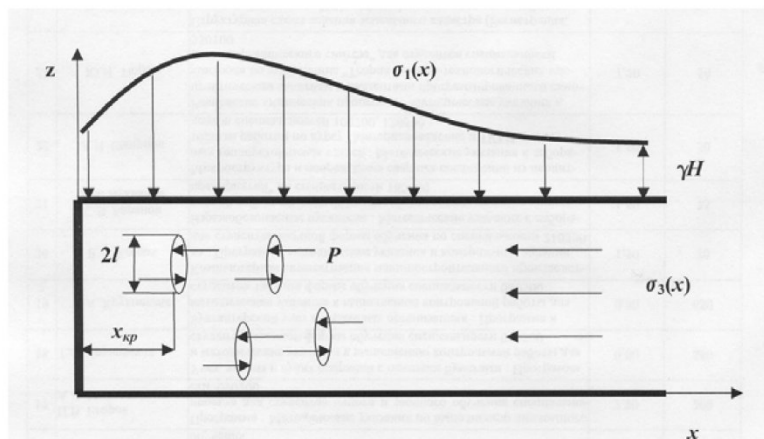


Рис. 1. Призобойное пространство в поле нормальных напряжений $\sigma_1(x) - \sigma_3(x)$, ослабленное трещинами, заполненными газом под давлением P : $x_{кр}$ – критическое расстояние от забоя выработки, в плоскости которого инициируется развязывание выброса; l – полу-длина трещины; γ – удельный вес вышележащих пород; H – расстояние до земной поверхности.

Выходом из создавшегося положения является разработка метода текущего прогноза внезапных выбросов угля и газа, основанного на непрерывном контроле основных факторов развязывания ГДЯ геофизическими методами, не мешавшими ведению горных работ. Обоснуем такой метод прогноза.

Методы прогноза и критерии выбросоопасности основаны на представлениях о природе выбросоопасности. Можно утверждать, что к настоящему времени создана достаточно корректная теория внезапных выбросов угля и газа [14] и предложено несколько разновидностей физических моделей протекания этого явления. Общим для признанных в настоящее время является физическая природа протекания внезапного выброса, изложенная в работах С.А.Христиановича [15,16] и развитая впоследствии работами ряда научных школ. Согласно этому учению, выбросоопасность определяется в основном механической прочностью угольного пласта, его фильтрационной способностью, давлением газа и газоносностью, обеспечивающей поддержание достаточно высокого давления в процессе разрушения, и горным

давлением. Дополнительное влияние оказывает большое количество факторов, таких как: тип и структура вмещающих пород; наличие над- и подработанных пластов, дизъюнктивных и пликтивных нарушений, а также оставленных целиков, в области влияния которых проводятся выработки; напряжения, вызванные силами тектонического и космического характера; способ управления кровлей; влажность угля и др. [3-6, 8-11, 14-19]. Однако все дополнительные факторы так или иначе доопределяют прочностные и фильтрационно-коллекторские свойства пласта, газовый фактор и фактор напряженного состояния призобойного пространства.

Все разновидности моделей внезапного выброса можно разделить на два класса: класс силовых моделей и класс энергетических. Отличие их состоит в том, что в первом классе рассматривается баланс сил, вызывающих разрушение угля и отброс продуктов разрушения в выработку, и сил, препятствующих этому, тогда как во втором классе рассматривается баланс энергии, запасенной в горном массиве, и работы по разрушению угля и смещению продуктов разрушения в сторо-

ну выработки [4]. Таким образом, силовая модель является частью энергетической.

Наиболее известными являются силовая и созданная на ее основе энергетическая модели выброса В.В. Ходота [4]. Эти модели используют упрощенную исходную схему, которая позволила, тем не менее, выделить основные стадии и качественно описать процесс внезапного выброса, а также сформулировать критерии выбросоопасности.

