

УДК 622. 831.322

А.В. Шадрин

**ФАКТОРЫ РАЗВЯЗЫВАНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ
ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ И ИХ СВЯЗЬ
С НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ***

Семинар № 10

Сегодня является весьма актуальным создание региональной и глобальной системы мониторинга экологической и промышленной безопасности.

Для угольной промышленности большое социально-экономическое значение имеет организация непрерывного автоматизированного мониторинга опасности проявления газодинамических явлений (ГДЯ) и, в частности, внезапных выбросов угля и газа при подземной добыче угля. Однако это сдерживается отсутствием корректного научного обоснования возможности такого мониторинга.

Имеющиеся методы текущего прогноза различных типов ГДЯ были, в основном, предложены и обоснованы несколько десятилетий назад, и основаны на использовании первичных физических величин, характеризующих разрушение газонасыщенного угольного массива: действующих механических напряжений, прочностных характеристик угля и вмещающих пород, давления газа в пласте, газонасыщенности угля, его влажности и т.п. Эти величины измерялись, так называемыми, «инструментальными» методами, заключающимися в экспресс-анализе проб газа и угля, взятых при бурении передовых разведочных

скважин. Невозможность автоматизации инструментальных методов и обусловленная этим большая продолжительность и трудоемкость, а также дискретность контроля потребовали разработки методов автоматизированного мониторинга опасности проявления ГДЯ.

Однако применяемые в настоящее время и находящиеся в стадии исследования методы неразрушающего контроля: акустической и электромагнитной эмиссии, спектрально-акустической, газоаналитической и температурной дают большую ошибку при прогнозе ГДЯ, т.к. контролируют каждый в отдельности преимущественно по одному фактору, инициирующему их развязывание – либо напряженное состояние горного массива, либо газовый фактор [1]. Поэтому весьма актуальным является научное обоснование комплексного метода мониторинга ГДЯ на основе непрерывного контроля основных факторов развязывания этих явлений неразрушающими методами.

В статье дается обоснование наиболее информативных факторов и параметров, характеризующих противывбросные мероприятия на угольных шахтах, и возможности их автоматизированного контроля.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ-Кузбасс, грант №07-05-96015-Р_Урала.

Обоснование наиболее информативных факторов и параметров, характеризующих противобросные мероприятия

Для установления наиболее информативных факторов и параметров, характеризующих противобросные мероприятия, и обоснования способов их контроля проанализируем, какие параметры и факторы контролируются при выполнении всех противобросных мероприятий и какими способами. Для удобства анализа эти данные сведены в таблицу.

Как видно из таблицы, мониторинг необходим при текущем прогнозе выбросоопасности, большинстве способов предотвращения внезапных выбросов и контроле их эффективности. При выполнении ряда мероприятий в таблице указано, что мониторинг их в настоящее время выполняется, однако на самом деле либо применяется очень редко, либо по весьма упрощенной схеме. Так, например, в таблице указано, что мониторинг эффективности увлажнения осуществляется электрометрическим методом. В действительности это не в полной мере мониторинг, т.к. метод не предоставляет информацию о распределении жидкости по массиву. При современном уровне развития техники для горнорудной промышленности контролировать в режиме on-line пространственное распределение жидкости по пласту, по-видимому, не представляется возможным. Поэтому контроль ведется после выполнения способа: либо по влажности образцов угля – весовым методом, либо по усредненной влажности угля в массиве – электрометрическим методом [2].

Отдельные методы непрерывного мониторинга: спектрально-акустический, акустической эмиссии, по температуре забоя и другие – в Кузбассе либо вообще не применялись, либо только испытывались, либо на-

чинают внедряться на отдельных шахтах.

Таким образом, в настоящее время при выполнении всех противобросных мероприятий требуется непрерывно контролировать следующие параметры и факторы: структуру пласта; прочность угля; газовый фактор и фактор напряженного состояния развязывания ГДЯ; концентрацию метана в атмосфере выработки во времени; интенсивность развития трещин в угольном пласте; величину отжима (выдвигания) пласта; влажность угля.

