



С. П. МИНЕЕВ, доктор техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)



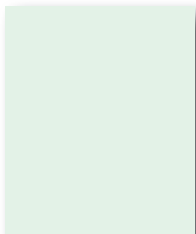
В. Н. КОЧЕРГА, инж.
(ИГТМ НАН Украины)



А. С. ЯНЖУЛА, инж.
(ПАО «Шахтоуправление
«Покровское»)



А. А. ГУЛАЙ, инж.
(ПАО «Шахтоуправление
«Покровское»)



М. А. КИШКАНЬ, инж.
(Управление Гоструда Украины
в Донецкой обл.)

УДК 622.411.322

Оценка эффективности мероприятий по предотвращению загазирования горных выработок при посадке пород кровли

Исследован процесс внезапного импульсного выделения метана в горные выработки при первичных и последующих посадках (обрушениях) основной кровли. Проанализированы обстоятельства и динамика газовыделения в зонах геологических нарушений при посадках основной кровли, которые привели к авариям на шахтах ПАО «Шахтоуправление «Покровское», им. А. Ф. Засядько и им. С. М. Кирова ГП «Макеевуголь». Выполнена апробация разработанных способов в шахтных условиях, которая показала эффективность мероприятий, направленных на предотвращение загазирования горных выработок при обрушении пород кровли.

Ключевые слова: внезапное выделение метана, посадка основной кровли, загазирование, песчаник, геологическое нарушение, скважина, эффективность.

Контактная информация: sergmineev@gmail.com

Постановка проблемы. Отработка газоносных угольных пластов на шахтах Донбасса осложнена выделением метана в горные выработки. Это главный фактор, ограничивающий нагрузку на очистной забой, и основная причина производственного травматизма, поскольку газовыделение приводит к загазированию выработок, а затем к взрывам и вспышкам метана. В течение последних десятилетий в шахтах Украины произошел ряд взрывов метана и угольной пыли с трагическими последствиями (шахты «Суходольская-Восточная», «Славяносербская», «Золотое», им. А. А. Скочинского, им. А. Ф. Засядько, им. Н. П. Баракова, «Шахтоуправление «Покровское», им. С. М. Кирова, «Краснолиманская», «Южнодонбасская» № 1 и др.) [1–4].

Одна из распространенных причин образования взрывоопасной газовой среды в выработках – внезапное повышенное метановыделение при посадках основной кровли, причем наиболее опасным считается метановыделение при обрушении кровли в зоне влияния геологических нарушений. Известно [1, 2, 4–7], что импульсные выделения метана вследствие осадки основной кровли происходят в вентиляционных штреках в верхних частях лав при отработке пластов, основная кровля которых представлена мощными труднообрушающимися породами (обычно это песчаники и известняки). Как правило, наиболее интенсивное газовыделение наблюдается после первой посадки пород основной кровли вследствие активизации источников метана, находящихся в подработанной толще. Причем содержание метана в исходящей вентиляционной струе за очень короткий промежу-

ток времени может достигать взрывоопасных концентраций. Если в зону обрушения попадает геологическое нарушение, то дебит метана в выработки может увеличиваться за счет притока газа из вмещающих пород и сближенных пластов, удаленных на значительное расстояние от разрабатываемого пласта.

Несмотря на многочисленные исследования в области борьбы с импульсным метановыделением, до настоящего времени не разработана нормативная методика прогноза газовыделения во время обрушения пород кровли в зонах геологических нарушений. Кроме того, не разработаны и не апробированы эффективные мероприятия по предотвращению загазирования горных выработок для обеспечения безопасности ведения работ при первичных и последующих обрушениях пород кровли.

Ранее были выполнены исследования, позволившие обосновать геологические и горнотехнические характеристики условий внезапных загазований горных выработок во время посадки основной кровли в зонах геологических нарушений и предложить методику прогноза опасности импульсных газовыделений [4, 8–13].

Цель исследования – рассмотрение основных вопросов при разработке мероприятий и оценке их эффективности для предотвращения внезапных импульсных выделений метана и обеспечения безопасности ведения горных работ во время первичной и последующих посадок основной кровли в зонах геологических нарушений.

Анализ публикаций. Установлено [4, 5, 8, 10, 13], что механизм импульсных прорывов метана из кровли может быть представлен следующим образом. Одиночный угольный пласт разрабатывается, например, в зоне влияния пликативного (антиклинали, купола, флексуры, брахиантиклинали, осевые части антиклиналей) или малоамплитудного разрывного (надвиги, сбросы, взбросы) геологического нарушения, способного образовывать газовые «ловушки». Непосредственная кровля разрабатываемого пласта представлена легко обрушающимися газонепроницаемыми породами (аргиллиты, алевролиты), выше которых залегает трещиноватый газонасыщенный песчаник (трещиноватый коллектор свободного газа). Во время обрушения основной кровли трещиноватый коллектор (в данном случае – газонасыщенный

песчаник) обнажается и свободный газ, скопившийся в нем, интенсивно выделяется в выработки. Причем газ может выделяться с больших площадей, находящихся в зоне влияния очистных работ. Следует учитывать, что последующие после импульсного прорыва газа обрушения кровли, разгрузка песчаника уже, как правило, не вызывают аномальных метановыделений в связи с дегазацией коллектора и выходом очистных работ из зоны влияния геологического нарушения.

Результаты исследования. В качестве объекта исследований по оценке эффективности предложенных мероприятий рассмотрим аварии, происшедшие в шахтоуправлении «Покровское» и шахте им. С. М. Кирова.

На шахте *«Красноармейская-Западная» № 1* (ныне – ПАО «Шахтоуправление «Покровское», г. Покровск) в феврале 2002 г. в 1-й южной-бис бортовой выработке, по которой отводилась исходящая вентиляционная струя из 3-й южной лавы блока № 6, произошел взрыв метана, выделяющегося из кровли пласта. Указанная выработка была проведена в целике угля и примыкала к выработанному пространству ранее отработанной 2-й южной лавы блока № 6. Схема проветривания выемочного участка 3-й южной лавы – возвратноточная. Из выработанного пространства метан отводился по неподдерживаемой выработке за пределы выемочного участка.

Расчетная газообильность участка составляла 14,2 м³/мин при планируемой суточной нагрузке на очистной забой 2000 т. На участок подавалось 1770 м³/мин воздуха, нагрузка на очистной забой в течение 14 дней до аварии не превышала 1900 т/сут. При этом концентрация метана в исходящей вентиляционной струе очистной выработки составляла 0,2 %, выемочного участка – 0,2–0,4 %.