Одно из упрощений расчетной схемы В.В. Ходота заключается в том, что в ней не учитываются особенности развития первичных трещин на подготовительной стадии явления. Этот недостаток устранен в схеме И.М. Петухова и А.М. Линькова [10] (рис. 1).

Призобойная часть горного массива представлена в виде однородного полупространства, находящегося в поле сил горного давления $\sigma_1(x) - \sigma_3(x)$ (для простоты рассматривается случай плоского нагружения: $\sigma_1 - \sigma_3$ – соответственно вертикальная и горизонтальная компоненты нормальных напряжений) и ослабленного трещинами, заполненными газом под давлением P (рис. 1).

Подготовительная стадия заключается в том, что в призобойном пространстве в зоне необратимых деформаций под действием сил горного и газового давления могут развиваться (расти) трещины, ориентированные преимущественно в направлении максимальных напряжений, т.е. параллельно плоскости забоя выработки. Если сочетание сил горного и газового давления таково, что эти трещины развиваются достаточно интенсивно и близко от забоя, то процесс может привести к инициированию выброса, т.е. ко второй стадии его развития – потере устойчивости и генерации волны дробления, направленной вглубь массива. Это критическое сочетание газового фактора и фактора на-

пряженного состояния и определяет критерий выбросоопасности подготовительной стадии.

Как показали авторы работы [10], критерий роста трещин, находящихся на расстоянии $x_{кр}$ от забоя выработки, под действием внешних сжимающих нагрузок $\sigma_I(x) - \sigma_3(x)$ и внутреннего давления газа P , имеет вид

$$\psi_{кр} \frac{P - |\sigma_3|}{\sigma_p} + \frac{|\sigma_I|}{\sigma_0} = 1, \quad (1)$$

где $\psi_{кр}(x_{кр}/l) = k_I / k_I^\infty$;

дующий критерий выбросоопасности на подготовительной стадии выброса в виде соотношения для определения предельных нормальных вертикальных напряжений, при превышении которых происходит развитие трещин,

$$|\sigma_I|_{пред} \geq \frac{(\sigma_p - \psi_{кр} P) \sigma_0}{\psi_{кр} \lambda \sigma_0 - \sigma_p}. \quad (2)$$

Данный критерий учитывает прочностные свойства пласта, а также влияние давления газа в трещинах, их размеры и

времени, авторы работы [5] показали, что расстояние от движущегося со скоростью V забоя до максимума опорного давления можно определить по формуле $x_{ср} = x_y - V/d$, где d - реологический параметр. Можно предположить, что с такой же скоростью будет приближаться к забою плоскость, в которой развиваются критические в отношении устойчивости массива трещины. Тогда определенной комбинации прочностных параметров массива σ_{01} и σ_{p1} соответствует вполне определенное предельное значение $|\sigma_I|_{нр.1}$, которое выполняется при

$$\psi_{кр1} \left(\frac{x_y - V_{нр.1} / d}{l} \right). \quad (3)$$

Новому сочетанию прочностных свойств массива σ_{02} и σ_{p2} будет соответствовать свое предельное значение скорости подвигания забоя $V_{нр.2}$.

Для использования критерия выбросоопасности (2) необходимо обосновать способ контроля входящих в него параметров, позволяющий оперативно и непрерывно осуществлять текущий прогноз. Как видно из (2), метод контроля (прогноза) должен включать определение пределов прочности на сжатие и растяжение, текущее значение вертикальной компоненты нормальных напряжений и давление газа в пласте, а также безразмерную функцию $\psi_{кр}$.