Здесь под газовым фактором развязывания ГДЯ понимается результат совокупного влияния на выбросоопасность трех параметров: газоносности, коэффициента газопроницаемости угля и давления газа в пласте. Под фактором напряженного состояния понимается пространственно-временное распределение и величина напряжений в окрестности забоя выработки, вызванных горным давлением.

Покажем, что для автоматизированного мониторинга фактора напряженного состояния удобно применять спектрально-акустический метод контроля, а для автоматизированного мониторинга концентрации метана в атмосфере выработки и через нее газового фактора выбросоопасности – аппаратуру АКМ.

Мониторинг фактора напряженного состояния развязывания ГДЯ спектрально-акустическим методом

Спектрально-акустический контроль массива, который в России до недавнего времени на ряде шахт типа АК-1 (из-за отсутствия системы выполнялся с помощью аппаратуры метрологического обеспечения эксплуатации их прекращена), заключается в спектральном анализе шумов действующего в забое горного оборудования [3].

Противовыбросные мероприятия и их мониторинг

Противовыбросное мероприятие	Контролируемые параметры и факторы	Необходимость в мониторинге	Применяемые способы мониторинга	Недостатки мониторинга
1	2	3	4	5
1. Прогноз выбросоопасности				
1.1. Региональный	Расстояние до земной поверхности	Нет	Нет	-
1.2. Зональный	Стратиграфическое положение пласта	Нет	Нет	-
	Данные геологоразведочных скважин	Нет	Нет	-
1.3. Локальный	Крепость угля	Нет	Нет	-
	давление газа в пласте	Нет	Нет	-
1.4. Текущий	Структура пласта, крепость угля	Да	Периодически прочностномером	Не автоматизирован
	Газовый фактор	Да	«Инструментальный»	Не автоматизирован
			По данным АКМ	Недостаточная точность
			По температуре забоя	Недостаточная точность
	Фактор напряженного состояния	Да	«Инструментальный»	Не автоматизирован
			Метод АЭ	Низкая точность
Спектрально-акустический			Недостаточная точность	
2. Способы предотвращения выбросоопасности				
2.1. Региональные				
• Над- и подработка	Зона влияния над- и подработки	Нет	Нет	-
• Дегазация	Крепость, газовый фактор и фактор напряж. состояния	Да	Методами текущего прогноза выбросоопасности	То же что в п. 1.4
• Увлажнение	Влажность угля,	Да	Электрометрия	Устанавливается после увлажнения
	Интенсивность развития трещин	Да	Возможен метод АЭ	Необходима селекция АЭ на фоне помех
2.2. Локальные				
• Бурение опережающих скважин	Направление и длина скважин	Нет	Нет	-
• Гидроотжим пласта	Величина отжима,	Да	Дистанционный реперный контроль	Сложность в реализации
	Интенсивность развития трещин,	Да	Возможен метод АЭ	Нет

1	2	3	4	5
	Кол-во выделившегося газа, концентрация CH_4	Да	По данным АКМ	Нет
• Гидрорыхление, низконапорная пропитка, низконап. увлажнение	Влажность угля,	Да	Отсутствует	Устанавливается после увлажнения
	Интенсивность развития трещин	Да	Возможен метод АЭ	Необходима селекция АЭ на фоне помех
• Гидровывывание опережающих полостей	Интенсивность развития трещин,	да	Возможен метод АЭ	Необходима селекция АЭ на фоне помех
	Кол-во выделившегося газа, концентрация CH_4	Да	По данным АКМ	Нет

2.3. При вскрытии пласта

• с бурением дренажных скважин; • с нагнетанием воды	Нет	Нет	Нет	
	Интенсивность развития трещин	Да	Возможен метод АЭ	Нет

3. Контроль эффективности способов предотвращения внезапных выбросов

Контроль эффективности	Влажность угля увлажненного массива	Да	Электрметрия	Распределение влажности не контролируется
	Кол-во выделившегося газа в процессе гидроотжима или вымывания полостей	Да	По данным АКМ	Нет
	Крепость угля,	Да	Периодически прочностномером	Не автоматизирован
	Газовый фактор,	Да	«Инструментальные»	Не автоматизированы
			По данным АКМ	Недостаточная точность
	Фактор напряженного состояния	Да	по температуре забоя	Недостаточная точность
			«Инструментальные»	Не автоматизированы
Метод АЭ	Низкая точность			
спектрально-акустический метод		Недостаточная точность		

Для понимания принципа действия данного вида контроля рассмотрим схемы прохождения акустического сигнала в контролируемом пространстве отдельно для очистной и подготовительной выработок.

