

УДК 622.411.322

С.П. Минеев<sup>1</sup>, В.Н. Кочерга<sup>1</sup>, А.С. Янжула<sup>2</sup>, М.А. Кишкань<sup>3</sup>

## МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАГАЗИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

<sup>2</sup>Шахтоуправление «Покровское»

<sup>3</sup>Головное управление Гоструда в Донецкой области

*Выполнен анализ обстоятельств и динамики газовыделения в зонах геологических нарушений при посадках основной кровли, которые привели к авариям на шахтах «ШУ «Покровское» и им. С.М. Кирова ГП «Макеевуголь». Обоснованы способы дегазации газонасыщенных структур вблизи зон геологических нарушений при первичной посадке основной кровли, которые рекомендованы к выполнению при сооружении дегазационных скважин, пробуренных из горных выработок и земной поверхности.*

*Сформулирована методология разработки мер для предотвращения импульсных внезапных загазований горных выработок при обрушении пород основной кровли в зонах геологических нарушений.*

**Ключевые слова:** внезапное выделение метана, посадка кровли, загазирование, геологическое нарушение.

Отработка газоносных угольных пластов на шахтах Донбасса осложнена выделением метана в горные выработки, что является главным фактором, ограничивающим нагрузку на очистной забой и основной причиной, приводящей к производственному травматизму, в связи с тем, что газовыделение приводит к загазированию и затем к взрывам и вспышкам метана в горных выработках. В течение последних десятилетий в шахтах страны 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, ШУ «Покровское», им. С.М. Кирова, «Краснолиманская», «Южнодонбасская №1» и др.) [1-4].

Одной из распространенных причин образования взрывоопасной газовой среды в выработках является 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 в результате 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 имеет место после первой посадки пород основной кровли вследствие активизации источников метана, находящихся в подработанной толще. Причем, содержание метана в исходящей вентиляционной струе за очень короткий промежуток времени может достигать взрывоопасных концентраций.

Следует иметь в виду, что 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 вышеупомянутые многочисленные исследования в области борьбы с импульсными метановыделением, до настоящего времени не разработана нормативная методика прогноза газовыделения во время обрушения пород кровли в зонах геологических нарушений. Также не разработаны и не апробированы эффективные и технологичные мероприятия по предотвращению загазирования горных выработок для обеспечения безопасности ведения горных работ по газовому фактору при первичных и последующих обрушениях пород кровли.

Отсутствие нормативной базы не позволило предотвратить внезапное выделение метана и, как следствие, его взрывы на шахтах «Золотое» ГП «Первомайскуголь» (24.09.93 г.) и им. С.М. Кирова ГП «Макеевуголь» (07.05.01г.), имевших весьма трагические последствия, а также многочисленные загазирования горных выработок, приводящих к длительным простоям выемочных участков. Примером может служить внезапное загазирование горных выработок на шахте «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь» в мае 2001 года, которое привело к простоя участка в течение 9 дней. Даже если внезапное газовыделение запрогнозировано, обеспечить полное его предотвращение весьма затруднительно.

Ранее были выполнены исследования по анализу обстоятельств взрывов метана и внезапных загазирования, происшедших в угольных шахтах Украины, были собраны сведения о горно-геологических и горнотехнических условиях всех зарегистрированных случаях загазирования горных выработок во время обрушения пород кровли за последние 30 лет. Их анализ позволил обосновать геологические и горнотехнические характеристики условий внезапных загазирования горных выработок во время посадки основной кровли в зонах геологических нарушений, предложить методику прогноза опасности импульсных газовыделений [4, 8 – 14].

Поэтому в данной работе рассмотрены основные вопросы по разработке мероприятий и оценке их эффективности для предотвращения внезапных импульсных выделений метана и, соответственно, обеспечению безопасности ведения горных работ по газовому фактору, во время первичной и последующих посадках основной кровли в зонах геологических нарушений.

Как ранее было установлено [4, 5, 8, 11, 14] механизм импульсных прорывов метана из кровли может быть представлен следующим образом. Одинокный угольный пласт разрабатывается, например, в зоне влияния пликативного (антиклинали, купола, флексуры, брахиантиклинали, осевые части антиклиналий) или малоамплитудного разрывного (надвиги, сбросы, взбросы) геологического нарушения, способных 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 происходит обнажение трещиноватого коллектора, в нашем случае газонасыщенного песчаника и свободный газ, скопившийся в нем, начинает интенсивно выделяться в горные выработки. Причем газ может выделяться с больших площадей, находящихся в зоне влияния очистных работ. Следует иметь в виду, что последующие, после импульсного прорыва газа, обрушения кровли и, соответственно, разгрузка песчаника, уже как правило, не вызывает аномальных метановыделений в связи с дегазацией коллектора и выхода очистных работ из зоны влияния нарушения.

В качестве объекта для исследований по оценке эффективности предложенных мероприятий рассмотрены аварии, произошедшие на шахтах ШУ «Покровское» и им. С.М. Кирова.

**Авария в виде взрыва метановоздушной смеси (февраль 2002 г.), связанная с внезапным выделением метана из кровли выработки, произошла на шахте «Красноармейская-Западная» №1 (ШУ «Покровское», г Красноармейск).** 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 была возвратноточная. Из выработанного пространства метан отводился по неподдерживаемой выработке за пределы выемочного участка.

