

I. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 622.831

А.В. НИКИФОРОВ, канд. техн. наук, зав. отд.,
М.Ф. РЫЖКОВ, зав. лаб.; МакНИИ, г. Макеевка

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПЕРЕД ВЫБРОСАМИ УГЛЯ И ГАЗА

В статье представлены исследования распределения коэффициента выбросоопасности в местах выбросов угля и газа, произошедших при ведении взрывных работ в нижней нише 3-й западной лавы уклонного поля центральной панели пласта h_6' ОП «Шахта им. А.А. Скочинского» ГП «ДУЭК».

Ключевые слова: выброс угля и газа, коэффициент выбросоопасности, параметры акустического сигнала, буровзрывные работы.

Выбросы угля, породы и газа являются опасными природными явлениями, которые приводят к нарушению производственного процесса угольного предприятия и сопровождаются финансовыми затратами на их ликвидацию и, зачастую, смертельным травматизмом людей.

Согласно [1] в период с 1906 по 2007 гг. на шахтах Донбасса произошло 2715 внезапных выбросов угля и газа при механическом воздействии на угольный пласт, 4960 выбросов угля и газа при взрывных работах по угольному пласту и 4236 выбросов породы и газа при взрывных работах. Таким образом, за все время ведения горных работ на шахтах Донбасса произошло более 12000 выбросов угля, породы и газа. Данные о газодинамических явлениях (ГДЯ) в период с 2007 по 2016 гг. представлены в табл. 1.

Несмотря на то, что исследованию природы возникновения выбросов угля и газа посвящено огромное количество работ [2-5], природа и объяснение причин данного явления остаются актуальными проблемами для безопасной разработки пластов и требуют проведения исследований и в настоящее время.

Целью статьи является установление условий возникновения выбросов угля и газа, происходящих при взрывных работах, с помощью исследования изменения параметров акустического сигнала, возникающего при работе очистного комбайна.

Таблица 1

Сведения о ГДЯ и травматизме шахтеров за период 2007-2016 гг.

Год	Внезапные выбросы угля и газа	Выбросы угля и газа при БВР в режиме СВ	Выбросы породы и газа	Всего ГДЯ
2007	6 (4)	29	26	61
2008	4 (16)	32	14	50
2009	4 (14)	35	5	44
2010	5 (10)	40	8	53
2011	1 (1)	21	7	29
2012	1 (-)	40	10	51
2013	6 (7)	21	20	47
2014	2 (2)	9 (7)	7	18
2015	1 (-)	6	-	7
2016	3 (-)	6	-	9
Итого	33	239	97	369

Примечание. В скобках приведено количество смертельно травмированных шахтеров; БВР в режиме СВ – буровзрывные работы в режиме сотрясательного взрывания.

Исследования проводились в ОП «Шахта им. А.А.Скочинского» ГП «ДУЭК», за все время работы которой было зарегистрировано 40,6% выбросов от общего количества всех явлений на шахтах Донбасса (табл. 2).

Таблица 2

Сведения о количестве выбросов угля, породы и газа на ОП «Шахта им. А.А.Скочинского» ГП «ДУЭК»

Выбросы:	Выбросы на шахтах Донбасса	Выбросы на ОП «Шахта им. А.А.Скочинского» ГП «ДУЭК»	% от всех выбросов на шахтах Донбасса
по углю	7911	1413	17,9
по породе	4307	3552	82,5
всего	12218	4965	40,6

ОП «Шахта им. А.А. Скочинского» ГП «ДУЭК» разрабатывает одиночный, особо опасный по внезапным выбросам угля и газа пласт h_6' «Смоляниновский» мощностью 1,2-2,2 м, углом падения 8-18°. Природная газоносность пласта 22,2 м³/т с.б.м. Пластово-промышленная зольность угля 15,4-17,9 %, влажность – 2,1 %, выход летучих веществ – 33,8-34,2 %.

