

Д-р техн. наук, проф. С.П. Минеев
(ИГТМ НАН Украины)

канд. техн. наук А.А. Рубинский,
Г.И. Колчин, инж. А.В. Никифоров,
Я.Н. Бойко, Л.М. Левченко (МакНИИ)

О МЕТОДОЛОГИИ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ВЫБРОСООПАСНЫХ ЗОН НА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

Наведено методику експертної оцінки викидонебезпечних зон на вугільних пластах що обробляються в Донецькому басейні та результати експериментальних досліджень показників викидонебезпечності пласта на шахті "Ясиновская-Глубокая".

ABOUT METHODOLOGY OF THE EXPERT ESTIMATION OF ZONES OF DANGEROUS EMISSION ON COAL LAYERS

The technique of an expert estimation zones of dangerous emission on coal layers fulfilled in Donetsk pool and results of experimental researches of parameters of emission danger a layer on "Yasinovskaya-Glubokaya" is resulted.

В настоящее время на 76 шахтах Донбасса ведутся горные работы на 95 выбросоопасных и 105 угрожаемых шахтопластах [1]. При этом для прогноза выбросоопасности угольных пластов в основном применяются способы, которые разрабатывались при глубинах отработки угольных пластов 400-600 м, поэтому в современных условиях многие из них уже не являются достаточно точными и надежными. Снижение же точности прогноза выбросоопасности на современных глубинах добычи угля приводит к необоснованным затратам при отработке угрожаемых по выбросам угля и газа пластов, особенно, когда встает вопрос о необходимости их перевода из категории угрожаемых в категорию выбросоопасных.

Цена ошибок второго рода существенно отличается для угрожаемых и выбросоопасных угольных пластов. Если на выбросоопасных пластах выявление ложной опасной зоны связано лишь с неоправданным применением противовыбросных мероприятий или применением буровзрывных работ (БВР) в режиме сотрясательного взрывания (СВ), то для горных работ на угрожаемых угольных пластах такие ошибки обуславливают преждевременный перевод пластов в категорию выбросоопасных, что связано с огромными дополнительными затратами. Поэтому проблема определения реальной степени выбросоопасности отрабатываемого пласта всегда являлась весьма актуальной.

В данной статье рассматриваются вопросы систематизации, связанные с обоснованием и разработкой надежной методики оценки реальной выбросоопасности аномальных зон, выявленных любым из нормативных прогнозов выбросоопасности.

В настоящее время практически любой из существующих нормативных способов прогноза выбросоопасности, как правило, "контролирует" только один из факторов выбросоопасности, в то время как в подготовке и реализации внезапного выброса угля и газа участвуют все три фактора [2-4]: напря-

женно-деформированное состояние (НДС) угольного пласта, газодинамическое состояние призабойной части угольного пласта и физико-механические свойства угля.

Поэтому ранее, для более достоверной оценки таких аномальных зон, МакНИИ было разработано Положение [5], которое позволило оценить степень выбросоопасности по каждому из исследуемых факторов. Повышение достоверности прогноза выбросоопасности в этой методике достигалось за счет применения комплекса нормативных способов, обеспечивающих оценку напряженно-деформированного состояния призабойной части, крепости и структурной нарушенности угольного пласта и газового фактора. Данный методологический подход в целом включает в себя ряд нормативных способов прогноза (см. таблицу 1) и заключается в следующем:

1. Для оценки выбросоопасности по НДС призабойной части угольного пласта необходимо применять один из следующих способов:

- определение величины зоны разгрузки по динамике газовыделения в соответствии с требованиями [3];
- определение величины зоны разгрузки в соответствии с требованиями [6];
- оценку выбросоопасности по результатам импульсного зондирования массива в соответствии с требованиями [3].

Причем, импульсное зондирование состояние углепородного массива рекомендовано выполнять в подготовительных забоях – на 50-ти метровых участках, прилегающих к забою, не более чем через 5 м, а в очистных забоях – по всей длине забоя, но не более, чем через 10-15 м.