Расчетная газообильность участка при планируемой суточной нагрузке на очистной забой 2000 т составляла 14,2 м<sup>3</sup>/мин. На участок подавалось 1770 м<sup>3</sup>/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 не было повышенного содержания метана. Обследование выработок после аварии позволило установить, что температурное воздействие на предметы (бумага,

полиэтиленовая пленка, оболочка кабелей) наблюдалось только в 1-й южной-бис бортовой выработке, причем в верхней части ее сечения. Такие следы температурного воздействия характерны для случаев распространения пламени по слоевым скоплениям метана у кровли выработок [8].

Из технической документации видно, 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. Во всех случаях содержание метана у кровли выработки было в норме. При обследовании аварийного участка через 12 ч после взрыва в 1-й южной-бис бортовой выработке обнаружено скопление метана у кровли 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  $d_3Sd_4$  (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 двое суток после аварии газовыделение из разлома прекратилось. Газоносность углей пластов  $d_4$  и  $d_4^I$  в районе выработок 3-й южной лавы блока № 6 составляет от 15 до 20 м<sup>3</sup>/т с. б. м., газоносность выбросоопасного песчаника  $d_3Sd_4$  изменяется от 1,8 до 5,9 м<sup>-1</sup> на 1 м<sup>3</sup>. Было установлено, что образование трещиноватой зоны произошло 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 привело к повышенному выделению метана из полостей расслоения пород в районе газоносного песчаника и угольного пласта  $d_4$ , в результате чего в верхней части сечения 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 м<sup>3</sup>/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- 10х1,5 сигнализации монорельсовой дороги ДМКЛ [8]. Описанное внезапное выделение метана, приведшие к трагическим последствиям, являются одной из разновидностей суфлярных выделений, вызванных активизацией геомеханических процессов в горном массиве в зонах влияния опорного давления от очистных выработок.

**Авария, произошедшая 12.08.2014 года** в 10 часов 20 минут на выемочном участке в 7-й южной лаве блока № 10 пласта  $d_4$  ОАО «Шахтоуправление «Покровское».

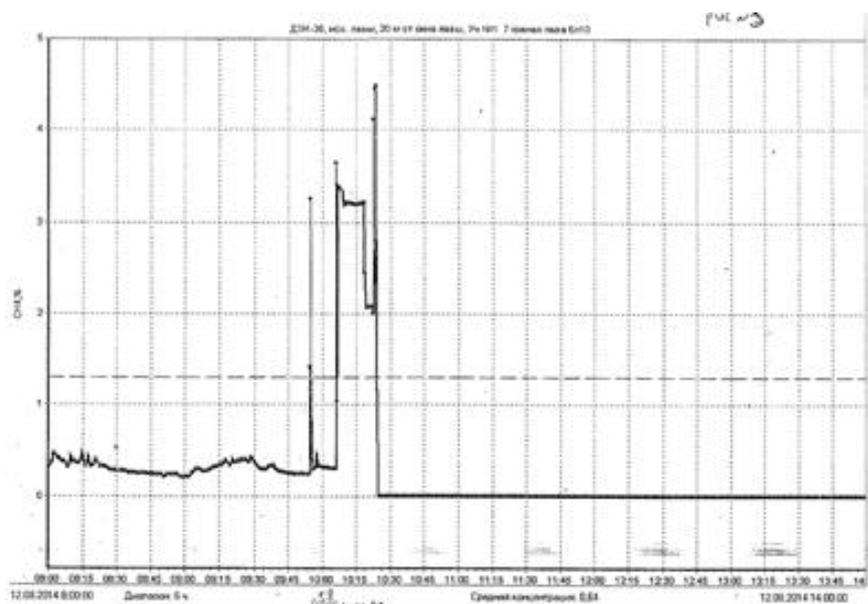
7-я южная лава блока 10 расположена в юго-восточной части шахтного поля. Очистные работы ведутся по простиранию. Система разработки – столбовая. В пределах выемочных полей технология работ – бесцеликсовая. Система управления кровлей – полное обрушение. Проектная длина выемочного столба протяженностью 2920 метров при длине лавы 304 метров.

Лава была оборудована механизированной крепью ЗКД90Т (202 шт.), комбайном - JOY4LS20 (1 шт.), конвейер лавы – SZK-260/852 (310 м), подлавленным конвейером -PZF 05/P3 (120 м). С 21.07.2014г по 05.08.2014 г 7 южная лава блока №10 была временно остановлена. С 5.08.14 по 12.08.14 года продвижение лавы составило 8,6 м, что составило среднюю нагрузку на очистной забой 1114 т/ сутки. Выемочный участок 7 южной лавы блока № 10 проветривается по прямоточной схеме проветривания с подсыжением исходящей струи воздуха типа 2-В-3-н-пт.

При отработке лавы 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 газоотводящей трубы находится в выработанном пространстве на расстоянии 0,5-1,0 м от литой охранной полосы. Для недопущения образования опасных скоплений метана у сопряжения лавы с выработкой с исходящей струей воздуха (поддерживаемая часть) в охранной полосе установлены газо-дренажные каналы, длиной 2,0 м, и расстоянием между каналами - 5 м. На штреке в месте устройства каналов оборудованы смесительные камеры.