Оценка предельных прочностных характеристик угля в массиве известными методами достаточно трудоемка. Поэтому ограничимся периодическим их измерением в плоскости забоя выработки. На шахтах Кузбасса это уже делается прочностномером П-1 конструкции ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского при осуществлении текущего прогноза нормативным методом [3]. Поскольку между показаниями прочностномера q и пределами прочности на растяжение и сжатие и коэффициентом

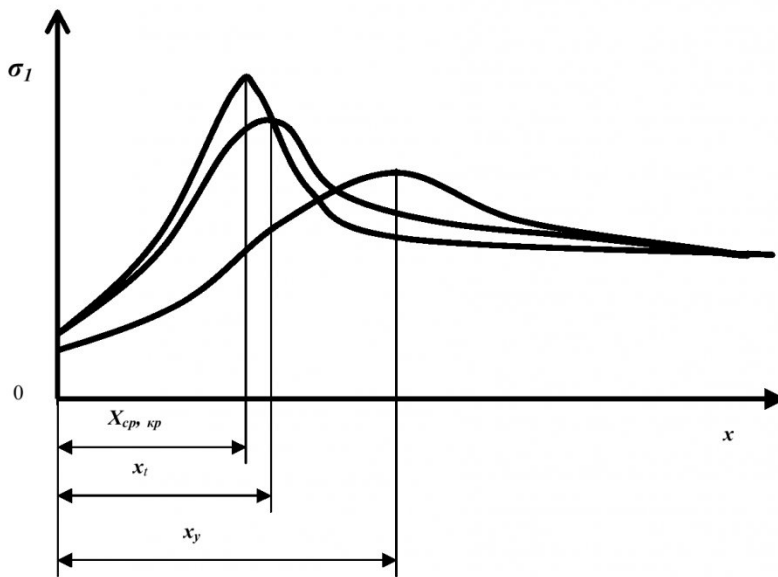


Рис. 2. Схема приближения к забою максимума опорного давления с увеличением скорости проходки:

x_y , x_l и $x_{ср,кр}$ — расстояние от забоя до максимума опорного давления соответственно в установившемся состоянии (спустя некоторое время после остановки забоя), в промежуточном и в критическом состоянии.

k_I и k_I^∞ — коэффициенты интенсивности напряжений соответственно в точке наблюдения и вне зоны влияния выработки; $x_{кр}$ — критическое расстояние от забоя выработки, в плоскости которого инициируется разрывание выброса; l — полудлина трещины; σ_0 и σ_p — пределы прочности соответственно на сжатие и растяжение; $\sigma_I(x)$ и $\sigma_3(x)$ — главные нормальные напряжения.

Поскольку $\sigma_3 = \lambda \sigma_I$ [20], где λ — коэффициент бокового давления, из (1) получаем сле-

удаление от забоя выработки.

Большое значение на напряженное состояние призабойного пространства оказывает скорость проведения выработки. Чем выше скорость, тем ближе к забою перемещается зона опорного давления и до больших максимальных значений повышается вертикальное нормальное напряжение. Схематически это отображено на рис. 2 [5]. В критерии (2) это влияние скорости можно учесть заменой аргумента функции $\psi_{кр}$. Покажем это.

Рассматривая перемещение зоны опорного давления во

бокового давления существует следующая связь [20, 21]:

$$\sigma_0 = 0,7 \cdot (q - 20), \text{ кгс/см}^2; \quad (4)$$

$$\sigma_p = 0,06 \cdot (q - 40), \text{ кгс/см}^2; \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{1 - \sin(0,04q)}{1 + \sin(0,04q)}, \quad (6)$$

показания прочностного q можно ввести в критерий выбросоопасности (2), который примет следующий вид:

$$|\sigma_l|_{np} \geq \Pi_1(\Psi_{кр}, \lambda) q^I - \Pi_2(\Psi_{кр}, \lambda) P, \quad (7)$$

где

$$\Pi_1(\Psi_{кр}, \lambda) = 4,2 \cdot 10^{-2} / [\Psi_{кр} \cdot \lambda \cdot 0,7 - 0,06 \cdot (q - 40) / (q - 20)], \text{ кгс/см}^2;$$

$$\Pi_2(\Psi_{кр}, \lambda) = \Psi_{кр} \cdot 0,7 / [\Psi_{кр} \cdot \lambda \cdot 0,7 - 0,06 \cdot (q - 40) / (q - 20)], \text{ кгс/см}^2; \quad (8)$$

$$q^I = q - 40.$$

Оценим коэффициенты $\Pi_1(\Psi_{кр}, \lambda)$ и $\Pi_2(\Psi_{кр}, \lambda)$.