Анализ данных стационарной аппаратуры контроля метана показал, что непосредственно перед аварией в местах расположения датчиков содержание метана не было повышено. По результатам обследования выработок после аварии установлено, что температурное воздействие на предметы (бумага, полиэтиленовая пленка, оболочка кабелей) наблюдалось только в 1-й южной-бис бортовой выработке, причем в верхней части площади ее сечения. Такие следы температурного воздействия ха-

рактены для случаев распространения пламени по слоевым скоплениям метана у кровли выработок [8]. Из технической документации следует, что последние замеры содержания метана у кровли выработки в целях обнаружения слоевых скоплений были выполнены за смену до аварии и примерно за 3 ч до ее возникновения – содержание метана было в норме. При обследовании аварийного участка через 12 ч после взрыва обнаружено скопление метана с концентрацией 6 %.

Метан выделялся из разлома в виде трещины в кровле, представленной алевролитом средней устойчивости, мощностью 1,6–6,9 м. Выше залегал газоносный выбросоопасный песчаник d_3Sd_4 (мощностью 8,9–16,5 м), затем алевролит (0,6–0,8 м) и далее угольный пласт d_4 (0,45–0,6 м). Зона разлома пород прослеживалась вдоль выработки и уходила под затяжки кровли. Примерно через 2 сут после аварии газовыделение из разлома прекратилось.

Газоносность углей пластов d_4 и в районе выработок 3-й южной лавы блока № 6 составляет от 15 до 20 м³/т с. б. м., газоносность выбросоопасного песчаника d_3Sd_4 изменяется от 1,8 до 5,9 м⁻¹ на 1 м³.

Установлено, что трещиноватая зона образовалась вследствие воздействия на вмещающие породы накладывающихся одна на другую зон опорного давления от 3-й и 2-й южных лав блока № 6. При мощности разрабатываемого пласта 1,8 м и глубине горных работ 658 м зоны опорного давления от лав распространялись на 60–70 м. Образование разлома и раскрытие трещин вызвало повышенное выделение метана из полостей расщепления пород в районе газоносного песчаника и угольного пласта d_4 , в результате в верхней части выработки образовалось слоевое скопление метана.

При средней скорости движения воздуха в 1-й южной-бис бортовой выработке 1,2 м/с минимально возможный расход метана, достаточный для формирования слоевого скопления, составлял около 0,9 м³/мин. Как показывают расчеты, при таком расходе слоевое скопление могло образоваться в выработке за 38 мин на участке до 100 м. Метановоздушная смесь в слоевом скоплении у кровли воспламенилась из-за искрения в цепях с напряжением 36 В поврежденного кабеля КВВГ-10×1,5 сигнализации монорельсовой дороги ДМКЛ [8]. Внезапное выде-

ление метана, приведшее к трагическим последствиям, – одна из разновидностей суфлярных выделений, вызванных активизацией геомеханических процессов в горном массиве в зонах влияния опорного давления от очистных выработок.

Еще одна авария в шахтоуправлении «Покровское» произошла 12 августа 2014 г. в 10 ч 20 мин на выемочном участке в 7-й южной лаве блока № 10 пласта d_4 , расположенной в юго-восточной части шахтного поля. Очистные работы велись по простиранию, система разработки столбовая, в пределах выемочных полей технология работ бесцеликовая, система управления кровлей – полное обрушение, проектная длина выемочного столба составляла 2920 м при длине лавы 304 м.

Лавы была оборудована механизированной крепью ЗКД90Т (202 ед.), комбайном JOY4LS20, конвейером SZK-260/852 (310 м) и подлавным конвейером PZF 05/P3 (120 м). С 21 июля по 5 августа 2014 г. лаву временно остановили; с 5 по 12 августа лавы продвинулась на 8,6 м при средней нагрузке на очистной забой 1114 т/сут. Выемочный участок 7-й южной лавы блока № 10 проветривался по прямоочной схеме проветривания с подсвеживанием исходящей струи воздуха типа 2-В-3-н-пт.

При отработке лавой дегазация выработанного пространства осуществлялась отрезками труб, вставленными в верхнюю часть литой охранной полосы с шагом 10–15 м. Диаметр первых пяти труб 219 мм, затем использовались трубы диаметром не менее 159 мм. Конец газотводящей трубы находился в выработанном пространстве на расстоянии 0,5–1 м от литой охранной полосы. Для предотвращения образования опасных скоплений метана у сопряжения лавы с выработкой с исходящей струей воздуха (поддерживаемая часть) в охранной полосе установлены газодренажные каналы (длина каждого 2 м) с расстоянием между ними 5 м. В месте устройства каналов оборудованы смесительные камеры.

4 июня 2014 г. произошла первичная посадка пород основной кровли в 7-й южной лаве блока № 10. Согласно расчету: ожидаемое среднее метановыделение в очистной выработке составляло 2,47 м³/мин, на выемочном участке – 14,56 м³/мин; необходимый расход метана, капируемый дегазацией, достигал 3,38 м³/мин; расход

воздуха для проветривания очистной выработки составил $422 \text{ м}^3/\text{мин}$, выемочного участка – $1676 \text{ м}^3/\text{мин}$, в выработке с подсвежающей струей воздуха – $756 \text{ м}^3/\text{мин}$. Метановоздушная смесь транспортировалась из выработанного пространства по отросткам труб участковым трубопроводом диаметром 426 мм и магистральным трубопроводом диаметром 530 мм при совместной отработке 3-й северной лавы блока № 10 на поверхностную вакуум-насосную станцию № 2.

Содержание метана и отключение электрооборудования на аварийном участке № 7 блока № 10 в первую смену 12 августа 2014 г. контролировалось стационарной аппаратурой АКМ в составе четырех аппаратов сигнализации и восьми датчиков метана, автоматическими переносными приборами серии «Сигнал-5», переносными интерферометрами ШИ-11, метан-реле для комбайна и сигнализаторами метана серии СМС, совмещенными с шахтными светильниками. Динамика концентрации метана (в среднем 0,64 %) в момент аварии измерялась датчиком ДЗИ-38, который был установлен в 7-м южном конвейерном штреке блока № 10 (рис. 1). Наблюдения велись в течение 6 ч.

Экспертная комиссия пришла к выводу, что перед аварией в месте расположения комбайна между неровностями кровли и перекрытиями секций крепи скопилось метановоздушная смесь горючей концентрации, образовавшаяся вследствие поступления метана из трещиноватого массива. Во время ремонта комбайнового кабеля из-за искрения она воспламенилась с последующим перемещением фронта горения в выработанное пространство и выдавливанием горящего метана в призабойное пространство очистного забоя. Во время посадки кровли (лава отошла от места остановки на 8,4 м) после длительного простоя произошло раскрытие трещин в газоносном песчанике основной кровли, который стал коллектором для перемещения метана с пластов-спутников и, что спо-

собствовало его импульсному выдавливанию в забой по всей длине лавы.