04.06.2014 года произошла первичная посадка пород основной кровли в 7 южной лаве блока 10. Согласно выполненного расчета ожидаемое среднее метановыделение в очистной выработке составляла  $I_{оч.} = 2,47 \text{ м}^3/\text{мин}$ , на выемочном участке –  $I_{уч.} = 14,56 \text{ м}^3/\text{мин}$ , необходимый расход метана, каптируемый дегазацией  $I_{дег.} = 3,38 \text{ м}^3/\text{мин}$ , расход воздуха для проветривания очистной выработки  $Q_{оч.} = 422 \text{ м}^3/\text{мин}$ , выемочного участка  $Q_{уч.} = 1676 \text{ м}^3/\text{мин}$ , в выработке с подсыжающей струей воздуха  $Q_{доп.} = 756 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Транспортировка метано-воздушной смеси из выработанного пространства осуществлялась по отрезкам труб участковым трубопроводом диаметром 426 мм, магистральным трубопроводом диаметром 530 мм при совместной отработке 3-й северной лавы блока №10 на поверхностную ВНС №2.

Контроль содержания метана и отключение электрооборудования на аварийном участке №7 блока № 10 12.08.2014 года в первую смену осуществлялся 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 момент аварии, измерялась датчиком ДЗИ-38, который был установлен в 7 южном конвейерном штреке блока 10, представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Динамика изменения концентрации в струе воздуха CH<sub>4</sub> метана на датчике ДЗИ-38 типа ДМВ – ППИ

Экспертная комиссия посчитала, что перед аварией в месте расположения комбайна между неровностями кровли и перекрытиями секций крепи находилась метано-воздушная смесь горючей концентрации, образовавшаяся вследствие поступления метана из трещиноватого массива, которая воспламенилась из-за искрения при ремонте комбайнового кабеля с последующим перемещением фронта горения в выработанное пространство и выдавливанием горящего метана в призабойное пространство очистного забоя.

При этом при посадке кровли (лава отошла от места остановки 8,4 м) после длительного простоя произошло раскрытие трещин в газоносном песчанике основной кровли, который явился коллектором для перемещения метана с пластов спутников  $d_4^1$  и  $d_4^2$ , что способствовало импульсному «выдавливанию» метана на забой по всей длине лавы.

**Далее рассмотрим импульсные метановыделения, произошедшие в коренной восточной, 2-й, 3-й, 4-й и 5-й восточных лавах при отходе от целика монтажного ходка пласта  $h_{10}^B$  на шахте им. С.М. Кирова ГП «Макеевуголь».**

Рассмотрим вначале общие сведения об исследуемых лавах.

1-я восточная лава вела отработку пласта  $h_{10}^B$  по его простиранию. Вынимаемая мощность, 1,14 м, выход летучих, 9,8-11%, природная метаносность, 15-25 м<sup>3</sup>/т с.б.м. Система разработки – сплошная, управление кровлей – полное обрушение, схема проветривания – возвратноточная типа 1-В-Н-в-вт. Длина лавы 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 в свету 2,28 м<sup>2</sup>. Планируемая добыча – 800 т/сут. Планируемый расход воздуха для проветривания участка – 1100 м<sup>3</sup>/мин. Глубина ведения очистных работ 150-190 м.

Непосредственная кровля пласта представлена глинистым сланцем мощностью 19,4 – 20,5 м, средней устойчивости. В почве пласта залегает песчаник мощностью 2,0 – 2,3 м, песчано-глинистый сланец мощностью 1,3-2,0 м, песчаник мощностью 2,2-4,8 м и угольный пласт  $h_{10}^H$  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, 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, отрабатываемой с июля 2007 года. Расположение пластов-спутников, залегающих в кровле и почве разрабатываемого пласта  $h_{10}^B$ , анализировалось по геологоразведочным скважинам №4667 и №4715 (таблица 1).

Таблица 1

**Расположение пластов-спутников относительно разрабатываемого пласта  $h_{10}^B$**

№ п/п	Символ пласта	Скважина №4667		Скважина №4715	
		расстояние от пласта $h_{10}^B$ , м	мощность пласта, м	расстояние от пласта $h_{10}^B$ , м	мощность пласта, м
1	$i_1$	107	0,25	117	0,1
2	$i_0$	93	0,35	109	0,2
3	$h_{11}^1$	43	0,2	-	-
4	$h_{11}$	31	0,2	-	-
5	$h_{10}^1$	19,35	0,6	20,5	0,6
6	$h_{10}^B$	0,0	0,9	0,0	0,94
7	$h_{10}^H$	8,1	0,3	-	-

Первичное обрушение кровли в восточной коренной лаве пласта  $h_{10}^B$  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 составило 13,1 м<sup>3</sup>/мин. В дальнейшем средний дебит метана на участке составлял 10,92 м<sup>3</sup>/мин при среднесуточной добыче 651 тонна (табл. 2).

2-я восточная лава пласта  $h_{10}^B$  начала работать в сентябре 1999 г. Во время первичного обрушения непосредственной кровли (лава отошла от целика монтажного ходка на расстояние 17 м по конвейерному штреку и 30 м по вентиляционному) было отмечено увеличение до 40 м<sup>3</sup>/мин дебита метана на участке. После аварии, случившейся на шахте 05.05.01 г., лава была остановлена. Работы возобновились в 2006 году. При среднесуточной нагрузке

990 тонн средний дебит метана в исходящей струе составлял 8,6 м<sup>3</sup>/мин. Дегазационная система каптировала 10,8 м<sup>3</sup>/мин метана.