Выбросоопасные пласты характеризуются низкой прочностью, как правило, $q \leq 75$ у.е. При таких значениях q из (6) видно, что $0,9 < \lambda < 1,0$. Если при этом предположить, что $\Psi_{кр} > 1$, как это видно из [10], то вторым членом в знаменателях выражений для определения $\Pi_1(\Psi_{кр}, \lambda)$ и $\Pi_2(\Psi_{кр}, \lambda)$ можно пренебречь по сравнению с первым. Тогда приближенно критерий (2) можно записать в виде:

$$|\sigma_l|_{пред} \approx \frac{6,7 \cdot 10^{-2}}{\Psi_{кр}} q^I - P. \quad (9)$$

Для оценки величины $\Psi_{кр}$ воспользуемся результатами многочисленных (около 200) измерений прочности угля и давления газа в нем при вскрытии пластов Кузбасса с последующей оценкой реальной выбросоопасности, приведенные в работе [5]. Эти исследования показали, что области опасных и неопасных значений прочности угля и давления газа могут быть разделены кривой вида

$$P - 14f_{nl}^2 = 0, \quad (10)$$

где f_{nl} – коэффициент крепости угля по М.М. Протодакинову

$$(f_{nl} = \frac{0,4q}{110 - q}, [5]), \quad P - \text{давление газа, кгс/см}^2.$$

Условие (10) является критерием выбросоопасности при вскрытии пластов и используется сегодня в Кузбассе. Однако эти же данные можно использовать для оценки величины $\Psi_{кр}$. Эта возможность обусловлена тем, что по физическому смыслу левая часть уравнения (10) аналогична $|\sigma_l|_{np}$. Выразив f_{nl} через q , получим следующее, удобное для практического использования, выражение для определения предельного напряжения

$$|\sigma_l|_{np} = 2,2[q/(110 - q)]^2 - P, \quad (11)$$

Из сравнения левых частей (11) и (9) получили, что при изменении q в пределах $q = 50 - 70$ у.е. диапазон изменения $\Psi_{кр} = 0,29 - 0,35$. Низкие значения $\Psi_{кр}$ относительно тех, которые приведены в [10] (более единицы), по-видимому, объясняются как допущениями, сделанными при выводе (11), так и погрешностью, связанной с представлением $|\sigma_l|_{np}$ в виде (10). Однако запас надежности, сделанный при разграничении областей «опасно» и «неопасно» уравнением (10), позволяет надеяться на возможность использования выражения (11) для оценки предельных напряжений.

Наибольший интерес в решении поставленной задачи представляет поиск методов для непрерывного определения действующего напряжения и давления газа. От выбора этих методов зависят и надежность, и оперативность прогноза в целом.

В работе [22] показано, что напряженное состояние горного массива можно контролировать спектрально-акустическим методом, в котором показатель напряженного состояния массива K оценивается отношением амплитуд акустических шумов от работающего горного оборудования, замеренных на высо-

ких и низких частотах. При этом показатель K следующим образом связан с напряженным состоянием массива

$$K = e^{-C \frac{\sigma_{np}}{\sigma_m} x_{изм}^n}, \quad (12)$$

где σ_{np} и σ_m – средние соответственно предельное и текущее напряжения;

$$C = \frac{\alpha_0 \beta (f_s - f_n)}{f_0}, \quad f_s \text{ и } f_n -$$

частоты среза соответственно фильтров верхних и нижних частот; α_0 – затухание на частоте f_0 ; β – коэффициент пропорциональности, определяемый свойствами массива; $x_{изм}$ – расстояние между источником шума, воздействующим на забой (комбайн, отбойный молоток, буровая коронка) и приемником, установленным в борт выработки; n – коэффициент, учитывающий действие автоматической регулировки усиления (АРУ) приемного тракта аппаратуры, $0 < n < 1$.