Объектом для исследований была выбрана 3-я западная лава уклон-

ного поля центральной панели пласта h_6' гор. 1340 м, в которой при проведении нижней ниши буровзрывным способом в режиме сотрясательного взрывания в период с 22.04.15 по 10.10.17 было зарегистрировано 11 выбросов угля и газа. Основные параметры выбросов угля и газа представлены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры выбросов угля и газа в нижней нише 3-й западной лавы уклонного поля центральной панели пласта h_6' гор. 1340 м

№ п/п	Дата	Интенсивность, т	Газовыделение, м ³
1	22.04.15	391,3	8900
2	05.10.16	280,8	3900
3	28.11.16	57,6	2700
4	15.01.17	252,6	8500
5	19.02.17	18	930
6	26.02.17	6,2	800
7	04.03.17	17	900
8	24.06.17	195	5520
9	20.07.17	60	3500
10	30.09.17	3	7600
11	10.10.17	25	5100

Анализ данных табл. 3 показывает, что выбросы угля и газа по интенсивности выброшенного угля можно разделить на две категории до 60 т и более. В первую категорию попадают выбросы: № п/п 3, 5-7, 9-11, во вторую – 1, 2, 4, 8.

В качестве комплекса мер по борьбе с выбросами угля и газа в 3-й западной лаве уклонного поля центральной панели пласта h_6' гор. 1340 м применяются следующие мероприятия:

- постоянное выполнение гидрорыхления угольного пласта в комбайновой части лавы с контролем эффективности по динамике газовыделения из шпуров [7];

- проведение нижней ниши буровзрывным способом в режиме сотрясательного взрывания;

- контроль напряженно-деформированного состояния горного массива и контроль выполнения технологических операций по выемке угля в лаве (выемка угля комбайном, зачистка угля комбайном, выполнение косога заезда, технологический перерыв) осуществляется с помощью анализа акустического сигнала программным обеспечением PROGNOZ 4.0 и аппаратурой АПСС1 [8].

Геофоны аппаратуры АПСС1 устанавливались в конвейерном и вентиляционном штреках и позволяли осуществлять контроль напряженного

состояния горного массива всего очистного забоя. Так как выбросы угля и газа происходили в нижней нише, то для анализа состояния массива использовались данные получаемые от геофона, расположенного в конвейерном штреке.

Изменение напряженного состояния массива в нижней нише оценивалось с помощью анализа коэффициента выбросоопасности K_B , увеличение значений которого свидетельствует о росте напряжений в призабойной части пласта.

Суть исследований заключалась в том, чтобы на момент выброса угля и газа установить закономерность изменения напряженно-деформированного состояния массива по динамике распределения коэффициента выбросоопасности K_B .

Данные табл. 3 были разбиты на две категории, по каждому из выбросов определялась ретроспектива коэффициента выбросоопасности K_B глубиной 14 циклов выемки угля в лаве или 7,8 м подвигания очистного забоя до ГДЯ (табл. 4, 5).

На основании таблиц 4, 5 были построены графики (рис. 1, 2) изменения коэффициента выбросоопасности и, как следствие, изменения напряженно-деформированного состояния массива перед выбросом угля и газа.