При анализе полученной информации (ситуации по НДС) исследуемая зона считается опасной при наступлении одного из следующих условий (см. табл. 2):

- если безопасная глубина выемки, вычисленная по величине зоны разгрузки, хотя бы по одной из скважин, будет меньше технологической глубины выемки в очередном цикле, или расстояние до максимума опорного давления будет менее утроенной мощности пласта, или значения этих параметров по двум соседним скважинам отличаются в 2 раза и более;
- если по результатам импульсного зондирования массива отношение вычисленных коэффициентов выбросоопасности будет:

$$K_{max} / K_{cp} > 3 \quad \text{или} \quad K_{max} > K_{кр}. \quad (1)$$

где K_{max} и K_{cp} – максимальное и среднее значения коэффициента выбросоопасности; $K_{кр}$ – критическое значение коэффициента выбросоопасности, установленное для данного шахтопласта [3].

2. Для оценки выбросоопасности исследуемой аномальной зоны по физико-механическим свойствам угольного пласта рекомендовано применение одного из следующих способов:

Таблица 1 – Основные способы оценки выбросоопасных зон

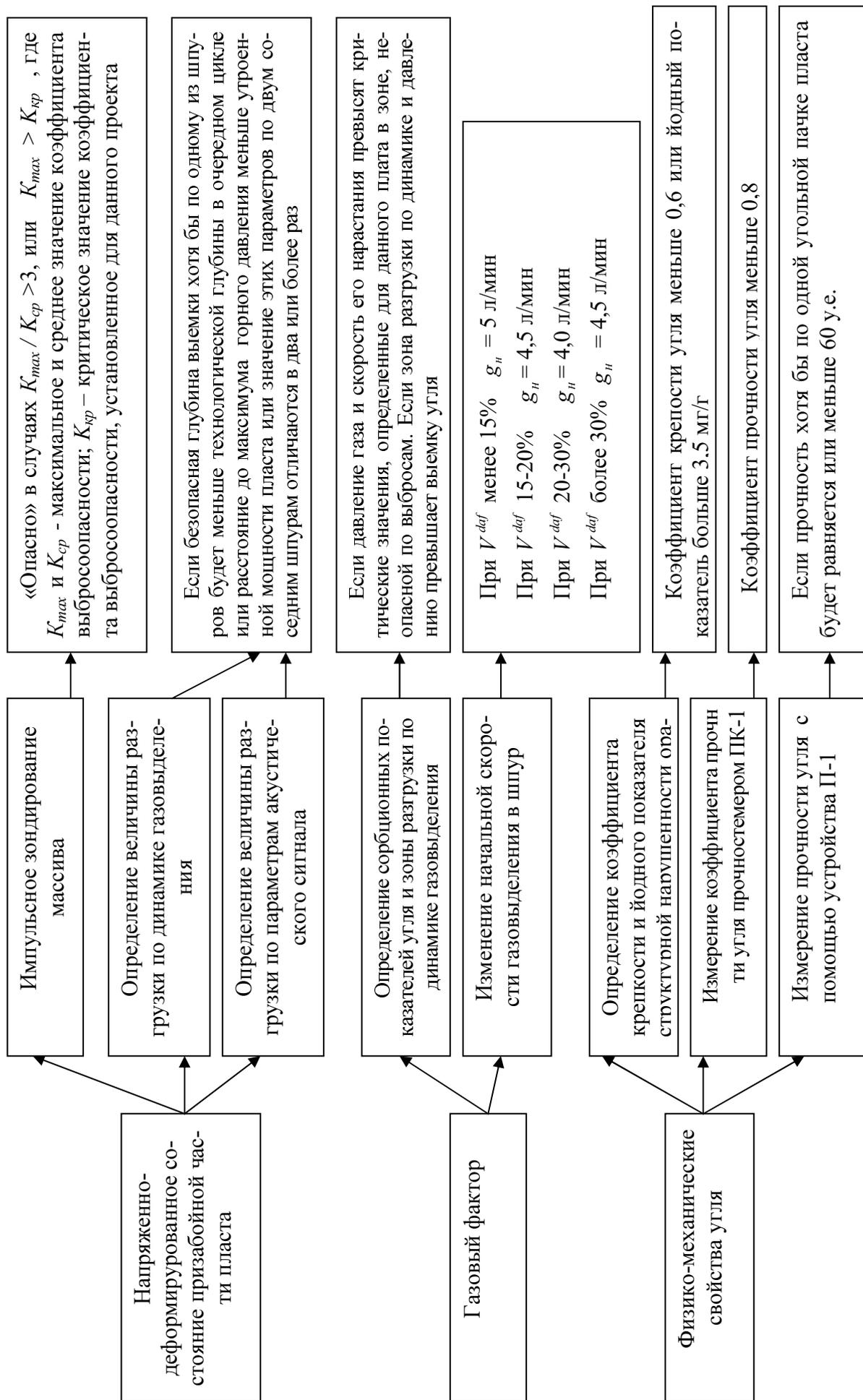


Таблица 2 – Схема оценки выбросоопасных зон

Угрожаемые пласты		Выбросоопасные пласты					
		Зона выявлена:					
Факторы выбросоопасности	Зона выявлена одним из способов прогноза	текущим прогнозом		прогнозом по акустической эмиссии		способом автоматизированного контроля	