В соотношении (12) в силу линейности задачи справедливо следующее равенство

$$\sigma_{np}/\sigma_m = \sigma_{l np}/\sigma_{l m} = \sigma_{3 np}/\sigma_{3 m}.$$

Величина $|\sigma_l|_{np}$, входящая в (12), может быть определена из (9) или заменена ее экспериментальной оценкой (11). Обозначим

$$f_l(q) = 2,2 \left(\frac{q}{110 - q} \right)^2.$$

Эта функция (см. рис. 3) описывает зависимость предельных напряжений от крепости угля, когда давление газа в трещинах равно нулю. Тогда (12) преобразуется к виду

$$K = \exp[-C x_{изм}^n (1 - \frac{P}{f(q)}) \frac{f_l(q)}{\sigma_{l m}}] \quad (13)$$

Спектрально-акустический метод контролирует только напряжения горного давления. При равенстве текущих напряжений предельным $f_l(q) = \sigma_{l m}$, показатель выбросоопасности принимает критическое (опас-

ное) значение $K=K_{кр}$:

$$K_{кр} = \exp\left[-C x_{изм}^n \left(1 - \frac{P}{f_1(q)}\right)\right] \cdot \quad (14)$$

В отсутствии газа критическое значение показателя выбросоопасности $K_{кр,0}$ определяется только прочностными свойствами угля

$$\ln(K_{кр,0}) = -C \cdot x_{изм}^n.$$

При выделении свободного газа в трещины критическое значение показателя выбросоопасности снижается до величины, определяемой соотношением

$$\ln K_{кр} = \ln K_{кр,0} \left(1 - \frac{P}{f_1(q)}\right). \quad (15)$$

Соотношение справедливо при $P \leq \lambda f_1(q)$, где λ - коэффициент бокового давления. В нем $K_{кр,0}$ определяется путем обработки экспериментальных данных, $f_1(q)$ рассчитывается по результатам замера прочности угля прочностномером П-1, а давление газа может быть оперативно оценено по концентрации метана, замеренной аппаратурой контроля метана АКМ. Покажем это.

В.В. Ходот [4] установил, что концентрация метана в выработке связана с давлением газа в массиве на расстоянии $x_{кр}$ от забоя соотношением, которое можно преобразовать к виду [20]

$$P = m \sqrt{k_0 \eta P_{ат}} \times \sqrt{\frac{1}{S_3} \left(\frac{Q(C_m - C_\phi)}{100} - G_{O.Y.} S_{O.Y.} \right)} \times x_{кр} \exp(-\varphi x_{кр}) \quad (16)$$

где m - константа, характеризующая пористость угля; k_0 - коэффициент, характеризующий газопроницаемость пласта, m^3 ; η - вязкость метана, Па·с; $P_{ат}$ - давление газа на плоскости забоя, Па; Q - расход воздуха ВМП, проветривающего выработку, m^3/c ; C_m и C_ϕ - соответственно текущее и фоновое (до начала ведения работ по уголю) значения концентрации метана, замеренные датчиком