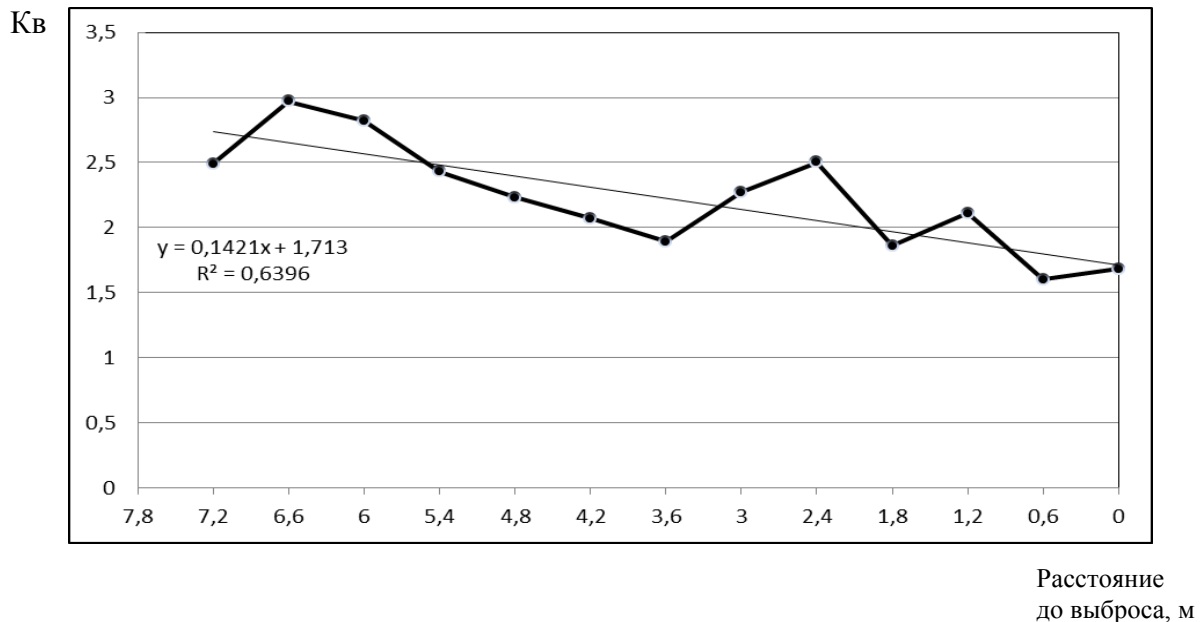


Рис. 1. Динамика изменения коэффициента выбросоопасности K_B перед выбросами угля и газа интенсивностью до 60 т угля

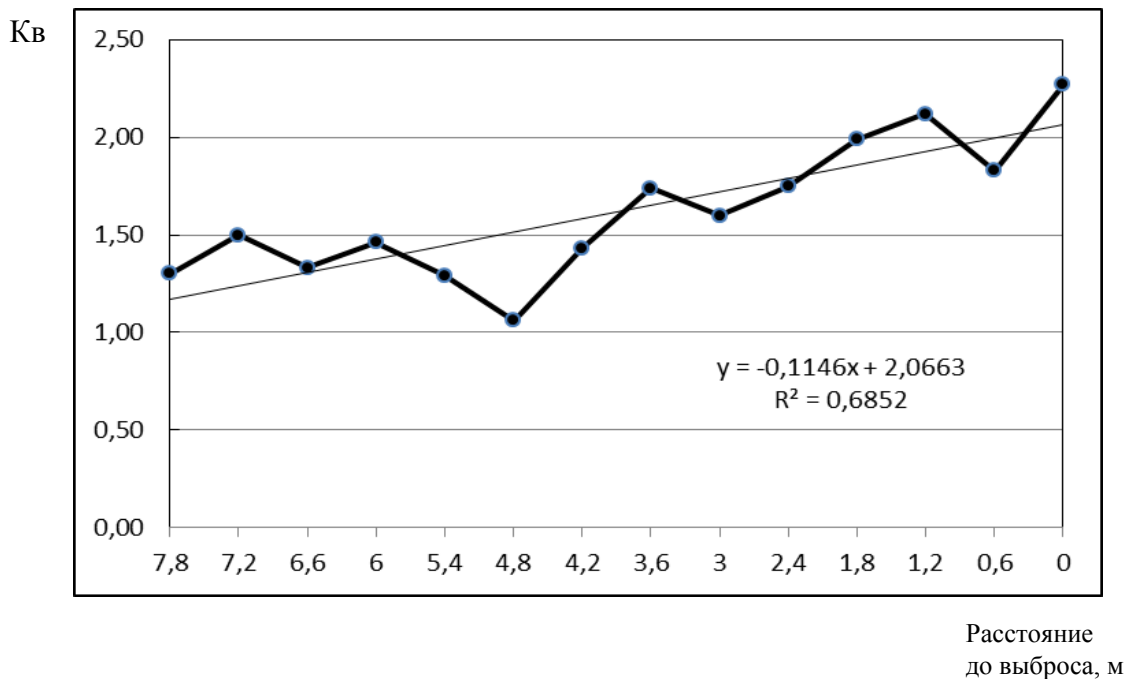


Рис. 2. Динамика изменения коэффициента выбросоопасности K_B перед выбросами угля и газа интенсивностью более 60 т угля

Анализ рис. 1 показывает, что выбросы угля и газа интенсивностью до 60 т угля происходили через 6,6 м после регистрации максимального значения коэффициента выбросоопасности $K_B = 2,97$ и снижения его значения до $K_B = 1,68$.

