

УДК 622.831.322

**А.В. ПИЩЕВ**, зав. сектором,  
**Е.В. АЛЕКСЕЕВ**, ведущий инженер,  
**А.С. ЛУКАШОВ**, мл. науч. сотрудник; МакНИИ, Макеевка

## КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВСКРЫТИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

*Показана эффективность акустических способов прогноза и предотвращения газодинамических явлений как средства контроля и оценки эффективности технологических процессов при вскрытии угольных пластов пологого и крутого залегания.*

**Ключевые слова:** газодинамическое явление, вскрытие угольного пласта, технологический процесс, акустический сигнал, прогноз выбросоопасности.

Первый выброс в Донбассе произошел в 1906 г. на шахте "Новая Смолянка" интенсивностью 300 т во время вскрытия пласта  $h_7$  "Смоляниновский", а в 1969 г. при вскрытии угольного пласта  $l_3$  "Мазурка" на шахте им. Ю.А. Гагарина произошел самый интенсивный выброс угля и газа – 14000 т горной массы и 250000 м<sup>3</sup> метана.

Проблемой вскрытия угольных пластов занимались многие ученые. Особое место занимают теоретические разработки и шахтные экспериментальные исследования сотрудников МакНИИ. В послевоенные годы, в 50-х, 60-х годах, под руководством и при участии И.В. Боброва, Р.М. Кричевского, В.И. Стикачева, И.И. Балинченко, Ю.Т. Хорунжего, В.И. Николина и др. разработаны и внедрены ряд способов прогноза и предотвращения выбросов при вскрытии угольных пластов [1, 2, 3, 4].

Целью данной статьи является анализ опыта применения способов обеспечения безопасности работающих при вскрытии угольных пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа, как полого, так и крутого залегания, а также контроля выполнения этих способов.

В процессе практического применения различных способов прогноза выбросоопасности при вскрытии угольных пластов определен наиболее технологичный и надежный способ, основанный на оценке основных факторов выбросоопасности: наличие газа – по начальной скорости газовыделения из угольного пласта; физико-механические свойства – по величине

коэффициента крепости  $f$ ; и напряженное состояние – косвенно по величине  $\Delta J$ , отражающей степень нарушенности угля. Этот способ в настоящее время является нормативным [5]. Для прогноза выбросоопасности в месте вскрытия пласта учитывают максимальные значения  $g_n$ ,  $\Delta J$  и минимальное значение  $f$ . Ситуацию перед вскрытием оценивают как невыбросоопасную при одновременном выполнении трех условий:

$$g_n \leq 2 \text{ л/мин,}$$

$$\Delta J \leq 3,5 \text{ мг/г,}$$

$$f \geq 0,6.$$

Если величина хотя бы одного из трех показателей не соответствует указанному условию, то ситуацию считают выбросоопасной и вскрытие пласта осуществляют при прогнозе "опасно". При таком прогнозе перед вскрытием угольного пласта применяются противовыбросные мероприятия.

Основная задача ранее разработанных способов предотвращения выбросов – снижение давления газа в угольном пласте за счет бурения дегазационных скважин, гидровоздействия на пласт, частичное извлечение угля путем гидровымывания, возведение опережающего металлического каркаса, препятствующего внезапному обрушению, высыпанию угля.

Для уменьшения количества выбросов угля и газа, которые происходили при вскрытии угольных пластов, было решено отказаться от взрывных работ, резко разрушающих породную толщу, отделяющую забой от пласта, и перейти на комбайновое вскрытие пласта, обеспечивающее его разгрузку за счет постепенного подхода к нему. Этот способ не внедряется из-за невозможности на сегодняшний день обеспечить необходимость дистанционного управления проходческим комбайном.

Из ранее разработанных способов наиболее приемлемыми оказались гидрорыхление угольного пласта через породную толщу, возведение металлического каркаса, предохраняющего уголь от высыпания в нависающем массиве.