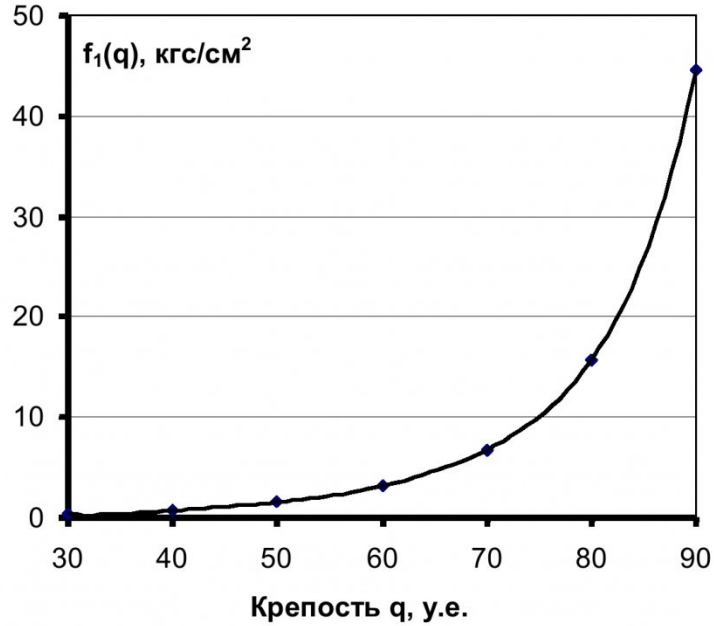


Рис. 3. Зависимость предельных напряжений $f_1(q)$ от крепости угля q в отсутствие газа в трещинах

ДМТ-4, %; $G_{O.Y.}$ - расход газа с единицы поверхности отбитого угля, $m^3/(m^2 \cdot c)$; S_3 , $S_{O.Y.}$ - соответственно площади поверхности забоя и отбитого угля на участке от забоя до места установки датчика ДМТ-4 аппаратуры АКМ; $\varphi = 1/x_y$ - константа, определяемая расстоянием от забоя до участка массива, где давление газа стабилизируется, m^{-1} .

В этом выражении из анализа исключается поток газа, идущий из отбитого угля. Однако, при протекании внезапного выброса в процессе участвует как свободный газ в трещинах, так и десорбируемый со временем с поверхностей пор и микротрещин. Поэтому при оценке давления газа в массиве по концентрации метана в атмосфере выработки будем учитывать как газ, поступающий с поверхности забоя, так и из отбитого угля. Следует также учесть, что в зависимости от оборудования, оказывающего воздействие на забой, свежееобнаженная площадь забоя составляет лишь часть его площади. Примем во внимание и то обстоятельство, что регистрировать экспериментально все входящие в выражение (16) параметры невозможно. В связи с этим, целесооб-

разно его упростить, введя определяемый экспериментально интегральный коэффициент D :

$$P = D \sqrt{\xi_i S_3 \frac{Q(C_m - C_\phi)}{100}}, \quad (17)$$

где

$$D = m \sqrt{k_0 \eta P_{ат}} \cdot x_{кр} e^{-\varphi x_{кр}}$$

ξ_i - коэффициент, учитывающий степень воздействия i -го вида оборудования (комбайн, отбойный молоток, буровой станок и диаметр коронки) на забой, $0 < \xi_i < 1$.

Как видно из (17), концентрация метана в атмосфере выработки характеризует давление газа в массиве. Учтя его, выражение (15) примет вид:

$$K_{кр} = \exp \left[\frac{\ln K_{кр,0}}{1 - \frac{D}{f_1(q)} \sqrt{\xi_i S_3 \frac{Q(C_m - C_\phi)}{100}}} \right] \quad (18)$$

Здесь коэффициенты $K_{кр,0}$, D и ξ_i определяются опытным путем; $f_1(q)$ рассчитывается по результатам измерения прочности наиболее слабой угольной пачки пласта; концентрации метана в атмосфере выработки C_m и C_ϕ измеряются аппаратурой АКМ.

Таким образом, контролируя газовый фактор аппаратурой АКМ можно непрерывно корректировать критическое значение показателя выбросо-

опасности акустического метода контроля $K_{кр}$, сравнивая которое с текущим значением K_m можно непрерывно прогнозировать сте-