4-я восточная лава пласта  $h_{10}^B$  после отхода 4-й восточной лавы пласта  $h_{10}^B$  на расстояние 25 м от монтажного ходка 05.05.01 г. на выемочном участке произошел внезапный прорыв метана с начальным дебитом не менее 71 м<sup>3</sup>/мин. Динамика газовыделения приведена в таблице 3, а общий объем выделившегося за несколько суток метана составлял, примерно, 110 тыс. м<sup>3</sup>.

Таблица 2

Сведения о метанообильности и среднесуточной нагрузке на очистной забой восточной коренной лавы пл.  $h_{10}^B$  в 2000 году

№ п/п	Наименование показателей	Месяц				
		январь	февраль	март	апрель	среднее
1	Среднесуточная добыча, тонн	785	598	679	541	651
2	Метановыделение, м <sup>3</sup> /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
3	Дебит метана, каптируемого скважинами, м <sup>3</sup> /мин	7,4	7,3	7,5	7,0	7,3
4	Всего на участке, м <sup>3</sup> /мин	11,0	10,9	11,2	10,7	10,92

Таблица 3

Динамика газовыделения на участке 4-й восточной лавы пл.  $h_{10}^B$

Дебит метана, м <sup>3</sup> /мин	≥71,0	50,6	30,8	17,0	15,6	11,5	10,6	8,3	5,1	5,1	4,6
Время после начала газовой выделенной, час	0,1	3,5	17,5	28,0	39,0	54	59	65	88	95	137

Газовая съемка, выполненная 07.05.2001 г., показала, что основной приток метана происходил из целика на расстоянии 30-40 м за монтажным ходком из кровли вентиляционного штрека по ходу вентиляционной струи (таблица 4, рис. 2). На пятиметровом участке штрека содержание метана на расстоянии до 0,3 м от кровли со стороны 2-й восточной лавы составляло 64,4% и 3,5% на расстоянии 1,0 м.

Причиной загазирования выработок, по мнению экспертной комиссии, расследовавшей причины аварии, явился суфляр из газового коллектора в 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 м<sup>3</sup>/мин, что свидетельствует об истощении источника газовой выделенной.

Таблица 4  
 Результаты газовой съемки на выемочном участке 4-й восточной лавы,  
 выполненной 07.05.01 г.

Место наблюдения	Номер пункта наблюдения на рисунке 1	Расход газовой смеси, м <sup>3</sup> /мин	Содержание метана, %	Дебит метана, м <sup>3</sup> /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

После восстановления очистных работ и дальнейшей отработки лавы, внезапных загазований с высоким дебитом метана не отмечалось. Средний дебит метана в исходящей струе составлял 10,8 м<sup>3</sup>/мин. Дегазационной системой каптировалось 16,8 м<sup>3</sup>/мин метана. Средняя нагрузка на очистной забой составляла при этом 1060 т/сут.

В 5-й восточной лаве пласта  $h_{10}^B$  при проектировании выемочного участка предполагалось, что скопления свободного метана, который внезапно может выделиться в горные выработки во время обрушения пород кровли, имеются и в горном массиве на участке 5-й восточной лавы. Для проверки этого предположения и предварительной дегазации углепородного массива с целью предотвращения возможного внезапного прорыва метана из газового коллектора после начала работы 5-й восточной лавы по разработанным рекомендациям [4, 18] было пробурено пять скважин из вентиляционной магистрали 5-й восточной лавы и две скважины из камеры на 4-ом восточном конвейерном штреке. Наблюдения за газовыделением по скважинам показали, что метан по ним не выделялся как до начала отработки 5-й восточной лавы, так и в дальнейшем. Это указывает на то, что свободных скоплений метана в дегазируемой 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 м<sup>3</sup>/мин, что привело к увеличению его концентрации в исходящей вентиляционной струе до 6,0 %. Торцевыми скважинами в это время отводилось всего 0,1 м<sup>3</sup>/мин. Через шесть часов после начала газовыделения дебит метана снизился до 27 м<sup>3</sup>/мин.

Низкая эффективность дегазации в этот период обусловлена малым отходом лавы от монтажного ходка. Торцевые скважины в таких условиях еще не начали работать эффективно. Как правило, такие скважины начинают ра-

ботать после отхода лавы на расстояние порядка 20 м от монтажного ходка. Средний дебит скважины, пробуренной на пласт-спутник  $h_{11}$ , составил  $1,04 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Она находилась в работе весь период отработки лавы. Скважина, пробуренная на пласт-спутник  $h_{10}^1$ , продолжала работать в течение 20 месяцев. Средний дебит метана по ней 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,  $1000 \text{ т/сут}$  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  $63\text{-}66\%$ .

При снижении нагрузки на очистной забой метанообильность выемочного участка, соответственно, уменьшалась, но при этом уменьшалась и эффективность дегазации (табл. 5).

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

В 3-й восточной лаве пласта  $h_{10}^B$  при разработке проекта отработки лавы 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 [18]. Для снижения метановыделения в горные выработки были пробурены семь торцевых скважин в кровлю и две в почву.