На шахте им. С. М. Кирова ГП «Макеевуголь» импульсные метановыделения наблюдались в коренной восточной, 2-, 3-, 4- и 5-й восточных лавах при отходе от целика монтажного ходка пласта.

1-я восточная лава отрабатывала пласт по его простиранию. Вынимаемая мощность составляла 1,14 м, природная газоносность – $15\text{--}25 \text{ м}^3/\text{т}$ с. б. м., выход летучих достиг 9,8–11 %, Система разработки – сплошная, управление кровлей – полное обрушение, схема проветривания – возвратноточная типа 1-В-Н-вт. Длина лавы составляла 200 м, длина выемочного поля – 1850 м. Выемка угля производилась комбайном 1К-101У и механизированным комплексом 1КД80. Минимальная площадь поперечного сечения призабойного пространства очистной выработки всвету $2,28 \text{ м}^2$. Планируемая добыча – 800 т/сут. Планируемый расход воздуха для проветривания участка – $1100 \text{ м}^3/\text{мин}$. Глубина ведения очистных работ 150–190 м.

Непосредственная кровля пласта представлена глинистым сланцем средней устойчивости мощностью 19,4–20,5 м. В почве пласта залегает песчаник мощностью 2–2,3 м, песчано-глинистый сланец (1,3–2 м), песчаник (2,2–4,8 м) и

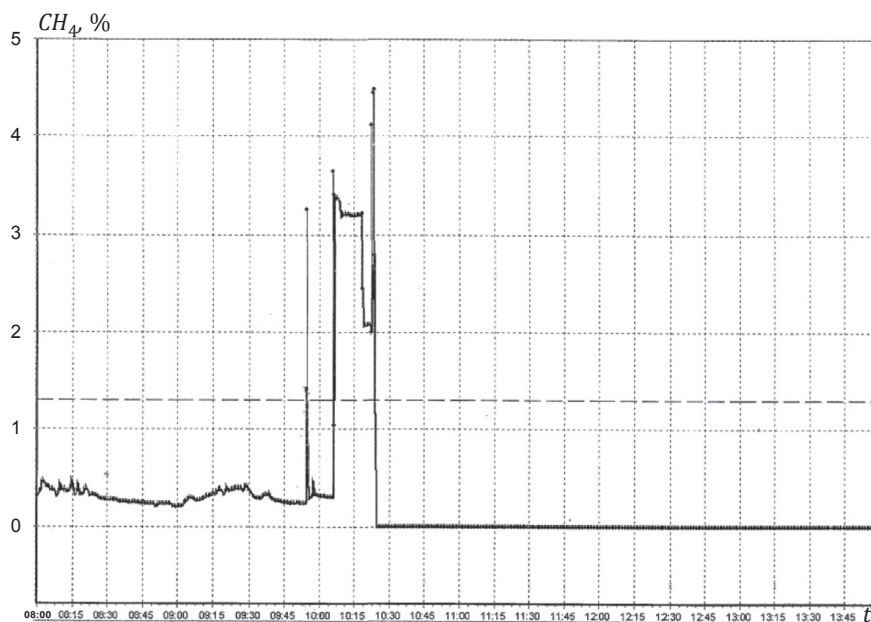


Рис. 1. Динамика изменения концентрации метана CH_4 в струе воздуха на датчике ДЗИ-38 типа ДМВ – ППИ.

МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ

Таблица 1

Символ пласта	Скважина № 4667		Скважина № 4715	
	Расстояние от пласта, м	Мощность пласта, м	Расстояние от пласта, м	Мощность пласта, м
i_1	107,0	0,25	117,0	0,1
i_0	93,0	0,35	109,0	0,2
h_{11}	43,0	0,20	-	-
	31,0	0,20	-	-
	19,4	0,60	20,5	0,6
	0,0	0,90	0,0	0,9
	8,1	0,30	-	-

Таблица 2

Показатель	Январь	Февраль	Март	Апрель	Среднее
Среднесуточная добыча, т	785	598	679	541	651
Метановыделение, м ³ /мин:					
в очистном забое	2,4	2,21	2,77	2,01	2,35
в исходящей струе	3,6	3,56	3,65	3,67	3,62
Дебит метана, капируемого скважинами, м ³ /мин	7,4	7,3	7,5	7,0	7,3
Всего на участке, м ³ /мин	11,0	10,9	11,2	10,7	10,92

угольный пласт мощностью до 0,3 м. Угол залегания пласта 9°.

По падению выемочного поля лавы расположено выработанное пространство восточной коренной лавы, целик шириной 100 м и выработанные пространства 2-й восточной лавы, отработанной с 1999 по 2007 г. (с мая 2001 г. по 2006 г. лаву не отработывали), 4-й восточной лавы,

отработанной в 2001–2003 гг., 5-й восточной лавы, отработанной в 2003–2006 гг., и выработанное пространство 3-й восточной лавы, отработываемой с июля 2007 г. Расположение пластов-спутников, залегающих в кровле и почве разрабатываемого пласта, анализировали по геологоразведочным скважинам № 4667 и № 4715 (табл. 1).

Первичное обрушение кровли в восточной коренной лаве пласта произошло при отходе лавы от целика монтажного ходка на расстояние 35 м по конвейерному штреку и 40 м по вентиляционному. Газовыделение на участке в этот период составляло 13,1 м³/мин. В дальнейшем средний дебит метана на участке снизился до 10,92 м³/мин при среднесуточной добыче 651 т. Сведения о метанообильности и среднесуточной нагрузке на очистной забой восточной коренной лавы пласта в январе–апреле 2000 г. приведены в табл. 2.

2-я восточная лава пласта начала работать в сентябре 1999 г. Во время первичного обрушения непосредственной кровли (лава отошла от целика монтажного ходка на 17 м по конвейерному штреку и 30 м по вентиляционному) на участке было отмечено увеличение дебита метана до 40 м³/мин. После аварии, случившейся на шахте 5 мая 2001 г., лаву остановили. Работы возобновили в 2006 г. При среднесуточной нагрузке 990 т средний дебит метана в исходящей струе составлял 8,6 м³/мин. Дегазационная система каптировала 10,8 м³/мин метана.