		НДС	опасно	оп (н/оп)	н/оп (оп)		опасно
Газовый	опасно	оп (н/оп)	оп (н/оп)	опасно	оп (н/оп)	оп (н/оп)	
Физ.-мех. свойства	опасно	н/оп (оп)	н/оп (оп)				
Результаты оценки	Зона опасная, перевод пласта в выбросоопасный	Не менее 15 м - режим СВ или противовыбросные мероприятия с комплексной оценкой до выхода из опасной зоны, т.е. все факторы должны быть "неопасно"		Противовыбросные мероприятия или режим СВ	По всей зоне + 6 м – и зоне запаса СВ – комплексная оценка	Противовыбросные мероприятия или режим СВ (по всей зоне комплексная оценка + 6 м – 30-на запаса)	

– определение коэффициента крепости угля и йодного показателя его структурной нарушенности, которые должны определяться в лабораторных условиях МакНИИ, согласно [2, 3];

– измерение коэффициента крепости угля крепостемером типа ПК-1 в соответствии с требованиями [2];

– измерение прочности угля с помощью устройства П-1 в соответствии с требованиями [7].

При этом ситуация по определению физико-механических свойств угля считается опасной при одном из следующих условий:

– если при лабораторных измерениях хотя бы в одной из проб коэффициент крепости угля будет менее 0,6 или йодный показатель более 3,5 мг/г;

– если коэффициент крепости угля, измеренный крепостемером типа ПК-1, хотя бы в одной из скважин будет менее 0,8;

– если минимальное измеренное значение прочности хотя бы по одной угольной пачке пласта будет равно или менее 60 у.е.