Запрогнозированное увеличение дебита метана на участке произошло в 12 часов 15 минут 27.07.2007 г. когда лава отошла от целика монтажного ходка по вентиляционному штреку на расстояние 16,5 м (подвигание 11,5 м), а по конвейерному штреку на расстояние 20,5 м (подвигание 15,5 м). Максимальный дебит метана на участке во время его прорыва составил  $72 \text{ м}^3/\text{мин}$  (таблица 6), при этом дегазационными скважинами каптировалось всего  $1,9 \text{ м}^3/\text{мин}$  метана. Работа лавы была остановлена.

Лава возобновила работу 30.07.07 г., а через день заработали торцевые дегазационные скважины. Дебит каптируемого метана по ним составил  $6,65 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Анализ результатов наблюдений за метанообильностью коренной восточной, 2-й, 4-й, 5-й и 3-й восточных лав пласта  $h_{10}^B$  на шахте им. С.М. Кирова ГП «Макеевуголь» позволил сделать следующие выводы:

1. При отходе очистных забоев на небольшое (до 35 м) расстояние от целиков монтажных ходков, когда происходит обрушение только непосредственной кровли, на выемочных участках происходит интенсивное выделе-

ние метана с начальным дебитом 40-100 м<sup>3</sup>/мин. Такое увеличение метано-выделения крайне редко происходит 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 близко залегающие, но и удаленные угольные пласты-спутники.

Таблица 5

Сведения о метанообильности и эффективности дегазации 5-й восточной лавы пласта h<sub>10</sub><sup>1</sup>

№ п/п	Месяц, год	Нагрузка на очистной забой, А, сут	Дебит метана в исходящей струе, I <sub>исх</sub> , м <sup>3</sup> /мин	Дебит метана, капируемый дегазацией, I <sub>дег</sub> , м <sup>3</sup> /мин	Общий дебит метана на участке, I <sub>уч</sub> , м <sup>3</sup> /мин	Эффективность дегазации, k <sub>дег</sub> , %
1	2	3	4	5	6	7
1	11.03	636	10,59	17,6	28,2	62,4
2	12.03	1043	11,61	19,7	31,3	62,9
	среднее	839	11,10	18,7	29,8	62,7
3	01.04	1009	8,97	18,92	27,9	67,8
4	02.04	1089	9,25	17,7	27,0	65,7
5	03.04	1133	9,52	19,4	28,9	67,1
6	04.04	1175	9,89	18,4	28,3	65,0
7	05.04	1075	8,66	17,5	26,2	66,9
8	06.04	1082	10,50	19,3	29,8	64,8
9	07.04	1109	10,19	17,62	27,8	63,4
10	08.04	924	10,26	19,6	29,9	65,6
11	09.04	1034	11,02	17,8	28,8	61,8
12	10.04	1013	12,88	18,4	31,3	58,8
13	11.04	1117	12,33	19,6	31,9	61,4
14	12.04	964	11,66	22,73	34,4	66,1
	среднее	1060	10,43	18,9	29,3	64,5
	общ.ср.за 03/04гг.	1029	10,53	18,9	29,4	64,3
15	01.05	875	11,64	15,1	26,7	56,5
16	02.05	920	11,42	15,2	26,6	57,1
17	03.05	954	11,82	14,8	26,6	55,6
18	04.05	972	9,45	15,5	25,0	62,1
19	05.05	507	7,05	14,2	21,3	66,8
20	06.05	655	7,27	9,6	16,9	56,9
21	07.05	702	7,85	9,2	17,1	54,0
22	08.05	298	4,96	8,4	13,4	62,9
23	09.05	298	4,14	4,6	8,7	52,6
24	10.05	450	6,76	6,0	12,8	47,0
25	11.05	534	5,52	6,1	11,6	52,5
26	12.05	442	3,42	6,0	9,4	63,7
	среднее	634	7,61	10,4	18,0	57,3
	общ.ср.за 03/05гг.	846	9,18	15,0	24,1	61,1

Таблица 6  
Динамика газовыделения на участке 3-й восточной лавы пласта  $h_{10}^B$  27.07.07 г.

Дебит метана, м <sup>3</sup> /мин	1,8	72	32	28,8
Время, ч	12 <sup>00</sup>	12 <sup>15</sup>	17 <sup>20</sup>	19 <sup>20</sup>

2. На участках 2-й, 5-й и 3-й восточных лав загазирования, по-видимому, были обусловлены выделением метана из угольного пласта-спутника  $h_{10}^1$  мощностью 0,5-0,6 м, залегающего в кровле на расстоянии 20-22 м, после его разгрузки вследствие первичного обрушения непосредственной кровли пласта  $h_{10}^B$  – глинистого и песчано-глинистого сланцев. Метан по эксплуатационным трещинам мигрировал в выработанное пространство, а затем в выработки шахты. На участке 4-й восточной лавы загазирование, по мнению экспертной комиссии, расследовавшей причины аварии, было вызвано прорывом метана из газового коллектора. Здесь метан выделялся в горные выработки не из выработанного пространства, а из неподработанного горного массива.

3. 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 м<sup>3</sup>/мин в зависимости от нагрузки на очистной забой и глубины ведения горных работ (см. таблицу 7). При этом резких увеличений дебита метана в пределах выемочного участка не происходит.