В результате многочисленных экспериментов главным образом на шахтах Донбасса по контролю горного массива спектрально-акустическим методом отработана следующая схема расположения сейсмоприемников

(геофонов) в зависимости от длины лавы [3]:

- при длине лавы до 100 м сейсмоприемник устанавливается на расстоянии 40 м впереди ее в восстающий шпур длиной 2,0-4,0 м, пробуренный по углю из вентиляционного или откаточного штрека;

- при длине лавы более 100 м устанавливаются два сейсмоприемника на таком же расстоянии от нее - по одному из откаточного и вентиляционного штрека.

На рис. 1, а приведена схема расположения источника **И** и приемника **П** звука при спектрально-акустическом контроле призабойного пространства лавы. На рис. 1, б схематично показано влияние на напряженное состояние нарушения или оставленного целика на выше лежащем горизонте. Из этого рисунка видно, что по мере приближения очистной выработки к зоне нарушения (или области влияния целика) акустический тракт между источником звука (шумом комбайна или струга) и его приемником смещается в область возрастающих средних напряжений.

Иначе обстоит дело при прогнозе опасности ГДЯ впереди подготовительной выработки. В этом случае акустический датчик устанавливают на расстоянии 5-40 м позади забоя выработки. Однако и в этом случае осуществляется контроль массива впереди выработки, и объясняется это следующим образом.

Известно, что звуковая волна распространяется по некоторому объему твердого тела, который на участке между излучателем и приемником, имеющем форму, близкую к прямолинейной, можно принять в виде лучевой трубки диаметром, не менее половины длины волны [4]. Оценим эту величину для спектрально-акустичес-

кого метода, реализуемого аппаратурой АК-1.

Для геофонов типа СВ-20 и СВ-30 область рабочих частот лежит в пределах 30-1500 Гц. При скорости звука по углю, примерно равной 1600 м/с, рабочие длины волн лежат в интервале $\lambda = 50-1,1$ м. Следовательно, если пренебречь особенностями зависимости амплитуды акустического сигнала от удаления до источника в ближней и переходной зонах излучателя, то на половину величины наименьшей из регистрируемых длин звуковых волн осуществлялось бы зондирование горного массива впереди подготовительной выработки при прогнозе выбросоопасности в случае, если в качестве источника зондирующих шумов используется проходческий комбайн, струг или отбойный молоток.

Однако приемник звука находится не на прямой, соединяющей его с источником, а в своеобразной области звуковой тени. Поэтому на результирующее акустическое поле у приемника будет влиять дифракция звука в области изменения направления его распространения. Качественную оценку влияния дифракции звука можно получить, применив принцип Гюйгенса [5].

Суть принципа заключается в том, что волну любой формы можно представить состоящей из большого числа простых сферических волн одинаковой частоты (так называемых элементарных волн), каждая из которых распространяется из своей исходной точки и имеет свои начальную фазу и амплитуду.

При этом любой волновой фронт можно рассматривать как огибающую всех таких элементарных волн, исходные точки которых располагаются на прежнем фронте волны [5].