Согласно статистическим данным подавляющее большинство выбросов происходили при вскрытии крутопадающих пластов, а общее их количество сократилось с конца 80-х годов, что объясняется, в основном, достижениями науки и практики в области применения способов их прогноза и предотвращения. В таблице 1 приведены данные, отражающие количество внезапных выбросов угля и газа, произошедших на пластах Донбасса за период 1993-2013 гг.

Таблица 1

Количество внезапных выбросов угля и газа за период 1993-2013 гг.

Год	Всего	При вскрытии пластов
1993	9	4
1994	6	2
1995	3	1
1996	2	1
1997	2	1
1998	4	3
1999	4	1
2000	1	-
2001	5	1
2002	3	-
2003	4	1
2004	1	1
2005	5	-
2006	3	-
2007	1	-
2008	2	-
2009	3	-
2010	3	-
2011	-	-
2012	1	-
2013	4	-

Из данной таблицы видно, что в последние годы отсутствует проблема безопасного вскрытия угольных пластов при выполнении необходимых для предотвращения газодинамических явлений (ГДЯ) мер. Однако авария, произошедшая 08.06.08 г. на шахте им. Карла Маркса ГП "Орджоникидзеуголь" после вскрытия и отхода от угольного пласта  $l_3$  "Мазурка", поставила иную задачу – осуществление контроля факта выполнения противовыбросных мероприятий и оценки их эффективности.

В течение 2009-2011 гг. выполнены исследования, направленные на решение поставленных задач. Основой для контроля выполнения противовыбросных мероприятий и оценки их эффективности послужили акустические способы.

Путем применения акустического зондирования была установлена потенциальная степень выбросоопасности угольных пластов как пологого, так и крутого залегания в местах их вскрытия подготовительными выработками, что позволило определить характер влияния этих выработок на вскрываемый пласт.

Методика акустического зондирования заключалась в следующем. На пункте наблюдений сейсмоприемник закреплялся на обнажении пород, обеспечивая надежный контакт с горным массивом. На расстоянии 1,0-1,5 м слева и справа от места крепления сейсмоприемника наносилась серия ударов по массиву. Акустический сигнал – отклик массива на импульсное возбуждение – записывался на шахтный цифровой регистратор РШЦ. Если в массиве имеются ослабленные контакты, то в слое горных пород, ограничивающем их и горную выработку, возникают собственные (резонансные) колебания, частота которых обратно пропорциональна мощности слоя, а амплитуда в значительной степени зависит от ослабления контакта. Для комплекса осадочных пород связь между резонансной частотой  $f_p$  (Гц) и мощностью слоя  $h$  (м) выражается соотношением:

$$f_p = \frac{2500}{h}.$$

Значение 2500 м/сек – фазовая скорость поперечных волн в слое, по результатам многочисленных экспериментов достаточно постоянная величина.

Обработка акустического сигнала заключается в вычислении среднего спектра и определении по нему резонансных частот и их амплитуд.

Обработка акустического сигнала выполнялась на персональном компьютере по программе МакНИИ ZOND. Кроме определения положения ослабленных контактов и относительной оценки их интенсивности, по программе контроля выбороопасности вычисляется коэффициент выбороопасности, равный отношению высокочастотной составляющей спектра к низкочастотной. Этот коэффициент отражает напряженное состояние массива в пункте наблюдений. Также определялось расстояние до максимальных расслоений, максимальные расстояния до ослабленных контактов.

Для регистрации акустического сигнала в процессе выполнения технологических процессов использовался аппаратно-программный комплекс АПСС1. Он состоит из аппаратуры передачи акустического сигнала на поверхность АПСС1, программного обеспечения PROGNOZ 4.0. Регистрировался и обрабатывался акустический сигнал, возникающий при воздействии горного оборудования в забое исследуемой выработки на горный массив. При этом по численным параметрам спектра акустического сигнала решались задачи прогноза выбороопасности, контроля бурения скважин и гидрорыхления угольного пласта, оценки их эффективности.