4. На шахте им.С.М. Кирова при отходе 5-й восточной лавы пласта  $h_{10}^B$  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 расстояние 15 м от монтажного ходка во время интенсивного выделения метана, произошло загазирование участка. Содержание метана в исходящей струе достигало 2,5%.

Выполненные согласно методики [19] расчеты показали, что для обеспечения нагрузки на очистной забой 800 т/сут на выемочный участок следует подавать не менее 1100 м<sup>3</sup>/мин воздуха и осуществлять дегазацию верхних и нижних спутников с эффективностью не менее 0,52. Общая эффективность дегазации участка 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, что бурились для дегазации восточной коренной лавы (таблица 7).

Бурение скважин следует осуществлять из вентиляционного штрека позади лавы с разворотом на очистной забой. Они должны пересекать дегазуемые пласты  $h_{10}^1$ ,  $h_{11}$  и  $h_{10}^H$ . Интервал между устьями скважин 20-30 м. Пер-

вый куст скважин должен располагаться в 10-15 м от монтажного ходка. Отставание кустов скважин от очистного забоя не должно превышать 50 м.

Таблица 7

**Сведения о метанообильности лав по пласту  $h_{10}^B$  после посадки основной кровли на шахте им. С.М. Кирова**

№ п/п	Лава	Глубина ведения горных работ, м	Средняя добыча, А, т/сут	Средний дебит метана, м <sup>3</sup> /мин			Эффективность дегазации участка, $k_{дег.общ.}$ , доли ед.	Дебит метана во время первичного обрушения, м <sup>3</sup> /мин
				в исходящей струе, $I_{исх}$	в дегазационном трубопроводе, $I_{дег}$	всего на участке, $I_{уч}$		
1	Коренная восточная	210-240	651	3,62	7,3	10,92	0,67	13,1
2	2-я восточная	265-300	990	8,6	10,5	19,1	0,55	40
3	3-я восточная	300-335	878	6,9	8,5	15,4	0,55	72
4	4-я восточная	335-370	1060	10,8	16,8	27,6	0,61	более 71
5	5-я восточная	370-400	1029	10,53	18,9	29,4	0,64	100,2

Проведенные исследования позволили разработать мероприятия по снижению метановыделения в выработки при отходе лавы от монтажного ходка для шахты им. С.М. Кирова, сущность которых состояла в следующем. Анализ сведений о метанообильности выемочных участков по пласту  $h_{10}^B$ , сведенных в таблицу 8 позволил сделать вывод о том, что при первичном обрушении непосредственной кровли и в 1-й восточной лаве может происходить резкое увеличение метановыделения на участке. Дебит выделяющегося метана может быть не меньше, чем в коренной восточной лаве (см. табл. 8), то есть около 13 м<sup>3</sup>/мин.

В соответствии с требованиями [15] 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 м<sup>3</sup>/мин, рекомендовалось пробурить еще семь дегазационных скважин в кровлю и две в почву со следующими параметрами (таблица 9).

При этом рекомендуется, что бы все скважины были подключены к дегазационному трубопроводу, оборудованы задвижками и диафрагмами для

замера расхода газовой смеси и содержания метана в ней. Устья скважин герметизируются герметизаторами типа ГДПМ.

Таблица 8

Параметры бурения дегазационных скважин на участке 1-й восточной лавы пл.  $h_{10}^B$

Индекс дегазируемого пласта	Угол разворота скважины от оси штрека, град.	Угол наклона скважины к горизонту, град	Длина скважины, м	Глубина герметизации, м	Диаметр скважины, мм	Расстояние между скважинами, м
В кровлю						
$h_{10}^1$	46	34	35	15	76	20-30
$h_{11}$	60	48	35	10	76	20-30
В почву						
$h_{10}^H$	45	-32	24	4	76	20-30

Таблица 9

Параметры бурения торцевых дегазационных скважин на участке 1-й восточной лавы пл.  $h_{10}^B$

Номер куста скважин	Расстояние от монтажного ходка, м	Индекс дегазируемого пласта	Угол разворота скважины от оси штрека, град.	Угол наклона скважины к горизонту, град	Длина скважины, м	Глубина герметизации, м	Диаметр скважины, мм
В кровлю:							
1	5	$h_{10}^1$	58	30	37	6	76
	5	$h_{10}^1$	68	25	45	6	76
	5	$h_{10}^1$	72	20	53	6	76
2	10	$h_{10}^1$	45	30	52	6	76
	10	$h_{11}$	60	40	69	6	76
3	15	$h_{10}^1, h_{11}$	48	30	55	6	76
	15	$h_{10}^1, h_{11}$	62	25	67	6	76
В почву:							
2	10	$h_{10}^H$	45	-22	47	4	76
	10	$h_{10}^H$	60	-22	60	4	76

Для достижения требуемой эффективности дегазации участковый трубопровод должен быть диаметром не менее 219 мм, а магистральный – не менее 325 мм. Отсос газа должен осуществляться одним насосом НВ-50. На период работы лавы до первичного обрушения основной кровли необходимо разработать и осуществлять дополнительные (не предусмотренные ПБ) мероприятия по обеспечению газовой безопасности. Нагрузка на очистной забой в этот период работы лавы не должна, по мнению разработчиков рекомендаций, 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 заложен общеизвестный принцип дегазации потенциальных источников газовыделения при помощи скважин, причем как при сплошной системе отработки пласта, так и при столбовой.