В 4-й восточной лаве пласта после ее отхода на расстояние 25 м от монтажного ходка 5 мая 2001 г. на выемочном участке был зафиксирован внезапный прорыв метана с начальным дебитом не менее 71 м³/мин. Общий объем выделившегося за несколько суток метана составлял примерно 110 тыс. м³. Приводим динамику газовыделения на участке 4-й восточной лавы пласта:

Таблица 3

Место наблюдения	Номер пункта наблюдения на рис. 2	Расход газовой смеси, м ³ /мин	Содержание метана, %	Дебит метана, м ³ /мин
Очистная выработка	1	350	0,19	0,65
Вентиляционный штрек (исходящая участка):				
5 м от (окна) лавы	2	460	0,72	3,3
10 м за монтажным ходком	3	460	1,22	5,6
60 м за монтажным ходком	4	460	3,4	15,6

Время после начала газовыделения, ч	Дебит метана, м ³ /мин
0,1	371,0
3,5	50,6
17,5	30,8
28,0	17,0
39,0	15,6
54,0	11,5
59,0	10,6
65,0	8,3
88,0	5,1
95,0	5,1
137,0	4,6

Газовая съемка, выполненная 7 мая 2001 г., показала, что основной приток метана поступал из целика на расстоянии 30–40 м за монтажным ходком из кровли вентиляционного штрека по ходу вентиляционной струи (табл. 3, рис. 2). На пятиметровом участке штрека содержание метана со стороны 2-й восточной лавы составляло 64,4 % на расстоянии до 0,3 м от кровли и 3,5 % – на расстоянии 1 м.

По мнению экспертной комиссии, причина загазирования выработок – суфляр из газового коллектора во флексурной складке, вскрытого сдвижением пород кровли в выработанном пространстве 4-й восточной лавы. После прекращения интенсивного выделения метана из 4-го вентиляционного штрека в зоне действия суфляра в сторону 2-й восточной лавы была пробурена дегазационная скважина в кровлю. Дебит метана по ней не превышал 0,5 м³/мин, что свидетельствует об истощении источника газовыделения.

После восстановления очистных работ и дальнейшей отработки лавы внезапные загазирования с высоким дебитом метана не наблюдались (средний дебит в исходящей струе 10,8 м³/мин). Дегазационной системой каптирова-

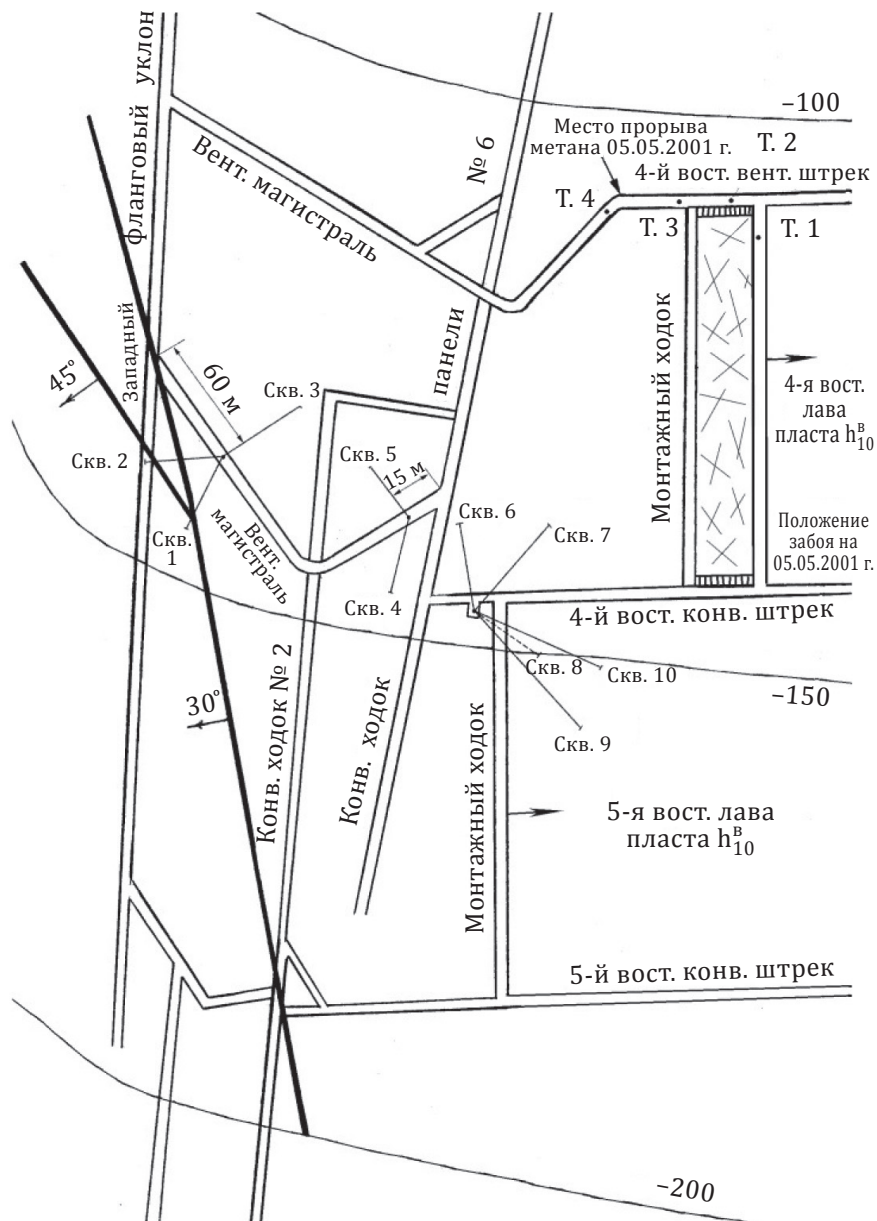


Рис. 2. Схема расположения дегазационных скважин и пунктов наблюдений за метановыделением на шахте им. С. М. Кирова: п. 1–п. 4 – пункты наблюдений за метановыделением; Сква. 1 – Сква. 7 – скважины для предварительной дегазации; Сква. 8 – торцевая скважина в почву; Сква. 9 – Сква. 10 – торцевые скважины в кровлю.

лось 16,8 м³/мин метана. Средняя нагрузка на очистной забой составляла 1060 т/сут.

При проектировании выемочного участка 5-й восточной лавы пласта предполагалось, что в горном массиве участка имеются скопления свободного метана, который внезапно может выделиться в горные выработки во время обрушения пород кровли. Для проверки этого предпо-

ложения и предварительной дегазации углепородного массива в целях предотвращения возможного внезапного прорыва метана из газового коллектора после начала работы 5-й восточной лавы по рекомендациям [4, 13] было пробурено пять скважин из вентиляционной магистрали 5-й восточной лавы и две скважины из камеры в 4-м восточном конвейерном штреке (см. рис. 1). Наблюдения за газовыделением из скважин показали, что метан из них не выделялся как до начала отработки 5-й восточной лавы, так и в дальнейшем. Это указывает на то, что свободных скоплений метана в дегазуруемой зоне не было.