3. Следующим этапом рассматриваемой методологии будет оценка газового фактора угольного массива в рассматриваемой зоне. Причем здесь наиболее информативными будут результаты определения сорбционных свойств, поскольку десорбция из микропористого пространства угля наиболее объективно отражает реальное состояние массива [8, 9]. Так, например, согласно исследований [9], параметры процесса десорбции определяются всеми основными факторами, влияющими на развязывание и реализацию газодинамического явления (ГДЯ). Причем наиболее информативные данные, характеризующие процесс десорбции, должны быть получены по возможности без усреднений, поскольку аппроксимация и усреднение скрывает наиболее характерные особенности десорбционного процесса. Эти особенности и позволят в дальнейшем уточнить и предложить более надежный критериальный признак. Однако эти исследования в окончательном виде еще не закончены. Поэтому в настоящее время для оценки газового фактора выбросоопасности угольного пласта применяют сорбционные показатели, измеряемые по существующей методике МакНИИ [10]. Показатель определяется по величине давления в герметичном пробозаборнике десорбированного из пробы угля газа. Пробы угля отбираются на втором и третьем метрах бурения контрольных шпуров, которые необходимо располагать в соответствии с требованиями [3] и по динамике газовыделения. Также предусматривается измерение давления газа спустя 60 с после выбуривания буровой мелочи из скважины; кроме того, его величина фиксируется через 20, 30 и 40 с после герметизации пробозаборника.

По существующей методике ситуация по газовому фактору в исследуемой зоне считается опасной, если давление десорбированного газа и скорость его нарастания хотя бы в одной из проб превысят критические значения, определенные для данного шахтопласта на эталонном участке в неопасной по выбросам зоне.

При ведении горных работ в шахтах на угрожаемых угольных пластах при получении прогноза "опасно" способом, предусмотренным паспортом, вы-

полняется также комплексная оценка НДС призабойной части массива, физико-механических свойств пласта и его газовых показателей. И если же по всем факторам выбросоопасности в исследуемой зоне получена оценка "опасно", то выявленная зона считается выбросоопасной, и на основании экспертного заключения МакНИИ, угольный пласт в установленном порядке переводится в категорию выбросоопасных.

В случае, если хотя бы по одному из факторов получена оценку "неопасно", проведение подготовительной выработки и ведение очистных работ осуществляется буровзрывным способом в режиме СВ или с применением противовыбросных мероприятий на протяжении не менее 15 м подвигания забоя, при этом по всем факторам выбросоопасности через каждые не более чем 3 м повторяется оценка состояния забоя.

На выбросоопасных угольных пластах оценка выбросоопасности согласно данной методологии рекомендуется выполнять по НДС и газовому фактору. При этом если опасная зона выявлена текущим прогнозом по начальной скорости газовыделения [3], то в забое выполняется:

- оценка НДС согласно п. 1;
- оценка газового фактора согласно п. 3 и по динамике газовыделения.

Если опасная зона выявлена прогнозом по акустической эмиссии массива [11], то необходимо выполнять в забое следующие операции:

- оценку по газовому фактору согласно п. 3;
- определение величины зоны разгрузки согласно п. 1.

Если же зона выявлена способом контроля выбросоопасности по параметрам акустического сигнала, то ее необходимо оценить по газовому фактору в соответствии с требованиями [3].

По результатам оценки выявленных зон на выбросоопасных угольных пластах принимаются следующие решения:

а) если выбросоопасность зоны подтверждена по одному из факторов (газовому или НДС массива), то в её пределах выполняются противовыбросные мероприятия или отбойка угля осуществляется буровзрывным способом в режиме СВ;

б) если выбросоопасность зоны не подтверждается оценкой по газовому фактору или оценкой НДС массива, то на протяжении движения забоя по выявленной зоне и еще шести метров зоны запаса для подготовительного забоя и трех метров подвигания для очистного забоя, наряду с прогнозом выбросоопасности, предусмотренным паспортом, дополнительно, не более чем через каждые 2 м, выполняется оценка по газовому фактору и НДС массива;

в) если при этом хотя бы в одном из циклов измерений по этим факторам получен прогноз "опасно", то дальнейшее проведение выработки осуществляется с противовыбросными мероприятиями или в режиме СВ до выхода из опасной зоны.