Анализ рис. 2 показывает, что выбросы угля и газа интенсивностью более 60 т угля происходили через 4,8 м после регистрации минимального значения коэффициента выбросоопасности $K_B = 1,06$ и увеличения его значения до $K_B = 2,27$.

Объяснение столь противоположных результатов распределения коэффициента выбросоопасности K_B в местах выбросов угля и газа с различной интенсивностью стоит искать в теории формирования выбросоопасных зон, обусловленных задержкой деформаций пород кровли.

Напряженно-деформированное состояние призабойной части массива, наравне с газовыми характеристиками угольного пласта, является одним из главных факторов, определяющим формирование ГДЯ.

В результате исследований, выполненных Бобровым И.В. [9], была установлена особенность развития деформаций пород кровли и почвы, заключающаяся в задержке деформаций в выбросоопасных зонах. При ведении горных работ на пластах, где наблюдались равномерные деформации примерно одинаковой интенсивности, предупредительных признаков и внезапных выбросов угля и газа зарегистрировано не было.

Таблица 4

Распределение коэффициента выбросоопасности K_B от места выброса угля и газа интенсивностью до 60 т угля

Дата выброса угля и газа	Расстояние до выброса угля и газа, м														Интенсивность, т	Газовыделение, м ³
	7,8	7,2	6,6	6	5,4	4,8	4,2	3,6	3	2,4	1,8	1,2	0,6	0		
28.11.2016	1,94	1,77	1,98	1,89	1,18	2,66	1,49	1,93	1,9	1,81	1,99	2,71	2,85	2,16	58	2700
19.02.2017	0,4	2,19	2,32	1,04	2,77	1,62	2,69	1,85	2,45	1,88	1,88	1,94	1,05	1,99	18	930
26.02.2017	2,39	2,81	0,98	1,05	0,47	0,55	1,72	1,38	3,26	1,34	1,5	1,94	1,61	1,59	6	800
04.03.2017	1,59	3,03	3,36	2,38	1,68	1,23	1,56	2,38	1,08	0,69	0,74	0,77	0,43	0,59	17	900
20.07.2017	1,67	2,45	5,41	6,22	4,26	1,93	4,7	1,77	1,87	4,71	2,58	1,5	1,03	0,95	60	3500
30.09.2017	2,72	3,93	3,81	4,45	5,17	6,16	1,29	2,74	3,86	4,41	2,17	2,46	2,51	3,29	3	7600
10.10.2017	0,79	1,22	2,91	2,74	1,51	1,45	1,05	1,15	1,48	2,65	2,19	3,44	1,7	1,21	25	5100
Среднее	1,64	2,49	2,97	2,82	2,43	2,23	2,07	1,89	2,27	2,50	1,86	2,11	1,60	1,68	27	3075

Таблица 5

Распределение коэффициента выбросоопасности K_B от места выброса угля и газа интенсивностью более 60 т угля

Дата выброса угля и газа	Расстояние до выброса угля и газа, м														Интенсивность, т	Газовыделение, м ³
	7,8	7,2	6,6	6	5,4	4,8	4,2	3,6	3	2,4	1,8	1,2	0,6	0		
22.04.2015	1,34	1,55	1,87	1,88	1,23	0,65	1,97	2,26	1,73	2,12	2,29	2,36	1,13	1,28	390	8900
05.10.2016	0,39	0,46	0,49	0,44	0,61	0,78	0,67	1,32	2,22	2,47	2,52	2,03	2,28	2,19	280	3900
15.01.2017	0,25	0,31	0,63	0,7	0,57	0,61	1,02	1,22	0,31	0,35	0,31	0,42	0,37	0,4	253	8500
24.06.2017	3,2	3,69	2,31	2,8	2,73	2,18	2,05	2,17	2,14	2,06	2,84	3,65	3,54	5,2	195	5520
Среднее	1,30	1,50	1,33	1,46	1,29	1,06	1,43	1,74	1,60	1,75	1,99	2,12	1,83	2,27	280	6705

Исследованиями [10, 11] установлено, что в очистном забое, как правило, активное развитие деформаций при снятии полосы угля комбайном охватывает толщу пород кровли мощностью 20-40 м. При этом наиболее активные контакты располагаются по толще пород с коэффициентом пропорциональности близким к 2. Так при активизации деформаций на расстоянии 25 м от угольного пласта, как правило, развиваются деформации в средней части толщи (около 12 м), где возникают максимальные напряжения вдоль напластования, в средней части нижней половины толщи (около 6 м) и вблизи угольного пласта (около 3 м).