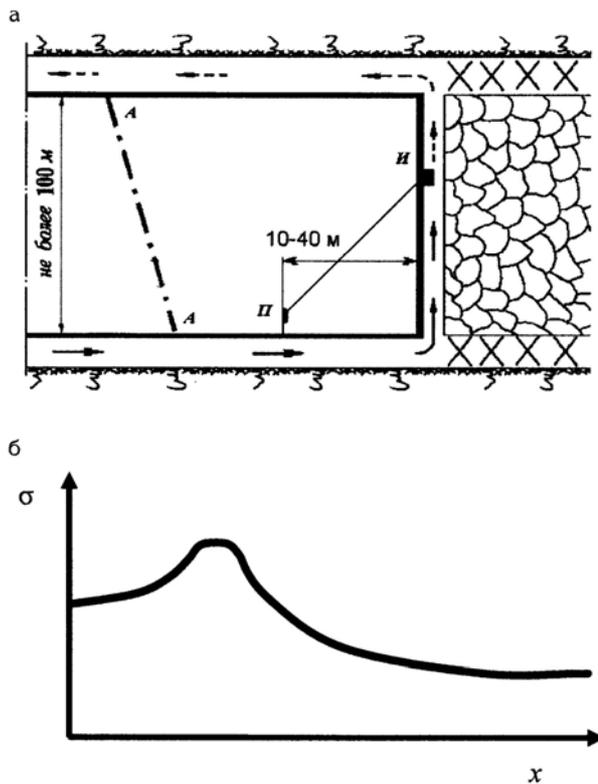


Рис. 1. Схема (а) распространения звука от источника *И* к приемнику *П* и зависимость (б) средних напряжений σ от удаления x до забоя очистной выработки в области влияния нарушения *A-A* (или проекции границы целика, оставленного на выше лежащем пласте угля)

ниче проекции вышележащего целика) будет сопровождаться ростом средних напряжений.

В случае, когда в качестве источника зондирующих шумов используется буровая штанга, контролируемое пространство впереди забоя выработки оказывается между источником и приемником звука и схема прохождения акустического сигнала становится такой же, как в случае очистной выработки.

Таким образом, как в случае очистной, так и подготовительной выработки, приближение к выбросоопасной зоне будет сопровождаться ростом текущих напряжений на трассе между источником и приемником звука σ_T , среднее по длине (приходящееся на единицу длины) значение которых $\sigma_{T,CP}$ можно определить следующим образом:

$$\sigma_{m,CP} = \int_{r_{II}}^{r_{I\Pi}} \sigma_m(r) dr / r_{I\Pi}, \quad (1)$$

где $r_{I\Pi}$ – длина траектории движения звуковой волны от излучателя *И* до приемника *П*; $\sigma_T(r) = 1/3(\sigma_{1,T}(r) + \sigma_{2,T}(r) + \sigma_{3,T}(r))$ – среднее по величине напряжение.

При этом обеспечивается зондирование массива впереди очистной выработки

Вследствие этого в призабойном пространстве в устье лучевой трубки, расположенной вдоль борта выработки, в котором установлен геофон, будут попадать вторичные сферические элементарные волны, излученные фронтами результирующих волн, расположенных впереди забоя подготовительной выработки. Поэтому реальную схему распространения звука можно заменить на эквивалентную, в которой своеобразный «эффективный источник» вынесен вперед реального за поверхность забоя на расстояние, равное нескольким минимальным для используемого геофона длинам волн, так, что «эффективный источник» и приемник звука расположены на линии, близкой к прямой (см. рис. 2). При этом приближение забоя выработки к области нарушения (или гра-

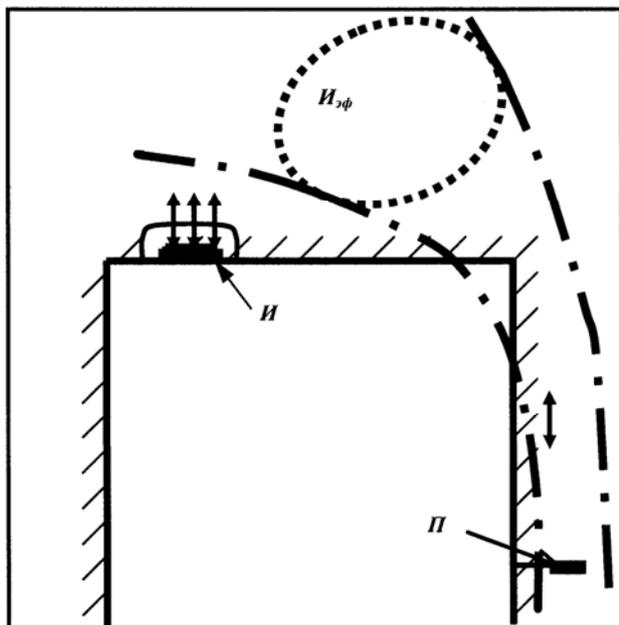


Рис. 2. Распространение звука от «эффективного источника» через лучевую трубку к приемнику