Обработка акустического сигнала выполняется в автоматизированном режиме в соответствии с [5] и прошла испытания на практике. Прогностическими параметрами акустического сигнала служили его энергия,

частота максимума спектра, низкочастотная и высокочастотная составляющие и коэффициент выбросоопасности.

Акустический сигнал регистрировался непрерывно, его запись сохранялась в течение трех суток, что явилось источником контроля факта выполнения мероприятий.

При вскрытии опасных по выбросам угольных пластов крутого и пологого залегания имеется существенное различие в степени их выбросоопасности, которая зависит от угла встречи вскрываемой выработки с угольным пластом. Акустические исследования при проведении выработок и вскрытии угольных пластов позволили дать численную характеристику этого различия.

На рис. 1 приведены результаты акустического зондирования в квершлагае № 9 восточного полевого штрека горизонта 1146 м шахты им. Ф.Э. Дзержинского. Квершлаг проводится от полевого штрека для вскрытия угольного пласта  $m_3$  "Толстый" мощностью до 2 м. Полевой штрек пройден по песчанику, а квершлаг проводят по переслаиванию сланцев глинистых и песчаных, песчаников с вскрытием пластов  $m_2$  "Тонкий" и  $m_2'$  "Екатерина", мощность которых до 1,0 и 0,4 м соответственно, угол падения пластов около  $60^\circ$ .