После отхода 5-й восточной лавы от монтажного ходка на расстояние 14 м произошло первичное обрушение непосредственной кровли и увеличение газовыделения из выработанного пространства. Максимальный дебит метана на участке составил примерно $100,2 \text{ м}^3/\text{мин}$, что увеличило его концентрацию в исходящей вентиляционной струе до 6 %. Торцевыми скважинами в это время отводилось всего $0,1 \text{ м}^3/\text{мин}$. Через 6 ч после начала газовыделения дебит метана снизился до $27 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Низкая эффективность дегазации в указанный период обусловлена малым отходом лавы от монтажного ходка. Торцевые скважины в таких условиях еще не начали работать эффективно. Как правило, они начинают работать после отхода лавы на расстояние 20 м от монтажного ходка. Средний дебит скважины, пробуренной на пласт-спутник h_{11} (скв. 9, рис. 2), составил $1,04 \text{ м}^3/\text{мин}$. Она находилась в работе в течение всего периода отработки лавы. Скважина, пробуренная на пласт-спутник (скв. 10, рис. 2), продолжала работать в течение 20 мес, средний дебит метана составлял $0,8 \text{ м}^3/\text{мин}$. Скважина, пробуренная в почву, каптировала в среднем $0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ метана в течение нескольких месяцев.

После посадки основной кровли и отхода лавы на расстояние более 100 м от монтажного ходка общее метановыделение на участке при нагрузке примерно 1000 т/сут стабилизировалось на уровне $27\text{--}30 \text{ м}^3/\text{мин}$. Из них дегазационными скважинами каптировалось $17\text{--}20 \text{ м}^3/\text{мин}$ метана. При этом общая эффективность дегазации участка составляла 63–66 %.

Со снижением нагрузки на очистной забой метанообильность выемочного участка умень-

шалась, но при этом уменьшалась и эффективность дегазации. Сведения о метанообильности и эффективности дегазации 5-й восточной лавы пласта приведены в табл. 4.

Анализ результатов наблюдений за метанообильностью 4-й восточной и 5-й восточной лав показал, что дегазация становится эффективной, когда в работе находится два и более куста скважин. Наиболее высокие показатели эффективности дегазации достигаются при нагрузке на очистной забой примерно 1000 т/сут , когда общий дебит метана на участке составляет $27\text{--}30 \text{ м}^3/\text{мин}$.

При разработке проекта отработки 3-й восточной лавы пласта прогнозировалось внезапное увеличение метановыделения на участке в период первичного обрушения непосредственной кровли, которое происходит при отходе лавы от целика монтажного ходка на расстояние от 14 до 35 м. Методика прогноза приведена в работе [14]. Для снижения метановыделения в горные выработки было пробурено семь торцевых скважин в кровлю и две в подошву.

Прогнозируемое повышение дебита метана на участке произошло 27 июля 2007 г. в 12 ч 15 мин, когда лава отошла от целика монтажного ходка по вентиляционному штреку на 16,5 м (подвигание 11,5 м), а по конвейерному – на 20,5 м (подвигание 15,5 м). Максимальный дебит метана на участке во время его прорыва составил $72 \text{ м}^3/\text{мин}$, при этом дегазационными скважинами каптировалось всего $1,9 \text{ м}^3/\text{мин}$ метана. Работа лавы была остановлена. Приводим динамику газовыделения на участке 3-й восточной лавы пласта :

Время, ч-мин	Дебит метана, $\text{м}^3/\text{мин}$
12-00	1,8
12-15	72,0
17-20	32,0
19-20	28,8

Лава возобновила работу 30 июля 2007 г., а через день заработали торцевые дегазационные скважины, дебит каптируемого метана составил $6,65 \text{ м}^3/\text{мин}$.

На основе анализа результатов наблюдений за метанообильностью коренной восточной, 2-, 4-, 5- и 3-й восточных лав пласта на шахте им.

С. М. Кирова ГП «Макеевуголь» можно сделать следующие выводы.

- При отходе очистных забоев на небольшое (до 35 м) расстояние от целиков монтажных ходков, когда обрушивается только непосредственная кровля, на выемочных участках интенсивно выделяется метан с начальным дебитом 40–100 м³/мин. Такое увеличение метановыделения крайне редко наблюдается даже во время первичных обрушений основной кровли, когда лава отходит от монтажного ходка на значительно большее расстояние. При этом разгружаются и отдают метан не только близкозалегающие, но и удаленные угольные пласты-спутники.

- На участках 2-, 3- и 5-й восточных лав загазирования, по-видимому, были обусловлены выделением метана из угольного пласта-спутника мощностью 0,5–0,6 м, залегающего в кровле на расстоянии 20–22 м, после его разгрузки вследствие первичного обрушения непосредственной кровли пласта – глинистого и песчано-глинистого сланцев. Метан по эксплуатационным трещинам мигрировал в выработанное пространство, а затем в выработки шахты. На участке 4-й восточной лавы загазирования, по мнению экспертной комис-

сии, было вызвано прорывом метана из газового коллектора – газ выделялся в горные выработки не из выработанного пространства, а из неподработанного горного массива.

- Установлено, что начальный дебит метана во время первичного обрушения кровли увеличивается с ростом глубины ведения горных работ. Посадка основной кровли не сопровождается увеличением дебита метана. После посадки основной кровли метановыделение стабилизируется на уровне 11–30 м³/мин в зависи-

мости от нагрузки на очистной забой и глубины ведения горных работ (табл. 7). При этом резкого увеличения дебита метана в пределах выемочного участка не происходит.