В качестве примера применения данной методологии при комплексной оценке опасных по внезапным выбросам угля и газа участков пласта можно привести результаты исследований, проведенных в 5-ом западном транспорт-

ном штреке угольного пласта m_3 , гор. 650 м шахты "Ясиновская-Глубокая" ГХК "Макеевуголь", которые были выполнены в зоне, где впоследствии произошло ГДЯ. Пласт m_3 в условиях шахты "Ясиновская-Глубокая" являлся угрожаемым по выбросам угля и газа с глубины 450 м. В пределах шахтного поля пласт имел простое строение, мощностью 1,18-1,42 м, угол падения 16-18°. Средняя газоносность достигает 26,0 м³/т.с.б.м, среднее значение весового выхода летучих веществ составляет 19,6%, комплексный показатель степени метаморфизма угля равен 18,3 у.е., марка угля – "ОС", коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова $f = 1,5$.

Проведение 5-го западного транспортёрного штрека осуществлялось проходческим комбайном 1ГПКС. На участке проведения штрека прогнозировалась встреча тектонического нарушения в виде надвига с амплитудой 5-15 м и углом падения сместителя около 30°. Оценка выбросоопасности пласта в забое штрека производилась по начальной скорости газовыделения из шпуров.

На 265 м проведения выработки (ПК 26+5 м) текущим прогнозом была установлена аномальная зона, характеризующаяся увеличением начальной скорости газовыделения из шпуров (g_n^{max}) до 5,35 л/мин и наличием признаков выбросоопасности в виде зажатия штанг бурового инструмента, интенсивного разбуривания шпуров, выноса штыба в процессе бурения шпуров для прогноза [10]. Поэтому в соответствии с методикой были выполнены комплексные исследования по определению степени выбросоопасности аномальной зоны. Результаты этих исследований представлены в таблице 3. Анализ результатов этих исследований показывает, что величина зоны разгрузки призабойной части пласта, определенная 5.11.02 г., составляла 1,5 м по динамике газовыделения и 1,75 м по акустическим показателям. Коэффициенты крепости угля не превышали 0,5, а результаты замеров сорбционных показателей свидетельствуют о высоком содержании газа в пласте и его быстрой отдаче. Бурение шпуров сопровождалось выносом штыба и самопроизвольным разрушением угля.

С помощью импульсного зондирования по методике МакНИИ, выполненного вдоль штрека, исследован характер расслоений пород кровли и определен коэффициент выбросоопасности. При этом ослабленные контакты находились в непосредственной близости от пласта на ПК 26+5 м на расстоянии 6 м, 5 м и 4,5 м, а значения коэффициента выбросоопасности достигли 7,1. На ПК 25 отмечено более интенсивное формирование расслоений на глубину 25 м, 11 м, 8 м, 6 м, а на ПК 24 они располагаются на 62 м, 31 м, 21 м, 16 м, 8,5 м, 6,7 м от пласта, при этом значения коэффициента выбросоопасности снизились, соответственно, до 6 и до 2.

Исследования, выполненные 19.11.02 г., показали, что по данным текущего прогноза забой выработки (ПК 27+1 м) находился в невыбросоопасной зоне ($g_n^{max} = 1,46$ л/мин), однако сорбционные показатели сохраняли высокие значения и достигали 200 мм.рт.ст., коэффициент крепости не отличался от предыдущих замеров ($f = 0,5$), зона разгрузки по одному из шпуров составляла 2,0 м, а по другому превышала 3,5 м. По структурной нарушенности получены значения, близкие к критическим ($\Delta J = 3,5$ мг/г). То есть по комплекс-

ному показателю выбросоопасность в забое сохранялась. Результаты импульсного воздействия в районе этого пикета были аналогичны предыдущим - максимальные расслоения в забое находятся на расстоянии 8,0 м, 5,5 м, 4,3 м от пласта, а коэффициент выбросоопасности равен 1,7 [11].

Исследования, проведенные 25.11.02, вновь отметили опасную зону – максимальная величина начальной скорости газовыделения превышала критическое значение и составляла 11,8 л/мин. Зона разгрузки, определенная по динамике газовыделения, по одному шпuru составляла 1,5м, по второму – 2 м, а по акустическим данным – более 3 м.