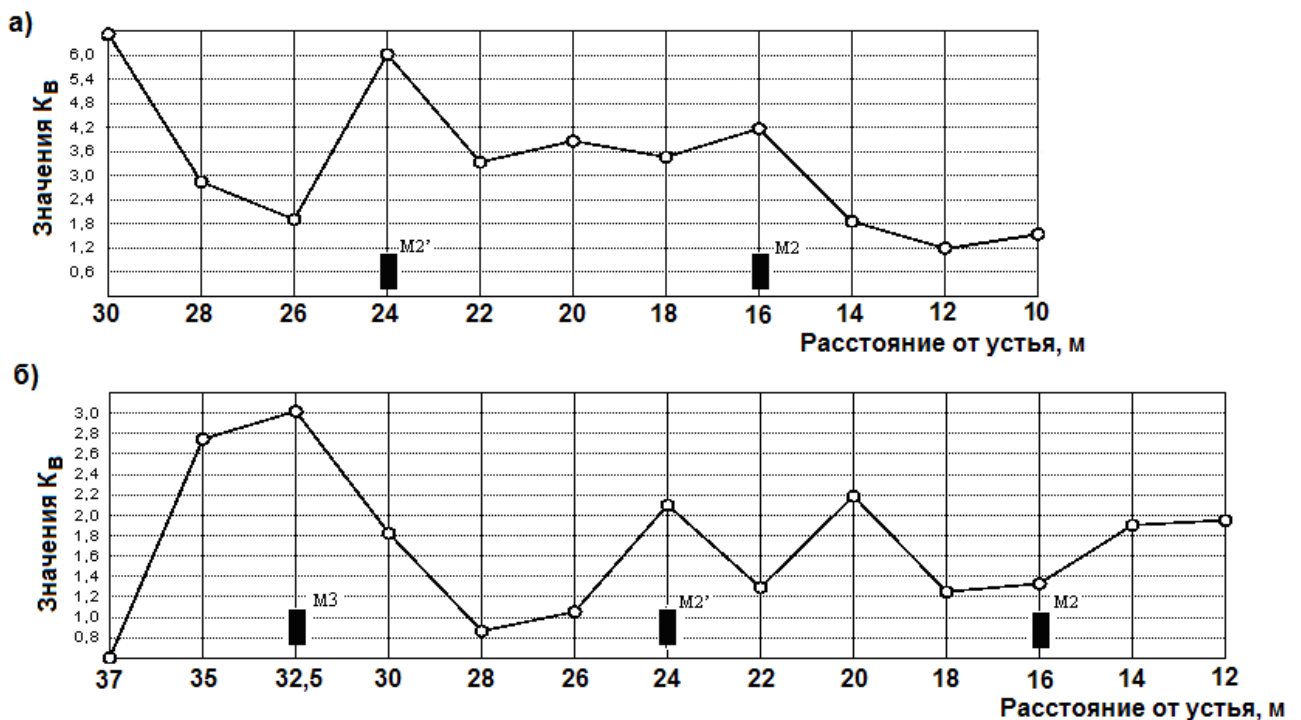


Рис. 1. Распределение значений коэффициента выбросоопасности в квершлагае № 9: а) до вскрытия, б) после вскрытия пласта  $m_3$  восточным полевым штреком шахты им. Ф.Э. Дзержинского.

Перед вскрытием пласта  $m_2$  значения коэффициента выбросоопасности, определенные в результате акустического зондирования, увеличились до 6,0 на фоне 2,0-2,5, перед вскрытием пласта  $m_3$  значения коэффициента выбросоопасности также достигли 6,0 на фоне 1,8-2,4. После вскрытия угольных пластов и отстоя выработки на протяжении более месяца интенсивность аномальных значений  $K_v$  уменьшилась, в среднем, в 2 раза и на фоне 1,0-1,4 в районе пласта  $m_3$  составила 3,0.

Акустические зондирования выполнены на шахте им. Ф.Э. Дзержинского в общей сложности в 12 квершлагах, вскрывающих пласты  $m_2$ ,  $m_2'$ ,  $m_3$ ,  $k_8$ , а также при вскрытии пластов  $l_3$ ,  $l_4^H$ ,  $l_6$  на шахтах "Полтавская", им. В.И. Ленина, им. К.А. Румянцева. Результаты акустических зондирований подтверждают эффект концентрации напряжений вблизи угольных пластов – значения  $K_v$  увеличиваются в 2-3 раза.

Таким образом, вне зависимости от мощности угольного пласта при крутом их залегании они являются концентраторами напряжений, вблизи них (на расстоянии 1-2 м) и на пересечении значения коэффициента выбросоопасности увеличиваются в 2 и более раз. Отстой выработки приводит к общему сокращению напряжений за счет его перераспределения, но угольные пласты остаются концентраторами напряжений. В этом заключается причина большого количества выбросов при их вскрытии и опасность, сопряженная с этим технологическим процессом.

Исследования условий вскрытия (напряженно-деформированного состояния) угольных пластов на пологом их залегании выполнены путем акустического зондирования и непрерывной регистрации и обработки акустического сигнала с использованием аппаратуры АПСС1 и комплекса программ PROGNOZ 4.0.

На рис. 2 приведены значения коэффициента выбросоопасности, полученные при непрерывной регистрации и обработке акустического сигнала, возникающего при воздействии на забой проходческого комбайна.

Конвейерный штрек "бис" центральной панели блока №8 ш/у "Покровское" проводился комбайном по песчаникам кровли угольного пласта  $d_4$  и был направлен на его вскрытие. По мере приближения забоя выработки к угольному пласту уменьшаются значения коэффициента выбросоопасности: при расстоянии до пласта около 3 м значения уменьшаются на 30%, при расстоянии 1,3 м – в 2 раза, в месте вскрытия пласта – в 3,6 раза. Аналогичные исследования выполнены при вскрытии пласта  $l_3$  на шахте "Комсомолец Донбасса" – уменьшение значений  $K_v$  произошло в 3,2 раза.

При акустическом зондировании, которое выполнялось после вскрытия угольного пласта  $d_4$  мощностью 1,4 м в двух штреках ш/у "Покровское", изменение значений  $K_v$  произошло в 2,2-2,5 раза. На шахте "Щег-

ловская-Глубокая" в районе вскрытия угольного пласта  $l_1$  мощностью 2,4 м значения коэффициента выбросоопасности уменьшаются в 2,1 раза.