пень выбросоопасности на первой стадии развития выброса – стадии создания трещин и заполнения их свободным газом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коноваленко В.А. Разработка комплексного метода текущего прогноза выбросоопасности в подготовительных выработках, основанного на спектрально-акустическом и газовом контроле состояния горного массива. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2002. – 21 с.
2. Рудаков В.А., Шадрин А.В. Организация прогноза внезапных выбросов угля и газа на шахтах Кузбасса // Метан угольных шахт: прогноз, управление, использование. Препринт Российского метанового Центра, -Кемерово: Ин-тут угля СО РАН, 1995, - №1. – С. 8-10.
3. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа (РД 05-350-00). Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах (Сборник документов). – М.: Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – С. 120-303.
4. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по горному делу, 1961. – 364 с.
5. Чернов О.И., Пузырев В.Н. Прогноз внезапных выбросов угля и газа. – М.: «Недра», 1979. – 296 с.
6. Зыков В.С., Лебедев А.В., Сурков А.В. Предупреждение газодинамических явлений при проведении выработок по угольным пластам. – Кемерово, 1997. – 262 с.
7. Кнуренко В.А., Рудаков В.А. Зональность газодинамических явлений в шахтах Кузбасса. – Кемерово: КузГТУ, 1998. – 227 с.
8. Ольховиченко А.Е. Прогноз выбросоопасности угольных пластов. – М.: «Недра», 1982. – 278 с.
9. Вылегжанин В.Н., Егоров П.В., Мурашев В.И. Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 295 с.
10. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М.: «Недра», 1983. – 280 с.
11. Мурашев В.И. Разработка научных основ безопасного ведения горных работ в угольных шахтах на основе исследования геомеханических процессов. Дисс. докт. техн. наук. М., 1980. – 35 с.
12. Рудаков В.А., Захарочкин С.П., Шадрин А.В. Особенности стратиграфии, тектонического строения и природной газоносности угольных пластов Томь-Усинского района// Вопросы повышения безопасности горных работ на шахтах: Материалы науч.-практ. конф. / ГУ Кузбас. гос. техн. ун-т, филиал в г. Прокопьевске. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2003. – С. 27-36.
13. Рудаков В.А., Захарочкин С.П. Методика разграничения участков угольных пластов на опасные и неопасные по внезапным выбросам угля и газа// Вопросы повышения безопасности горных работ на шахтах: Материалы науч.-практ. конф. / ГУ Кузбас. гос. техн. ун-т, филиал в г. Прокопьевске. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2003. – С. 62-66.
14. Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. – М.: Недра, 1978.- 164 с.
15. Христианович С.А. О волне выброса // Изв. АН СССР, ОТН, №12, 1953. – С. 1679-1688.
16. Христианович С.А. О волне дробления // Изв. АН СССР, ОТН, №12, 1953. – С. 1689-1699.
17. Волошин Н.Е. Внезапные выбросы и способы борьбы с ними в угольных шахтах. – К.: «Техніка», 1985. – 127 с.
18. Рогов Е.И., Грицко Г.И., Вылегжанин В.Н. Математические модели адаптации процессов и подсистем угольной шахты. – Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1979. – 240 с.
19. Беснятов Г.А., Вылегжанин В.Н., Золотых С.С. Синергетика выбросоопасной горной среды. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. – 191 с.
20. Горное давление в подготовительных выработках угольных шахт/ Г.Г. Штумф, П.В. Егоров, А.И. Петров и др. – М.: недра, 1996. – 352 с.
21. Фейт Г.Н. Прочностные свойства и устойчивость выбросоопасных угольных пластов. – М.: Изд-во «Наука», 1966. – 80 с.
22. Шадрин А.В., Коноваленко В.А. Основы автоматизированного непрерывного ГДЯ-мониторинга на угольных шахтах Кузбасса// Вестник КузГТУ. - 2001. - №3. - С. 28-31.

□ Авторы статьи:

Шадрин
Александр Васильевич
- канд.техн.наук, ст.научн.сотр.
(КемГУ)

Егоров
Петр Васильевич
- докт.техн.наук, проф., зав. каф.
разработки месторождений полез-
ных ископаемых

Трусов
Сергей Ефимович
- главный инженер ОАО «Шахта
«Первомайская»