- На шахте им. С. М. Кирова при отходе 5-й восточной лавы пласта от монтажного ходка на расстояние 10–70 м ожидалось интенсивное метановыделение. Для предотвращения загазирования выработок было пробурено десять экспериментальных дегазационных скважин. Несмотря на принятые меры, при отходе лавы на

Год, месяц	Нагрузка на очистной забой, т/сут	Дебит метана, м ³ /мин			Эффективность дегазации, %
		в исходящей струе	каптируемый дегазацией	общий на участке	
2003 г.: ноябрь	636	10,59	17,6	28,2	62,4
декабрь	1043	11,61	19,7	31,3	62,9
Среднее	839	11,10	18,7	29,8	62,7
2004 г.: январь	1009	8,97	18,92	27,9	67,8
февраль	1089	9,25	17,7	27,0	65,7
март	1133	9,52	19,4	28,9	67,1
апрель	1175	9,89	18,4	28,3	65,0
май	1075	8,66	17,5	26,2	66,9
июнь	1082	10,50	19,3	29,8	64,8
июль	1109	10,19	17,62	27,8	63,4
август	924	10,26	19,6	29,9	65,6
сентябрь	1034	11,02	17,8	28,8	61,8
октябрь	1013	12,88	18,4	31,3	58,8
ноябрь	1117	12,33	19,6	31,9	61,4
декабрь	964	11,66	22,73	34,4	66,1
Среднее	1060	10,43	18,9	29,3	64,5
Общее среднее за 2003–2004 гг.	1029	10,53	18,9	29,4	64,3
2005 г.: январь	875	11,64	15,1	26,7	56,5
февраль	920	11,42	15,2	26,6	57,1
март	954	11,82	14,8	26,6	55,6
апрель	972	9,45	15,5	25,0	62,1
май	507	7,05	14,2	21,3	66,8
июнь	655	7,27	9,6	16,9	56,9
июль	702	7,85	9,2	17,1	54,0
август	298	4,96	8,4	13,4	62,9
сентябрь	298	4,14	4,6	8,7	52,6
октябрь	450	6,76	6,0	12,8	47,0
ноябрь	534	5,52	6,1	11,6	52,5
декабрь	442	3,42	6,0	9,4	63,7
Среднее	634	7,61	10,4	18,0	57,3
Общее среднее за 2003–2005 гг.	846	9,18	15,0	24,1	61,1

Таблица 5

Восточная лава	Глубина ведения горных работ, м	Средняя добыча, т/сут	Средний дебит метана, м ³ /мин			Эффективность дегазации участка, доли ед.	Дебит метана во время первичного обрушения, м ³ /мин
			в исходящей струе	в дегазационном трубопроводе	всего на участке		
Коренная	210–240	651	3,62	7,3	10,92	0,67	13,1
2-я	265–300	990	8,6	10,5	19,1	0,55	40
3-я	300–335	878	6,9	8,5	15,4	0,55	72
4-я	335–370	1060	10,8	16,8	27,6	0,61	Более 71
5-я	370–400	1029	10,53	18,9	29,4	0,64	100,2

расстояние 15 м от монтажного ходка во время интенсивного выделения метана произошло загазирование участка. Содержание метана в исходящей струе достигало 2,5 %.

Выполненные согласно методике [14] расчеты показали, что для обеспечения нагрузки на очистной забой 800 т/сут на выемочный участок следует подавать не менее 1100 м³/мин воздуха и осуществлять дегазацию верхних и нижних спутников с эффективностью не менее 0,52. Общая эффективность дегазации участка пластов должна быть не менее 0,4. Для гарантированного достижения такой эффективности дегазации следует бурить две скважины в кровлю и одну в почву разрабатываемого пласта с теми же параметрами, с которыми их бурили для дегазации восточной коренной лавы. В табл. 5 приведены сведения о метанообильности лав по пласту после посадки основной кровли на шахте им. С. М. Кирова, а в табл. 6 – параметры бурения дегазационных скважин на участке 1-й восточной лавы пласта.

Скважины следует бурить из вентиляционного штрека позади лавы с разворотом на очист-

ной забой. Скважины должны пересекать дегазируемые пласты, h_{11} и. Интервал между устьями скважин 20–30 м. Первый куст скважин должен располагаться в 10–15 м от монтажного ходка. Отставание кустов скважин от очистного забоя не должно превышать 50 м.

На основе проведенных исследований разработаны мероприятия по снижению метановыделения в выработки при отходе лавы от монтажного ходка, сущность которых для шахты им. С. М. Кирова состояла в следующем. Анализ сведений о метанообильности выемочных участков по пласту (см. табл. 6) позволил сделать вывод о том, что при первичном обрушении непосредственной кровли и в 1-й восточной лаве может резко увеличиться метановыделение на участке, причем дебит выделяющегося метана может быть не меньше чем в коренной восточной лаве (см. табл. 6), т. е. около 13 м³/мин.

В соответствии с требованиями [14] для уменьшения опасности загазирования во время первичного обрушения пород кровли необходимо из подготовительной выработки бурить не менее двух скважин в кровлю над монтажным ходком лавы (торцевые скважины). Учитывая, что на выемочном участке при первичном обрушении непосредственной кровли возможен прорыв метана из кровли с дебитом около 13 м³/мин, рекомендовано пробурить еще семь дегазационных скважин в кровлю и две в почву. Кроме того, все скважины должны быть подключены к дегазационному трубопроводу, оборудованы задвижками и диафрагмами для замера расхода газовой смеси и содержания в ней метана, а устья скважин оснащены герметизаторами типа ГДПМ. Рекомендуемые параметры бурения торцевых дегазационных скважин на

Таблица 6

Индекс дегазируемого пласта	Угол разворота скважины от оси штрека, ...°	Угол наклона скважины к горизонту, ...°	Длина скважины, м	Глубина герметизации, м
h_{11}	В кровлю			
	46	34	35	15
	60	48	35	10
	В почву			
	45	-32	24	4

Примечание. Диаметр каждой из скважин составляет 76 мм. Расстояние между скважинами 20–30 м.

Таблица 7

Номер ку-ста сква-жин	Расстояние от монтаж-ного ходка, м	Индекс дегазируе-мого пласта	Угол разворота скважины от оси штрека, ...°	Угол наклона скважины к горизонту, ...°	Длина скважи-ны, м	Глубина гермети-зации, м	Диаметр скважины, мм
В кровлю							
1	5		58	30	37	6	76
	5		68	25	45	6	76
	5		72	20	53	6	76
2	10		45	30	52	6	76
	10	h_{11}	60	40	69	6	76
3	15	$, h_{11}$	48	30	55	6	76
	15	$, h_{11}$	62	25	67	6	76
В почву							
2	10		45	-22	47	4	76
	10		60	-22	60	4	76

участке 1-й восточной лавы пласта приведены в табл. 9.

Чтобы достичь требуемую эффективность дегазации диаметр участкового трубопровода должен быть не менее 219 мм, а магистрального – не менее 325 мм. Отсос газа должен осуществляться одним насосом НВ-50. На период работы лавы до первичного обрушения основной кровли необходимо разработать и выполнить дополнительные, не предусмотренные Правилами безопасности, мероприятия по обеспечению газовой безопасности. По мнению разработчиков рекомендаций, нагрузка на очистной забой в этот период работы лавы не должна превышать 400 т/сут с равномерным распределением по сменам.