Динамика развития деформаций такова: в состоянии равновесия, спустя 2-3 часа после предыдущей выемки угля, ослабленные механические контакты (ОМК) приурочены к контактам на расстоянии 3-6 м от пласта в кровле, непосредственно после выемки угля деформации развиваются на наиболее удаленном контакте (20-40 м от пласта в кровле) и в течение 1,5-2 часов последовательно охватывают нижележащую толщу. При таком порядке развития деформаций в призабойной части происходят следующие изменения: после снятия полосы угля максимум опорного давления резко перемещается вглубь массива, а с течением времени движется по направлению к забою, при этом увеличивается коэффициент концентрации напряжений, и крутизна эпюры напряжений. Такое перемещение максимума опорного давления отжимает угольный пласт, создает в нем повышенную трещиноватость, отжимает газ, сосредоточенный в трещинах и порах. В процессе такого движения создаются безопасные условия для выемки очередной полосы угля. В случае задержки развития межслоевых деформаций не происходит значительного перемещения максимума опорного давления вглубь массива со всеми вытекающими последствиями. В такой ситуации при выемке очередной полосы угля не происходит расслоение толщи большой мощности и средних ее частей, она начинает «зависать» по мере движения забоя вперед. В «зависающей» толще пород происходит накопление потенциальной энергии. В определенный момент напряжения на контактах превышают предел прочности межслоевых соединений, интенсивно развиваются деформации, происходит расслоение пород кровли, переход накопленной потенциальной энергии в кинетическую, которая расходуется на разрушение массива, включая угольный пласт.

Во время задержки деформаций и зависания пород кровли после выемки полосы угля прекращаются или становятся незначительными перемещения вперед максимума опорного давления. Тем самым последний запирает газ в пласте, затрудняет его дегазацию в призабойной части. Общеизвестно, что повышенная концентрация газа в пласте уменьшает его крепость, снижает несущую способность. Создаются условия, благоприятные для образования насыщенных газом очагов разрушенного угля, которые

являются источником внезапного выброса [12].

Из сопоставления вышесказанного с рисунком 1 следует, что при выбросах угля и газа небольшой интенсивности (до 60 т угля) при положении нижней ниши в области максимальной задержки деформаций (при расстоянии 6,6 м до будущего явления) влияния газового фактора недостаточно для реализации выброса угля и газа. В тоже время, угольный пласт под воздействием повышенного горного давления и отсутствия перемещения опорного давления впереди забоя, за счет нарушения естественной дегазации, накапливает газ в призабойной зоне пласта. Выброс угля и газа происходит после начала развития расслоений пород кровли и начала движения опорного давления, которое открывает путь газу из глубины массива к забою выработки. Небольшая интенсивность выбросов угля и газа как раз и подтверждает то, что они происходят уже в месте, которое начинает постепенно разгружаться от горного давления, что и отображается в динамике уменьшения коэффициента выбросоопасности k_b .

Так за 6,6 м до выброса угля и газа $k_b = 2,97$, а на момент выброса $k_b = 1,68$ или динамика снижения составляет 1,8 раза.

Анализ графика распределения коэффициента выбросоопасности k_b (рис. 2) при выбросах угля и газа интенсивностью более 60 т говорит о принципиально других условиях реализации явления.

При таких условиях выброс угля и газа происходит в месте максимальной задержки деформаций пород кровли, когда породы кровли не расслаиваются и монолитной плитой зависают над угольным пластом, тем самым дополнительно нагружают призабойную часть выработки и препятствуют естественной дегазации угля. Анализ рис. 2 показывает быстрый рост коэффициента выбросоопасности k_b за 4,8 м до выброса угля и газа с 1,06 до 2,27 на момент его возникновения, т.е. динамика увеличения k_b составляет 2,1 раза.