Интенсивные расслоения пород кровли в этой зоне (ПК 18-39) на большей части распространены сравнительно равномерно до расстояния 25-40 м от пласта. Лишь в районе ПК 26-28 отмечено резкое сокращение мощности расслоенной толщи и приближение интенсивных расслоений к угольному пласту. Коэффициент выбросоопасности, качественно отражающий степень выбросоопасности массива, на большей части выработки имеет значения 3-4, и лишь на ПК 25 и 26 увеличивается до 7. По результатам импульсного зондирования угольный массив в выработке на интервале от ПК 24 до ПК 28 отнесен к выбросоопасной зоне. К этой зоне приурочены опасные по выбросам значения всех прочих показателей: начальной скорости газовыделения (до 11,8 л/мин), сорбционных показателей (до 210 мм.рт.ст. при критическом уровне 185 мм.рт.ст.), коэффициента крепости (до 0,42, при критическом 0,6), структурной нарушенности угля (до 3,5 мг/г). О напряженном состоянии призабойной части пласта свидетельствуют результаты определения величины зоны разгрузки (1,5-2 м), высокие значения коэффициента пригрузки.

Пересечение надвига забоем 5-го западного транспортного штрека прогнозировалась на ПК 48+5м. До ПК 47+5м проведение выработки осуществлялось проходческим комбайном с гидрорыхлением угольного пласта, до ПК 50 – буровзрывным способом в режиме СВ, а до ПК 52+4м - вновь комбайном с гидрорыхлением пласта. Разведочным шпуром длиной 9 м установлено наличие геологического нарушения, после чего проведение выработки вновь переведено на БВР в режиме СВ. После производства взрывных работ при выемке угля комбайном в геологическом нарушении произошло газодинамическое явление, интенсивностью 1344 т угля, в результате этой аварии выделилось не менее 40 тыс. м³ метана.

Экспертная комиссия, расследовавшая ГДЯ в соответствии со своими полномочиями [3], классифицировала его следующим образом. При ГДЯ произошло быстропротекающее разрушение призабойной части угольного пласта с отбросом угля в выработку на расстояние, значительно превышающее протяженность возможного его размещения под углом естественного откоса при повышенном газовыделении в выработку. При этом относительное газовыделение превышало разность между природной газоносностью пласта и остаточной газоносностью угля. При расследовании было установлено, что в разрушенной горной массе преобладали мелкие и пылевидные фракции угля, а также была повреждена металлическая арочная крепь, поэтому экспертная комиссия

Таблица 3 – Результаты исследований показателей безопасности пласта т₃ в 5-м западном транспортном штреке гор. 650 м. на шахте “Ясиновская-Глубокая”, ГХК “Максевуголь”.

Дата, пикет (ПК)	Величина зоны разгрузки, м		Результаты текущего прогноза	Акустический показатель выбороопасности	Давление десорбированного газа, мм. рт.ст.				Коэффициент крепости угля, (<i>f</i>)	Йодный показатель структурной нарушенности, ΔI, мг/г
	по динамике газовыделения	Определенная акустическим способом			на глубине, м	через, сек				
5.11.02г. ПК 26+5 м	1,5	1,75	опасно (вынос штыва из шпура)	7,1	10	20	30	40	0,46-0,5	1,9-3,0
					70	96	120	150		
19.11.02 г. ПК 27+1 м	2,0	2,0	не опасно	1,7	1,0	30	50	60	0,42-0,60	2,2-3,5
					2,0	50	90	130		
					3,0	70	120	160		
25.11.02 г. ПК 28+3 м	1,5	>3,0	опасно (11,8 л/мин)	3,2	1	40	70	90	0,43-0,53	2,2-3,5
					2	80	160	210		
					3	60	100	140		

произошедшее в 5-м западном транспортном штреке ГДЯ классифицировала как внезапный выброс угля и газа.