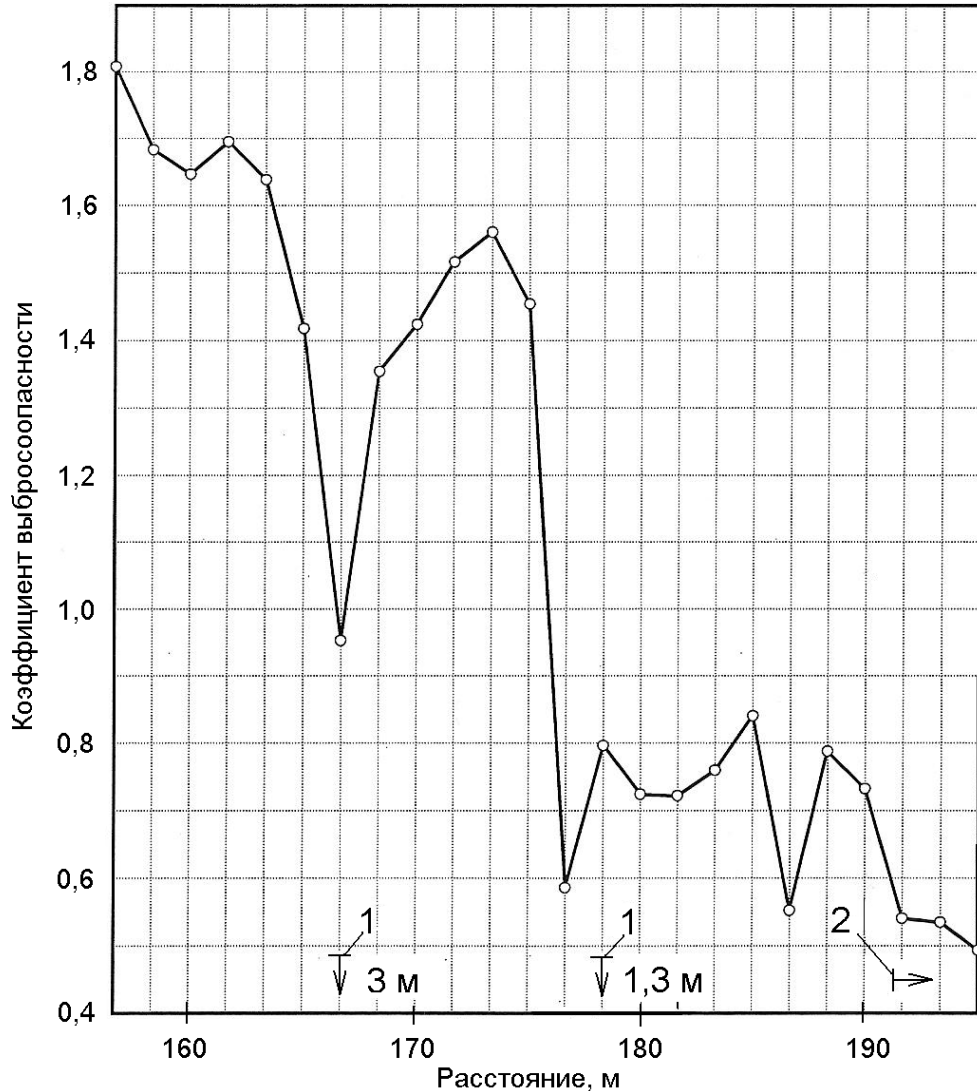


Рис. 2. Значения коэффициента выбросоопасности в районе вскрытия угольного пласта  $d_4$  в конвейерном штреке "бис" центральной панели блока № 8:

1 – расстояние до угольного пласта; 2 – место вскрытия пласта.

Таким образом, при пологом залегании угольных пластов приближение вскрывающей выработки к угольному пласту имеет разгружающее действие, значения коэффициента выбросоопасности уменьшаются в 2-3 раза.

Существенное уменьшение напряженного состояния начинается при расстоянии до угольного пласта 3-5 м. На всех объектах, где выполнены

горно-экспериментальные работы, вскрытие угольных пластов прошло без выбросов угля и газа и каких-либо признаков этого явления.