Проведенные шахтные эксперименты с учетом выполненных аналитических исследований позволили авторам сформулировать основные требования к мероприятиям по предотвращению импульсных (внезапных) загазований горных выработок при обрушении пород кровли в зонах геологических нарушений. В основе этих мероприятий – общеизвестный принцип дегазации потенциальных источников газовой выделения при помощи скважин, причем как при сплошной системе разработки пласта, так и при столбовой.

При сплошной системе разработки дегазацию газонасыщенных структур осуществляют только с помощью скважин, пробуренных с поверхности, а при столбовой – как с помощью

скважин, пробуренных с поверхности, так и скважин, пробуренных из горных выработок. Для бурения скважин с поверхности целесообразно использовать колтюбинговую установку, с помощью которой бурят вертикальные и вертикально-горизонтальные скважины.

Как установлено в работах [11, 13], в зонах подработки мелкоамплитудных разрывных геологических нарушений общий дебит метана на выемочном участке может увеличиться на 3–5 м³/мин. Снижение метанообильности выработок в таких условиях обеспечивают текущей дегазацией кровли и выработанного пространства. В зонах подработки пликвативных газонасыщенных структур [11, 13] общий дебит метана на выемочном участке может увеличиться на 70 м³/мин и более. Предотвращение загазования в таких условиях обеспечивают только предварительной дегазацией газонасыщенных структур.

Если в подрабатываемой толще в пределах 40 вынимаемых мощностей разрабатываемого пласта залегает несколько пластов-коллекторов, то их все необходимо дегазировать. Дегазионные скважины пробуривают и подключают к поверхностной или подземной дегазационной системе шахты до начала ведения очистных работ в опасной зоне. Работы по дегазации следует проводить в соответствии с требованиями нормативного документа [14].

При дегазации газонасыщенных структур скважинами, пробуренными из горных вырабо-

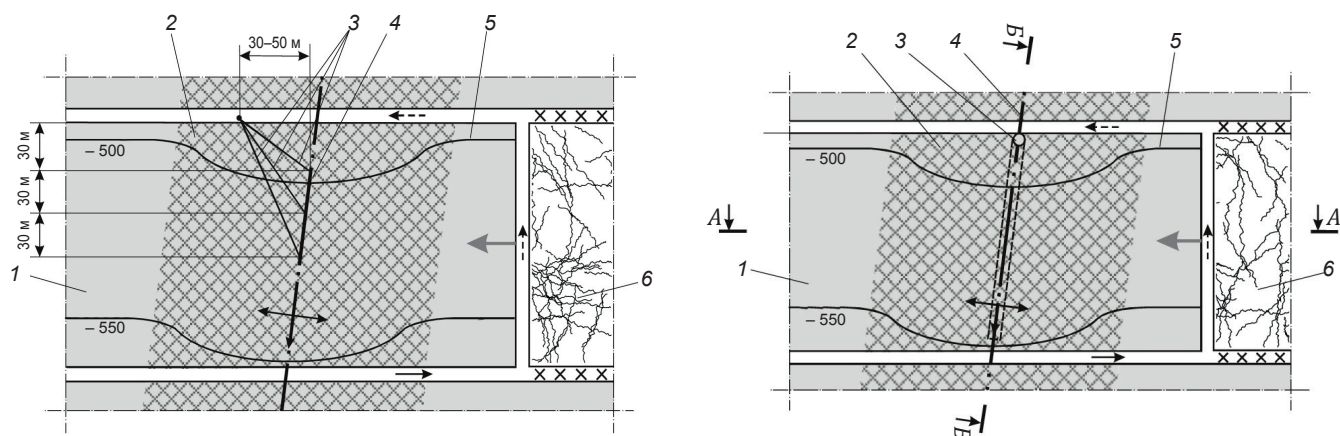


Рис. 3. Схема дегазации газонасыщенной структуры скважинами, пробуренными из горных выработок: 1 – разрабатываемый пласт; 2 – участок, опасный по прорывам метана из кровли; 3 – дегазационные скважины; 4 – ось антиклинали; 5 – изогипсы; 6 – выработанное пространство.

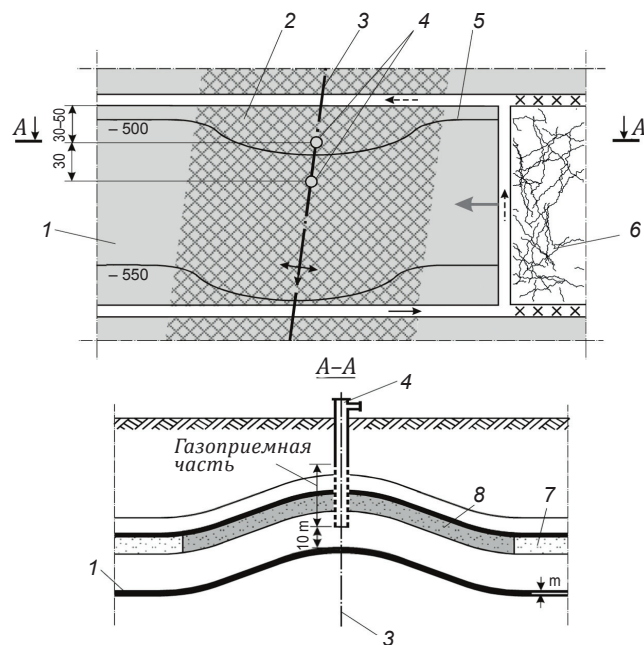


Рис. 4. Схема дегазации газонасыщенной структуры вертикальными скважинами, пробуренными с поверхности: 1 – разрабатываемый пласт; 2 – участок, опасный по прорывам метана из кровли; 3 – ось антиклинали; 4 – дегазационные скважины; 5 – изогипсы; 6 – выработанное пространство; 7 – песчаник; 8 – зона повышенной газонасыщенности массива; m – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта. Размеры в метрах.

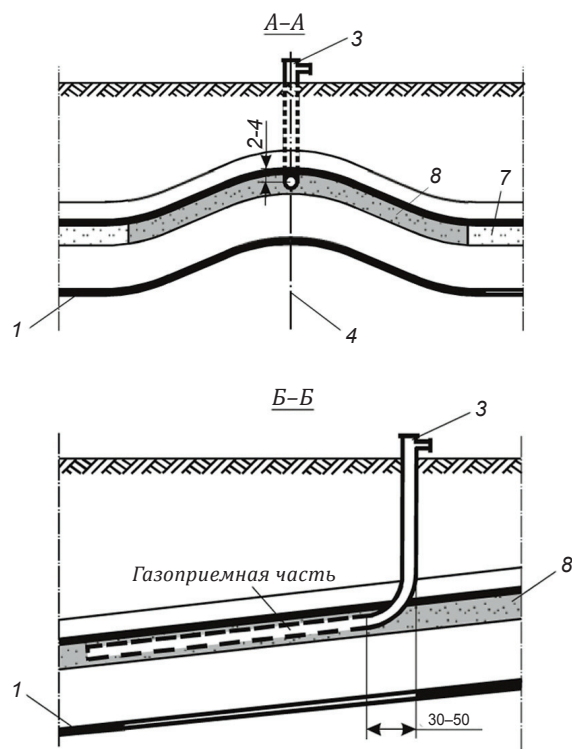


Рис. 5. Схема дегазации газонасыщенной структуры вертикально-горизонтальными скважинами, пробуренными с поверхности: 1 – разрабатываемый пласт; 2 – участок, опасный по прорывам метана из кровли; 3 – дегазационная скважина; 4 – ось антиклинали; 5 – изогипсы; 6 – выработанное пространство; 7 – песчаник; 8 – зона повышенной газонасыщенности массива. Размеры в метрах.