При этом основной причиной внезапного выброса явилось вскрытие угольного пласта в висячем крыле надвига в результате обрушения подстилающих пород. Обрушению пород способствовало неустойчивое состояние массива при подсечении выработкой падающих от забоя плоскостей сместителя и воздействие на угольный массив исполнительным органом проходческого комбайна. Также было установлено, что авария происходила в две стадии, причем на первой стадии произошло обрушение пород, о чем свидетельствует положение пострадавших и характер повреждения арочной крепи. Естественно, после аварии угольный пласт m_3 в пределах шахтного поля был переведен в категорию опасного по внезапным выбросам угля и газа.

Таким образом, применение рассматриваемой методологии многофакторной комплексной оценки выбросоопасности позволяет достоверно оценивать степень реальной выбросоопасности встреченной зоны угольного пласта и прогнозировать возможное развитие ГДЯ при ведении горных работ. Причем необходимо обязательное включение в метод оценки выбросоопасности по газовому фактору измерение сорбционных показателей. По этим показателям возможна реальная оценка микросорбционного состояния угольного массива, с помощью которого возможно контролировать выбросоопасность по мере перемещения забоя, а также вход и выход из этой зоны. Надежная оценка таких зон, в свою очередь, позволит, во-первых, избежать необоснованного перевода пластов из разряда угрожаемых в выбросоопасные, а во-вторых, повысить безопасность ведения горных работ за счет определения реальной выбросоопасности угольного пласта в конкретных горно-геологических условиях шахты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минеев С.П., Рубинский А.А., Тимофеев Э.И. О проблемах предотвращения внезапных выбросов угля и газа в условиях Донецкого бассейна // Геотехнічна механіка: Міжвід. Зб. наук. праць / Ін-т Геотехнічної механіки НАН України. - Дніпропетровськ, 2004.- Вип. 50.- С. 22-29.
2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа. - М: ИГД им. А.А. Скочинского, 1989. - 192с.
3. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: Стандарт Мінвуглепрому України: Видання офіційне Київ: Мінвуглепром України, 2006.- 221 с.
4. Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. - М.: Недра. 2001.- 413 с.
5. Положение об экспертной оценке выбросоопасных зон на угольных пластах Донбасса. Макеевка: МакНИИ, 2003. - 14 с.
6. Руководство по применению на шахтах Донбасса способа определения величины зоны разгрузки призабойной части выбросоопасного угольного пласта. - Макеевка: МакНИИ, 1996. - 12 с.
7. Руководство по локальному прогнозу выбросоопасности угольных пластов на шахтах Украины. - Макеевка-Горловка: МакНИИ-ДонНИИ, 1993. - 24с.
8. Бобин В.А. Сорбционные процессы в природном угле и его структура. - М.: ИПКОН АН СССР, 1987.- 135 с.
9. Минеев С. П., Прусова А.А., Корнилов М.Г. Оценка энергии волнового воздействия для активизации молекул метана в микропористом пространстве угольного вещества // Геотехнічна механіка: Міжвід. Зб. наук. праць / Ін-т Геотехнічної механіки НАН України.- Киев: Дніпропетровськ, 2005, Вип.54.-С. 31-37.
10. Никифоров А.В. Оценка газового фактора выбросоопасности // Геотехнічна механіка: Міжвід. Зб. наук. праць / Ін-т Геотехнічної механіки НАН України.- Киев: Дніпропетровськ, 2005, Вип.53.-С. 174-178.
11. Минеев С.П., Рубинский А.А., Колчин Г.И. Контроль состояния массива при проведении выработок в сложных горно- геологических условиях // Геотехнічна механіка: Міжвід. Зб. наук. праць / Ін-т Геотехнічної механіки НАН України.- Киев: Дніпропетровськ, 2005.- Вип. 56.-С. 49-55.