Контроль процессов вскрытия угольных пластов пологого залегания, учитывая разгружающее действие проводимой выработки, необходимо осуществлять путем регистрации и обработки акустического сигнала в каждом цикле подвигания забоя. Полученная при этом информация существенно дополнит прогноз выбросоопасности при вскрытии угольного пласта. Снижение коэффициента выбросоопасности по мере приближения забоя выработки к угольному пласту свидетельствует о разгружающем ее влиянии. Если при расстоянии до пласта 1 м значения  $K_v$  уменьшились на 70% и более относительно значений при расстоянии до пласта 5 м, то степень разгрузки угольного пласта достаточная для его вскрытия проходческим комбайном без дистанции после выполнения прогноза выбросоопасности при вскрытии угольных пластов и получении прогноза "неопасно".

Более сложная ситуация при вскрытии угольных пластов крутого падения. Являясь концентратором напряжений, приближение забоя выработки к угольному пласту на расстояние ближе 2 м сопряжено с опасностью внезапного выброса угля и газа. Вскрывающие выработки проводятся буровзрывным способом, технология которого связана с созданием мощного импульсного воздействия на массив, провоцирующего внезапные выбросы угля и газа. Совокупность этих факторов приводит к высокой степени опасности при вскрытии пластов крутого падения и необходимости применения специального комплекса мероприятий.

В табл. 2 приведены данные о вскрытии угольных пластов и применяемых при этом мероприятий по борьбе с ГДЯ. Из приведенных в табл. 2 данных следует, что в подавляющем большинстве случаев при прогнозе "опасно" в качестве противовыбросных мероприятий применяют гидрорыхление угольного пласта.

Следует заметить, что под высоким давлением вода повышает трещиноватость угольного пласта, способствуя его дегазации, но и снижает его прочностные характеристики, что повышает опасность его высыпания, которое зачастую приводит к развитию выброса угля и газа. Для исключения подобной ситуации необходимо устанавливать каркасную крепь, предотвращающую высыпание угля.

При вскрытии угольного пласта в условиях крутого падения необходимо осуществлять контроль всех технологических процессов: подход горной выработки к угольному пласту, выполнение гидрорыхления, установка каркасной крепи.



Таблица 2

Данные о вскрытии угольных пластов и применяемых при этом мероприятий по борьбе с ГДЯ

Вскрытия	Годы														Всего
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Всего	97	100	100	103	103	71	96	70	127	82	107	78	82	73	1289
В т.ч. пологое / кру- тое падение	21/76	33/67	18/82	27/76	25/78	11/60	36/60	26/44	40/87	34/48	53/54	22/56	16/66	20/53	382/907
С прогнозом "неопасно"	11/35	24/24	17/41	26/39	25/53	11/32	27/36	22/30	34/57	34/39	53/44	21/43	15/53	19/42	339/568
Вскрытие (сбойка) на заранее пройден- ную выработку	18/6	10/5	0/31	0/11	0/15	0/3	0/11	0/11	0/11				0/2		28/106
С мероприятиями:															
- гидровывывание	0/1	0/1		0/3											0/5
- гидрорыхление	0/13	0/18	1/4	0/10	0/7	0/17	9/0	4/0	6/0	0/1	0/1		1/1	1/11	22/83
- гидродинамиче- ское воздействие на пласт (методика ИГТМ)													0/1		0/1
- возведение карка- са	0/17	0/22	0/6	0/12	0/2	0/8	0/13	0/3	0/19	0/8	0/8	0/13	0/9		0/140
- дегазация пласта	0/3	0/10		0/1	0/1						0/1	1/0			1/16
- разгрузочная щель				1/0											1/0

В процессе проведения выработки контроль технологических процессов и состояние горного массива необходимо выполнять путем регистрации и обработки акустического сигнала, возникающего при бурении шпуров для взрывных работ.