ток, дегазационные скважины должны пересекать потенциальный источник газовой выделения (пласт-коллектор) и внедряться в породу-газоупор вблизи оси газонасыщенной структуры (рис.

3). При этом скважины бурят навстречу очистному забою. Их параметры устанавливают опытным путем в конкретных горнотехнических условиях. Для обеспечения требуемого эффекта

требуется бурить не менее трех скважин. Расстояние между забоями скважин – не более 30 м.

При дегазации газонасыщенных структур вертикальными скважинами, пробуренными с поверхности, скважины должны полностью пересекать пласт-коллектор вблизи оси газонасыщенной структуры, причем для обеспечения требуемого эффекта необходимо бурить не менее двух скважин. Место заложения первой скважины на поверхности должно обеспечивать расположение проекции ее забоя на разрабатываемый пласт на удалении 30–50 м от вентиляционной выработки с расстоянием между скважинами 30 м (рис. 4 и 5).

Расстояние между забоем скважины и кровлей разрабатываемого пласта должно быть не более 10 вынимаемых мощностей разрабатываемого пласта (10*m*). Скважины обсаживают трубами на всю глубину. Газоприемную часть скважины перфорируют не менее чем 20 отверстиями на 1 м трубы. Диаметр отверстий – от 10 до 15 мм. Газоприемная часть скважины должна пересекать угольные пласты, залегающие в кровле. Длину скважины определяют методом прогноза метанообильности в соответствии с требованиями нормативного документа [14], но она должна быть не менее 40*m*. Дегазация газонасыщенных структур осуществляется вертикально-горизонтальными скважинами, пробуренными с поверхности, причем скважины нужно бурить так, чтобы их горизонтальная часть находилась в пласте-коллекторе на 2–4 м ниже контакта с газоупором вблизи оси газонасыщенной структуры.

Выводы. Обрушение пород кровли, как правило, сопровождается интенсивным выделением метана из разгруженных угольных пластов и пород в выработанное пространство как из кровли, так и из почвы разрабатываемого пласта. При прорывах газа из кровли метановыделение может значительно увеличиваться и достигать максимальных значений в течение короткого промежутка времени. Затем дебит выделяющегося газа постепенно снижается.

Представленные технологические схемы дегазации газонасыщенных структур угленородного массива вблизи зон геологических нарушений с помощью скважин, пробуренных из горных выработок и с поверхности земли, показали свою эффективность.

Дегазация свободных скоплений метана в коллекторах угле вмещающих пород с применением разработанных способов позволит предот-

вратить внезапные загазирования горных выработок и обеспечить безопасность работ по газовому фактору.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов М. А. Суфлярные выделения метана в угольных шахтах / М. А. Фролов, А. И. Бобров. – М.: Недра, 1971. – 160 с.
2. Бобров А. И. Борьба с местными скоплениями метана в угольных шахтах / А. И. Бобров. – М.: Недра, 1988. – 152 с.
3. Булат А. Ф. Концепция комплексной дегазации угленородного массива на шахте им. А. Ф. Засядько / А. Ф. Булат // Геотехническая механика. – 2003. – № 42. – С. 3–9.
4. Разработать методику прогноза опасности газовой выделении во время обрушения пород основной кровли в зонах геологических нарушений и мероприятия по предотвращению загазирования горных выработок: отчет о НИР / МакНИИ; руководитель В. Н. Кочерга. – № 1710202150. – Макеевка, 2005. – 40 с.
5. Лечук И. М. Дегазация спутников угольных пластов скважинами / И. М. Лечук. – М.: Углетехиздат, 1956. – 210 с.
6. Петросян А. Э. Закономерности, характеризующие процессы газовой выделении в горных выработках, и их инженерное приложение / А. Э. Петросян. – М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1967. – 23 с.
7. Морев А. М. Внезапные разрушения почвы и прорывы метана в выработки угольных шахт / [А. М. Морев, Л. А. Скляров, И. М. Большинский и др.]. – М.: Недра, 1992. – 174 с.
8. Агафонов А. В. Внезапные выделения метана из кровли выработок / А. В. Агафонов, А. И. Бобров, Е. П. Захаров // Уголь Украины. – 2003. – № 4. – С. 41–42.
9. Звягильский Л. Е. Управление метановыделением при выемке угольных пластов / Л. Е. Звягильский, Б. В. Бокий, О. И. Касимов. – Донецк: Ноулидж, 2013. – 213 с.
10. Минеев С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко. – Донецк: Східний вид. дім, 2010. – 604 с.
11. Минеев С. П. Оценка импульсного метановыделения в зонах геологических нарушений при обрушении пород кровли / С. П. Минеев, В. Н. Кочерга, А. С. Янжула // Уголь Украины. – 2016. – № 1. – 11–18.
12. Минеев С. П. Закономерности метановыделения при высоких скоростях подвигания очистного забоя / С. П. Минеев, В. Н. Кочерга, А. С. Янжула // Уголь Украины. – 2015. – № 7–8. – С. 26–31.
13. Минеев С. П. Оценка возможности импульсного выделения сорбированного метана из угольного пласта / С. П. Минеев, А. А. Прусова, А. А. Поталенко, В. Н. Кочерга // Уголь Украины. – 2014. – № 10. – С. 31–36.
14. Минеев С. П. Основные параметры прогноза импульсных метановыделений в зонах геологических нарушений / С. П. Минеев, В. Н. Кочерга, А. С. Янжула, А. А. Гулай // Уголь Украины. – 2016. – № 3. – С. 25–32.
15. Дегазация вугільних шахт. Вимоги до к способів та схеми дегазациі: СОУ 10.1.00174088.001–2004. –К.: Мінпаливенерго України, 2005. – 162 с. – (Нормативный документ).