Причем при сплошной системе разработки дегазацию газонасыщенных структур возможно осуществлять только скважинами, пробуренными с поверхности, а при столбовой системе разработки дегазация газонасыщенных структур может осуществляться как скважинами, пробуренными с поверхности, так и скважинами, пробуренными из горных выработок. Для бурения дегазационных скважин с поверхности целесообразно использовать колтюбинговую установку, которая позволяет бурить вертикальные и вертикально-горизонтальные скважины.

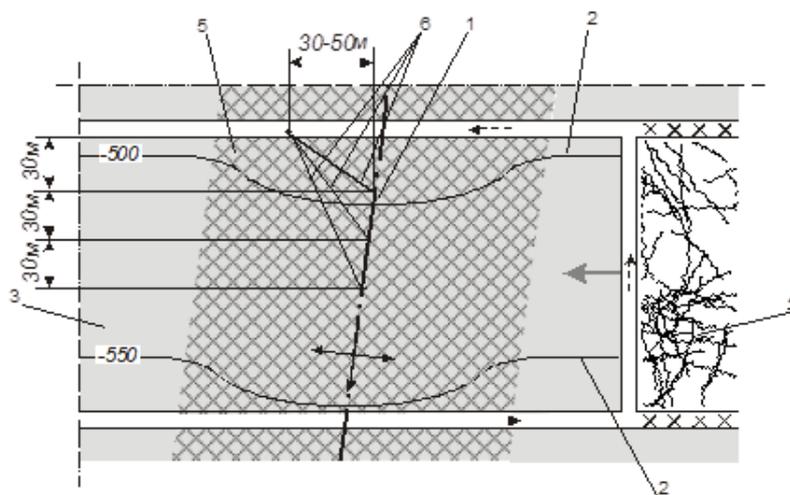
В зонах подработки мелкоамплитудных разрывных геологических нарушений, как установлено [12, 14] общий дебит метана на выемочном участке может увеличиться на 3-5 м<sup>3</sup>/мин. Снижение метанообильности горных выработок в таких условиях обеспечивается текущей дегазацией кровли и выработанного пространства, осуществляемой на выемочных участках согласно разработанных мероприятий.

В зонах подработки пликативных газонасыщенных структур [12, 14] общий дебит метана на выемочном участке может увеличиться на 70 м<sup>3</sup>/мин и более. Предотвращение загазования в таких условиях должно обеспечиваться только предварительной дегазацией газонасыщенных структур.

Если в подрабатываемой толще в пределах 40 вынимаемых мощностей разрабатываемого пласта (40 м) залегает несколько пластов-коллекторов, то они все должны быть дегазированы. Дегазационные скважины должны быть пробурены и подключены к поверхностной или подземной дегазационной системе шахты до начала ведения очистных работ в опасной зоне. Работы по дегазации должны вестись в соответствии с требованиями [15].

При дегазации газонасыщенных структур скважинами, пробуренными из горных выработок дегазационные скважины должны пересекать потенциальный источник газовыделения (пласт-коллектор) и внедряться в породу-

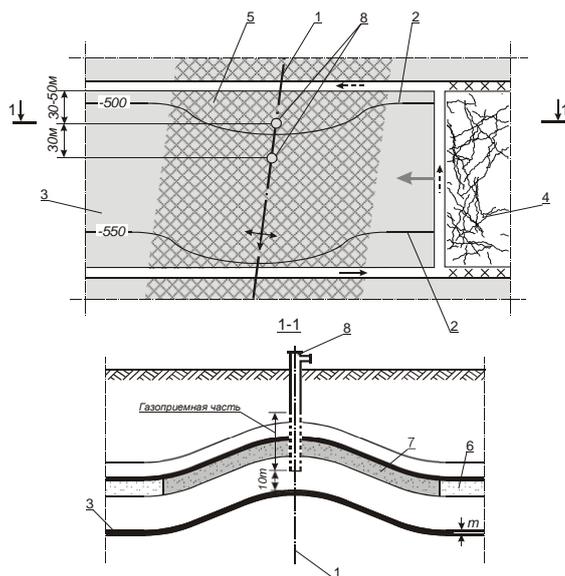
газоупор вблизи оси газонасыщенной структуры (рис. 2). При этом скважины бурятся навстречу очистному забою. Их параметры устанавливаются опытным путем в конкретных горнотехнических условиях. Для обеспечения требуемого эффекта необходимо бурить не менее трех скважин. Расстояние между забоями скважин должно быть не более 30 м.