ботки на величину, равную не менее половины расстояния от плоскости забоя до плоскости установки геофона, и впереди подготовительной выработки на величину, равную глубине скважины – при прогнозе в процессе бурения скважины, и на величину 2-3 м – при прогнозе в процессе работы проходческого комбайна, что соизмеримо с величиной неснижаемого опережения в 1,5–2 м, регламентируемой нормативным документом [6].

Теперь рассмотрим, как влияет напряженное состояние горного массива на показатель спектрально-акустического метода контроля.

Рабочий орган комбайна, струга, буровой коронки или отбойного молотка возбуждает в горном массиве акустические колебания в широком диапазоне частот. Эти колебания распространяются по горному массиву от источника до приёмника, установленного на борт выработки на расстоянии от 5 до 40 м от забоя подго-

товительной выработки или впереди лавы на расстоянии до 40 м [6]. При таком удалении приемника от источника приближенно можно считать, что он находится в начале дальней зоны излучения, где амплитуда звуковых колебаний A с расстоянием от источника изменяется по закону

$$A = A_0 f(x) e^{-\alpha x}. \quad (2)$$

Здесь A_0 – амплитуда сигнала источника, В; $f(x)$ – закон изменения амплитуды

с расстоянием вследствие расхождения волнового фронта акустических колебаний (приближенно работающее оборудование можно считать как источник сферических колебаний с обратной пропорциональной зависимостью амплитуды от расстояния до приемника); α – коэффициент затухания, м^{-1} ; x – расстояние от источника до приемника звука, м.

Коэффициент затухания зависит от частоты сигнала и напряженного состояния. Известно, что в твердом теле α прямо пропорционален частоте сигнала f [7] и обратно пропорционален напряжениям в массиве σ [8]. Однако при распространении звука по горному массиву, включающему угольный пласт, зависимость коэффициента затухания от частоты имеет более сложную форму [9]. В первом приближении ограничимся прямо пропорциональной зависимостью α от f . Тогда можно записать

$$\alpha = \alpha_0 \frac{f}{f_0} \beta \frac{\sigma_{np}}{\sigma_m}, \quad (3)$$

где α_0 – затухание на частоте f_0 , м^{-1} ; σ_{np} и σ_m – соответственно предельное и среднее (по длине от I до Γ) текущее значения средних (по величине) напряжений в массиве; β – коэффициент пропорциональности, определяемый свойствами массива.

Вид выражения (3) позволяет понять физическую сущность метода спектрально-акустического прогноза выбросоопасности. Она состоит в следующем. Выбросоопасная зона с точки зрения фактора напряженного состояния горного массива характеризуется тем, что по причинам природного или техногенного характера напряжения в призабойном пространстве возрастают, а максимум опорного давления приближается к забою выработки. Это приводит к тому, что здесь зияние трещин и микротрещин уменьшается, а площадь контакта их берегов возрастает. В результате уменьшается затухание акустических сигналов, генерируемых режущим органом комбайна или отбойного молотка, или буровой коронки на участке их прохождения до приемника. Причем затухание высокочастотных гармоник уменьшается сильнее, чем низкочастотных. Эта закономерность положена в основу этого метода прогноза.

В соответствии с принципом спектрально-акустического прогноза выбросоопасности, степень напряженного состояния массива оценивается показателем выбросоопасности K , равным отношению амплитуд акустических шумов от работающего горного оборудования, замеренных на высоких и низких частотах [3]:

$$K = \frac{A_B}{A_H}, \quad (4)$$

где A_B и A_H – текущие значения амплитуд продетектированных амплитудными детекторами высокочастотной и низкочастотной областей спектра соответственно, В.