Контроль выполнения мероприятий по борьбе с ГДЯ также необходимо осуществлять по параметрам акустического сигнала, который возникает при гидрорыхлении угольного пласта и бурении скважин для установки каркасной крепи.

Контроль гидрорыхления пласта выполняется по способу, разработанному и применяемому на угольных пластах пологого залегания. Оценка эффективности гидрорыхления осуществляется в процессе высоконапорного нагнетания воды, служащего источником сигнала. Рост низкочастотной составляющей акустического сигнала свидетельствует об увеличении расслоения углевмещающих пород на расстоянии до 10-15 м от пласта, а уменьшение значений после достижения максимума – о завершении активного процесса нагнетания воды в пласт. Дальнейшее повышение его трещиноватости и дегазация обеспечиваются за счет взаимодействия углевмещающих пород на угольный пласт.

Обработка акустического сигнала при бурении скважин для установки каркасной крепи осуществляется поинтервально по мере наращивания буровых штанг. Такой порядок позволяет контролировать как количество пробуренных скважин, так и их длину. Процессы установки в скважины арматуры и ее крепления могут быть установлены путем прослушивания акустического сигнала, который записывается и сохраняется в течение трех суток в обрабатывающей программе. В результате обработки сигнала имеются данные о среднем значении коэффициента выбороопасности и его распределении по длине скважины.

В комплекс программного обеспечения PROGNOZ 4.0 разработана и включена программа "Тех. процессы", которая обобщает все процедуры проведения выработок и вскрытия угольного пласта: содержит даты, вид и время проведения работ, длительность и оценку эффективности. В этой программе сосредоточены результаты обработки акустического сигнала каждого из видов технологического процесса, что дает объективное представление об их выполнении и результатах.

## ВЫВОДЫ

Применение акустических методов при проведении выработок и вскрытии угольных пластов на пологом и крутом залегании обеспечивает объективный контроль факта выполнения технологических процессов, предусмотренных паспортом, оценивает состояние горного массива и эф-

фективность выполненных способов борьбы с этими явлениями, что существенным образом позволяет обеспечить высокий уровень безопасности работающих на шахтах, отрабатывающих угольные пласты, склонные к ГДЯ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров И. В. Работы МакНИИ в области борьбы с внезапными выбросами угля и газа за 1956-60 гг. / И. В. Бобров, Р. М. Кричевский // Борьба с внезапными выбросами в угольных шахтах: сб. тр. науч.-техн. совещ., декабрь 1960 г., Донецк. – М.: Госгортехиздат, 1962. – С. 39-174.
2. Николин В.И. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах / В. И. Николин, И. И. Балинченко, А. А. Симонов. – М.: Недра, 1981. – 300 с.
3. Хорунжий Ю.Т. Состав газов как показатель выбросоопасности угольного массива / Ю. Т. Хорунжий, И. С. Фридман, Э. И. Тимофеев // Уголь Украины. – №4. – С. 42-44.
4. Стикачев В.И. О некоторых особенностях газовыделения при взрывных работах / В. И. Стикачев // Труды МакНИИ. – Макеевка - Донбасс, 1961. – № 15. – С.18-23.
5. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.00174088.011-2005. – Офиц. изд. – К.: Минуглепром Украины, 2005. – 224 с. – (Стандарт Минуглепрома Украины).

Получено: 18.09.2013

*Показано ефективність акустичних способів прогнозу та запобігання газодинамічним явищам, як засоби контролю і оцінки ефективності технологічних процесів під час розкриття вугільних пластів пологого та крутого залягання.*

**Ключові слова:** газодинамічне явище, розкриття вугільного пласта, технологічний процес, акустичний сигнал, прогноз викиднебезпеки.

*The efficiency of acoustic methods of gas-dynamic effect prognosis and prevention as a mean of control and assessment of technological processes efficiency by opening of flat-lying and steep coal seams has been shown.*

**Keywords:** gas-dynamic effect, opening of a coal seam, technological process, acoustic signal, outburst hazard prognosis.