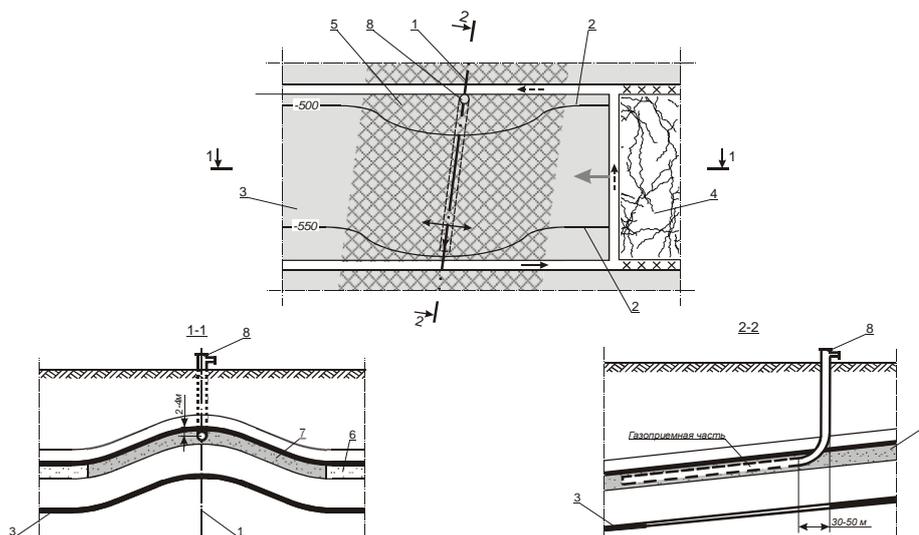
**Рис. 2.** Схема дегазации газонасыщенной структуры скважинами, пробуренными из горных выработок: 1 – ось антиклинали; 2 – изогипсы; 3 – разрабатываемый пласт; 4 – выработанное пространство; 5 – участок, опасный по прорывам метана из кровли; 6 – дегазационные скважины

При дегазации газонасыщенных структур вертикальными скважинами, пробуренными с поверхности вертикальные скважины с поверхности 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 её забоя на разрабатываемый пласт на удалении 30-50 м от вентиляционной выработки с расстоянием между скважинами 30 м (рисунок 3, 4).

Расстояние между забоем скважины и кровлей разрабатываемого пласта должно быть не больше 10 м. Скважины обсаживают трубами на всю глубину. Газоприемную часть скважины перфорируют не менее, чем двадцатью отверстиями на 1 м трубы. Диаметр отверстий – от 10 мм до 15 мм. Газоприемная часть скважины должна пересекать угольные пласты, залегающие в кровле. Длина скважины определяется методом прогноза метанообильности в соответствии с требованиями [15] и принимается не менее 40-м. Дегазация газонасыщенных структур вертикально-горизонтальными скважинами, пробуренными с поверхности, причем эти скважины должны буриться так, чтобы горизонтальная их часть находилась в пласте-коллекторе на 2-4 м ниже контакта с газоупором вблизи оси газонасыщенной структуры.



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



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

### Выводы

1. 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 незначительного промежутка времени. Затем происходит постепенное снижение дебита выделяющегося газа.

2. Представлены технологические схемы дегазации газонасыщенных структур углепородного массива вблизи зон геологических нарушений с помощью скважин, пробуренных из горных выработок и поверхности земли.

3. Дегазация свободных скоплений метана в коллекторах с помощью разрабатываемых способов позволяет не допустить внезапных загазований горных выработок и обеспечить безопасность работ по газовому фактору.

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 углепородного массива на шахте им. А. Ф. Засядько / А.Ф. Булат // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2003, № 42. – С. 3-9.
4. *Разработать* методику прогноза опасности газовой выделению во время обрушения пород основной кровли в зонах геологических нарушений и мероприятия по предотвращению загазования горных выработок: Отчет МакНИИ по работе № 1710202150/ рук. В.Н. Кочерга. - Макеевка-Донбасс: 2005. - 40 с.
5. *Печук И.М.* Дегазация спутников угольных пластов скважинами. - М.: Углетехиздат, 1956. - 210 с.
6. *Петросян А.Э.* Закономерности, характеризующие процессы газовой выделению в горных выработках и их инженерное приложение. - 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 Л.А., 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, № 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 продвижения 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. Потапенко, 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 угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации: СОУ 10.1.00174088.001-2004.* - Киев: Минуглеэнергопром Украины, 2005. - 162 с.

*С.П. Минеев, В.М. Кочерга, О.С. Янжула, М.О. Кишкань*

## **ЗАХОДИ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ЗАГАЗУВАННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК**

*Виконано аналіз обставин і динаміки газовиділення в зонах геологічних порушень при посадках основної покрівлі, які призвели до аварій на шахтах «ШУ«Покровське» та ім. С.М. Кірова ДП «Макіїввугілля». Обґрунтовано засоби дегазації газонасичених структур поблизу зон геологічних порушень при первинній посадці основної покрівлі, які рекомендовані до виконання при спорудженні дегазаційних свердловин, пробурених з гірських виробок і земної поверхні. Сформульована методологія розробки заходів для запобігання імпульсних раптових загазування гірничих виробок при обваленні порід основної покрівлі в зонах геологічних порушень.*

**Ключові слова:** *раптове виділення метану, посадка покрівлі, загазування, геологічне порушення.*

*S.P. Mineev, V.N. Kocherga, A.S. Yanzhula, M.A. Kishkan*

## **MEASURES TO PREVENT GAS CONTAMINATION OF MINES**

The analysis of the circumstances and the dynamics of the evolution of gas in zones near geological faults under the main roof plantings, which led to the accident at the mine "SHU "Pokrovskoye" and him. S.M. Kirov Enterprise "Makeevugol". Decontamination methods are proved gas-structures near the zones of geological disturbances during the initial landing of the main roof, which are recommended to carry out in the construction of degasification wells drilled from the mine workings and the surface. Formulated methodology for the development of measures to prevent sudden impulse zagazirovaniy mining with caving the roof in the main areas of geological faults.

**Keywords:** *the sudden release of methane, roof planting, zagazirovanie, geological violation.*