Подставив (2) и (3) в (4), в предположении, что энергетический спектр сигнала равномерен во всей области рабочих частот, а функция $f(x)$ для составляющих акустических колебаний на низких и высоких частотах совпадает, получим

$$K = e^{-\frac{C \sigma_{np} x}{\sigma_m}}, \quad (5)$$

где $C = \frac{\alpha_0 \beta (f_B - f_H)}{f_0}$, f_B и f_H – частоты среза соответственно фильтров верхних и нижних частот, Гц.

Из (5) видно, что, во-первых, подбором частот f_B и f_H можно регулировать чувствительность метода, во-вторых, с ростом напряжений показатель выбросоопасности K возрастает, в-третьих, спектрально-акустический прогноз совершенно не учитывает газовый фактор выбросоопасности.

При рассмотренной процедуре текущего контроля напряженного состояния массива показатель K зависит от расстояния между забоем и приемником акустических колебаний. Для ослабления этой зависимости необходимо ввести автоматическую регулировку усиления (АРУ), такую, чтобы при $\frac{\sigma_{np}}{\sigma_m} = const$ показатель K изменялся как можно меньше при изменении x в пределах, например, 5-50 м (желаемая область работы метода без переноса приемника акустических колебаний). Предельное значение глубины АРУ (K_{APY}), при котором x не влияет на показатель K , определится из выражения:

При рассмотренной процедуре текущего контроля напряженного состояния массива показатель K зависит от расстояния между забоем и приемником акустических колебаний. Для ослабления этой зависимости необходимо ввести автоматическую регулировку усиления (АРУ), такую, чтобы при $\frac{\sigma_{np}}{\sigma_m} = const$ показатель K изменялся как можно меньше при изменении x в пределах, например, 5-50 м (желаемая область работы метода без переноса приемника акустических колебаний). Предельное значение глубины АРУ (K_{APY}), при котором x не влияет на показатель K , определится из выражения:

При рассмотренной процедуре текущего контроля напряженного состояния массива показатель K зависит от расстояния между забоем и приемником акустических колебаний. Для ослабления этой зависимости необходимо ввести автоматическую регулировку усиления (АРУ), такую, чтобы при $\frac{\sigma_{np}}{\sigma_m} = const$ показатель K изменялся как можно меньше при изменении x в пределах, например, 5-50 м (желаемая область работы метода без переноса приемника акустических колебаний). Предельное значение глубины АРУ (K_{APY}), при котором x не влияет на показатель K , определится из выражения:

$$K_{APY} = 20 \lg \frac{K_5}{K_{50}}, \quad (6)$$

где K_5 и K_{50} - значения показателя выбросоопасности (по фактору напряженного состояния) при расстоянии между забоем и приемником звука в 5 и 50 м.

Подставив в (6) значения K_5 и K_{50} , определенные по (5), получим

$$K_{APY} = 20 \lg \exp(Y \cdot 45), \quad (7)$$

$$\text{где } Y = -C \frac{\sigma_{np}}{\sigma_m}.$$

Допустим, что показатель выбросоопасности $K = 3$ при $x = 5$ м. Тогда из (5) найдем, что $Y = 0,22$. Подставив это значение в (7), получим, что $K_{APY} = 86$ db. Это очень глубокая АРУ, обеспечить которую без опасения, что усилитель перейдет в режим самовозбуждения, достаточно сложно. Поэтому ограничимся областью работы метода без переноса приемника акустических колебаний в 40 м. Для обеспечения постоянства значения показателя выбросоопасности K в этой области для рассмотренного выше примера достаточно обеспечить $K_{APY} = 53$ db. Таким образом, значение $K_{APY} = 60$ db обеспечит нормальную работу оборудования при расстоянии между источником и приемником звука в 5-40 м.