Сравнительный анализ табл. 4, 5 показывает, что выбросы угля и газа в месте максимальной задержки деформаций пород кровли обладают большей интенсивностью и газовыделением по сравнению с выбросами, происходящими в местах выхода забоев выработок из зоны задержек деформаций. Так, интенсивность выбросов по количеству выброшенного угля превышает в 10,4 раза, а интенсивность газовыделения – в 2,2 раза.

ВЫВОДЫ

1. В ходе проведенных исследований установлено, что выбросы угля и газа происходят как в местах максимальной задержки деформаций пород кровли через 4,8 м, так и при выходе забоя выработки из такой зоны не более чем через 6,6 м.

При этом выбросы угля и газа, которые происходят в месте макси-

мальной задержки деформаций пород кровли, характеризуются большим количеством выброшенного угля (более чем в 10,4 раза) и большим количеством выделившегося газа (более чем в 2,2 раза).

2. Задержка деформаций пород кровли отражается на динамике изменения коэффициента выбросоопасности k_v в обоих случаях проявления выбросов угля и газа. Так, выброс угля и газа при выходе из зоны задержки деформаций пород кровли, характеризуется уменьшением коэффициента выбросоопасности k_v в 1,8 раза от максимального. Выброс угля и газа в месте максимальной задержки деформаций пород кровли характеризуется ростом коэффициента выбросоопасности k_v в 2,1 раза перед возникновением ГДЯ.

3. Перспектива дальнейших исследований должна быть направлена на изучение изменения концентрации газовыделения при взрывных работах с целью уточнения влияния газового фактора на возникновение выбросов угля и газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса (1906-2007 г.г.) / [Волошин Н.Е., Вайнштейн Л.А., Брюханов А.М. и др.]. – Донецк: СПД Дмитренко, 2008. – 920 с.
2. Бобров И.В. Внезапные выбросы угля и газа на шахтах Донбасса / Бобров И.В., Кричевский Р.М., Михайлов В.И. – М.: Углетехиздат, 1954. – 514 с.
3. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа / Ходот В.В. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 364 с.
4. Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. – М.: Недра, 1978. – 164 с.
5. Забигайло В.Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность / Забигайло В.Е., Николин В.И. – Киев: Наук. думка, 1990. – 168 с.
6. Эттингер И.Л. Внезапные выбросы угля и газа и структура угля / Эттингер И.Л. – М.: Недра, 1969. – 160 с.
7. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.00174088.011-2005. – Офиц. изд. – Киев, 2005. – 222 с.
8. Совершенствование способов и средств безопасной разработки угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям: монография / [В.П. Коптиков, Б.В. Бокий, С.П. Минеев и др.]. – Донецк: ИПП «Проминь», 2016. – 480 с.
9. Бобров И.В. Борьба с внезапными выбросами угля и газа / Бобров И.В., Кричевский Р.М. – К.: Техника, 1964. – 328 с.

10. Лунев С.Г. Динамика призабойной части угольного пласта при его выемке / С.Г. Лунев, Г. И. Колчин // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: материалы XI Междунар. науч. школы им. академика А.С. Христиановича, 17 – 21 сент. 2001. – Симферополь, 2001. – С. 106-107.

11. Акустический контроль динамики напряженно-деформированного состояния горного массива / [А.М. Брюханов, В.П. Коптиков, Г. И. Колчин, А. В. Никифоров] // Горная геология, геомеханика и маркшейдерия: междунар. науч.-техн. конф.; 11-15 окт. 2004. – Донецк, 2004. – Ч. 1. – С. 459-463.

12. Механизм реализации выбросоопасности угольных пластов / А. И. Бобров, А. В. Агафонов, М. С. Сапунов [и др.] // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка - Донбасс, 1998. – С. 60-77.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук. Кудиновым Ю.В.
Получено: 10.01.18

INVESTIGATION OF CHANGE DYNAMIC OF ACOUSTIC PARAMETERS BEFORE COAL AND GAS OUTBURST

The research paper highlights the studies of outburst hazard coefficient distribution in the locations of coal and gas outburst by blasting in the lower stable hole of the 3rd west longwall face of dip-working panel of central seam panel h₆' of OP «Mine named after A.A. Skochinsky» GP «DUEK».

Keywords: coal and gas outburst, outburst hazard coefficient, acoustic signal parameters, drilling and blasting.