Поскольку свойства и напряженное состояние пласта изменяются, полностью зависимость показателя выбросоопасности от x не снимается и K реально определяется следующим выражением (при допущении постоянства $f(x)$ для высокочастотной и низкочастотной компонент сигнала)

$$K = e^{-C \frac{\sigma_{np}}{\sigma_m} x^n}, \quad 0 < n < 1. \quad (8)$$

Следует отметить, что для сохранения спектральной плотности колебаний при удалении забоя выработки от места установки приемника звука при условии зависимости коэффициента за-

тухания от частоты глубина АРУ должна быть неравномерной по частоте – на высоких частотах она должна быть больше, чем на низких частотах. Это еще одна причина, по которой удаление приемника акустических колебаний не должно быть большим.

Значения C и n , входящие в (8), можно оценить следующим образом. Вначале надо определить экспериментально контрольным методом σ_{np} и σ_r для данного угольного пласта. Затем измерить значение K при удалении геофона от забоя выработки на расстояние x_1 при двух настройках частот среза фильтров верхних и нижних частот прибора АК-1, т.е. K_1 (при f_{B1} и f_{H1}) и K_2 (при f_{B2} и f_{H2}). Тогда

$$\alpha_0 \beta \Big|_{\text{при } x=x_1} = \frac{\ln(K_1/K_2) \text{ при } x = x_1}{\Delta f x_1^n (\sigma_{np}/\sigma_r)}, \quad (9')$$

$$\text{где } \Delta f = f_{B2} - f_{B1} - f_{H2} + f_{H1}.$$

Те же измерения необходимо выполнить при $x = x_2$:

$$\alpha_0 \beta \Big|_{\text{при } x=x_2} = \frac{\ln(K_1/K_2) \text{ при } \dots x = x_2}{\Delta f x_2^n (\sigma_{np}/\sigma_m)}. \quad (9'')$$

Приравняв правые части (9') и (9''), найдем n :

$$n = \frac{\ln \left[\frac{\ln(K_1/K_2) \text{ при } x = x_2}{\ln(K_1/K_2) \text{ при } x = x_1} \right]}{\ln(x_2/x_1)}. \quad (10)$$

Затем по формулам (9') и (9'') нужно найти значения $\alpha_0 \beta$ при $x = x_1$ и $x = x_2$ и взять среднее значение. Тогда текущее значение σ_r определим из (8)

$$\sigma_m = -\frac{\sigma_{np} C x^n}{\ln K_m}, \quad (11)$$

где K_r – текущее значение показателя выбросоопасности спектрально- аку-

стического прогноза, определенное аппаратурой АК-1.

Таким образом, спектрально-акустический метод контроля (прогноза) позволяет контролировать текущие средние (по длине и величине) напряжения в призабойном пространстве.

Мониторинг газового фактора развязывания ГДЯ с помощью аппаратуры контроля метана (АКМ)

Покажем, что с помощью аппаратуры АКМ можно контролировать газовый фактор выбросоопасности, характеризующий давление газа в пласте и его газодиффузионную способность. Известно, что давление свободного газа P , направленное в сторону горной выработки, на расстоянии x от обнаженной поверхности выработки может быть описано следующей полуэмпирической формулой [10]

$$P = m \sqrt{\frac{Gk_0}{B}} x e^{-\psi x}, \quad (12)$$

где m – константа, характеризующая влияние на давление газа пористости угля; G – расход газа с забоя выработки, м³/с; k_0 – коэффициент, характеризующий газопроницаемость пласта, м⁻³; $B = \frac{S_3}{\eta P_{am}}$; S_3 – площадь поверхности забоя выработки, м²; η – коэффициент динамической вязкости метана, Па·с; P_{at} – давление газа на плоскости забоя, Па; $\psi = 1/x_{ct}$ – константа, определяемая расстоянием (x_{ct}) от забоя до участка массива, где давление газа стабилизируется, м⁻¹.

Попадая в выработку, газ смешивается с воздухом, в результате чего кон-

центрация метана снижается. Газовыделение в выработку X_B складывается из газовыделения с поверхности забоя, бортов выработки и отбитого угля:

$$X_g = GS_3 + G_b S_b + G_{o.y.} S_{o.y.}, \quad (13)$$

где G_b и $G_{o.y.}$ – расход газа с поверхности соответственно бортов выработки и отбитого угля, м³/с·м²; S_b и $S_{o.y.}$ – соответственно, поверхность бортов выработки и отбитого угля на участке от забоя до места установки датчика метана (например, ДМТ-4) аппаратуры АКМ, м².

Это газовыделение можно определить через текущее значение C_T концентрации метана в атмосфере выработки:

$$X_g = \frac{QC_m}{100 - C_m}, \quad (14)$$

где Q – расход воздуха вентилятора местного проветривания (ВМП), проветривающего выработку, м³/с; C_T – текущее значение концентрации метана, замеренное датчиком метана, %. Тогда:

$$G = \frac{Q(C_m - C_\phi)}{100 - (C_m - C_\phi)} - G_b S_b - G_{o.y.} S_{o.y.}, \quad (15)$$

где C_ϕ – фоновая концентрация метана, замеренная до начала работы комбайна, и характеризующая газовыделение из бортов выработки и отбитого, но не отгруженного угля, %.

Искомое давление газа на некотором «критическом» расстоянии от забоя выработки $x_{кр}$, где начинается выбросоопасная зона, определится подстановкой (15) в (12) (см. формулу 16).

Таким образом, концентрация метана в выработке, замеренная аппаратурой контроля метана, характеризует давление свободного газа в при-

$$P = m \sqrt{k_0 \eta P_{am}} \sqrt{\frac{1}{S_3} \left(\frac{Q(C_m - C_\phi)}{100 - (C_m - C_\phi)} - G_b S_b - G_{o.y.} S_{o.y.} \right)} \cdot x_{кр} \exp(-\psi x_{кр}). \quad (16)$$

забойной зоне угольного пласта и его газофльтрационную способность – параметры, определяющие газовый фактор выбросоопасности.

Заключение

В работе показано, что показатель спектрально-акустического метода контроля массива в форме отношения высокочастотной и низкочастотной составляющих акустических шумов горного оборудования характеризует напряженное состояние горного массива, а концентрация метана вблизи

забоя выработки – газовый фактор выбросоопасности. Оба эти параметра можно дистанционно и непрерывно контролировать соответственно аппаратурой типа АК-1 и АКМ. На основании установленных закономерностей можно разрабатывать критерии устойчивости массива к проявлению газодинамических явлений, в частности – внезапных выбросов угля и газа, выраженный через геофизические параметры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шадрин А.В., Шадрина О.Я.* Сравнительный анализ известных критериев текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов// Информационные недра Кузбасса: Труды IV Всероссийской научно-практической конференции. – Кемерово: ООО «ИНТ», 2005. – С. 84-86.
2. *Оценка ударо- и выбросоопасности увлажненных зон угольных пластов/ В.В. Дырдин, А.И. Шиканов, О.П. Егоров, Ю.П. Набатников и др.* – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2000. – 134 с.
3. *Мирер С.В., Хмара О.И., Шадрин А.В.* Спектрально-акустический прогноз выбросоопасности угольных пластов. – М.-Кемерово: Кузбассвузиздат, 1999. – 92 с.
4. *Савич А.И.* О зоне «захвата» упругих волн // Труды Гидропроекта, 1971, №21. С. 29-40.
5. *Крауткремер Й., Крауткремер Г.* Ультразвуковой контроль материалов: Справ. изд.; пер. с нем. – М.: Metallургия, 1991. – 752 с.
6. *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.
7. *Ноздрев В.Ф.* Молекулярная акустика. М.: Высшая школа, 1974. – 288 с.
8. *Новик Г.Я., Ржевская С.В.* Физико-техническое обеспечение горного производства. М.: Недра, 1995. – 256 с.
9. *Глушко В.Т., Ямшиков В.С., Яланский А.А.* Геофизический контроль в угольных шахтах. Киев: Наукова думка, 1978. – 224 с.
10. *Ходот В.В.* Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по горному делу, 1961. – 364 с. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Шадрин А.В. – доктор технических наук, и.о. проректора по научной работе КемГУ.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 10 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. *В.М. Шек.*

