

УДК 622.411.322

Минеев С.П., д.т.н., проф.,
Кочерга В.Н., инженер,
Прусова А.А., к.т.н., с.н.с.,
(ИГТМ НАН Украины),
Головко Ю.И., инженер,
Янжула А.С., инженер,
Гулай А.А., инженер
(ШУ «Покровское»)

**ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ
ИСКЛЮЧЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАГАЗИРОВАНИЯ ГОРНЫХ
ВЫРАБОТОК ПРИ ОБРУШЕНИИ ПОРОД КРОВЛИ***

Минєєв С.П., д.т.н., проф.,
Кочерга В.М., інженер,
Прусова А.А., к.т.н., с.н.с.
(ИГТМ НАН України),
Головко Ю.І., інженер,
Янжула О.С., інженер,
Гулай О.О., інженер
(ШУ «Покровське»)

**ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ ДЛЯ
ВИКЛЮЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАГАЗУВАНЬ ГІРНИЧИХ
ВИРОБОК ПІД ЧАС ОБВАЛЕННЯ ПОРІД КРІВЛІ**

Mineev S.P., D. Sc. (Tech.), Professor,
Kocherga V.N., engineer,
Prusova A.A., Ph. D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine),
Golovko Yu.I., M.S. (Tech.),
Yanzhula A.S., M.S. (Tech.),
Gulay A.A., M.S. (Tech.)
(Mine management "Pokrovskoye")

**QUESTIONS OF EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF
ACTIVITIES TO EXCLUDE THE POSSIBILITY OF STOCKING
MINING PROCESSES WHEN THE ROOF DISTURBED**

Аннотация. Установлено, что 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. Предложены геологические критерии и разработан метод прогноза импульсных загазований выработок при обрушениях кровли. Обоснованы способы дегазации газонасыщенных структур вблизи зон геологических нарушений при первичной посадке основной кровли, которые рекомендованы к выполнению при сооружении дега-

* © Минеев С.П., Кочерга В.Н., Прусова А.А., Головко Ю.И., Янжула А.С., Гулай А.А., 2017

Статья посвящена 50-летию со дня основания Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

зационных 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. Выполнена апробация разработанных способов в шахтных условиях, показавшая эффективность мероприятий, направленных на исключение возможности загазования горных выработок при обрушении пород кровли.

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

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 взрывам и вспышкам метана в горных выработках. В течение последних десятилетий в шахтах страны произошёл 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, 2].

Одной из распространённых причин образования взрывоопасной газовой среды в выработках является внезапное повышенное метановыделение при посадках основной кровли, причём наиболее опасным считается метановыделение при обрушении кровли в зоне влияния геологических нарушений. Известно [4], 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. Причём, 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 счёт притока газа из вмещающих пород и сближенных пластов, удалённых 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 загазования 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» (07.05.01 г.), имевших весьма трагические последствия, а также многочисленные загазирова-

ния 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 простою 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 загазирований, происшедших в угольных шахтах Украины, были собраны сведения о горно-геологических и горнотехнических условиях всех зарегистрированных случаях загазирований горных выработок во время обрушения пород кровли за последние 30 лет. Их анализ позволил обосновать геологические и горнотехнические характеристики условий внезапных загазирований горных выработок во время посадки основной кровли в зонах геологических нарушений, предложить методику прогноза опасности импульсных газовыделений [2, 16-18].

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

Как ранее было установлено [2, 5] 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 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. Причём 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», им. С.М. Кирова, им. А.Ф. Засядько.

Авария в виде взрыва метановоздушной смеси (февраль 2002 г., 2013 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 произошёл 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.

Расчётная газообильность участка при планируемой суточной нагрузке на очистной забой 2000 т составляла $14,2 \text{ м}^3/\text{мин}$. На участок подавалось $1770 \text{ м}^3/\text{мин}$ 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 плёнка, оболочка кабелей) наблюдалось только в 1-й южной-бис бортовой выработке, причём в верхней части её сечения. Такие следы температурного воздействия характерны для случаев распространения пламени по слоевым скоплениям метана у кровли выработок.

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 её 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, мощность 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_4^1 в районе выработок 3-й южной лавы блока № 6 составляет от 15 до 20 $\text{м}^3/\text{т}$ с.б.м., газоносность выбросоопасного песчаника d_3Sd_4 изменяется от 1,8 до 5,9 м^{-1} на 1 м^3 . 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 $0,9 \text{ м}^3/\text{мин}$. Как показывают расчёты, 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 повреждённого кабеля КВВГ-10×1,5 сигнализации монорельсовой дороги ДМКЛ. 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 d₄ 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 – бесцеликовая. Система управления кровлей – полное обрушение. Проектная длина выемочного столба протяжённостью 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), подлавным конвейером – PZF-05/P3 (120 м). С 21.07.2014 г. 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 подсвеживанием 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 струёй 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 расчёта 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 подсвеживающей струёй воздуха $Q_{дон.} = 756 \text{ м}^3/\text{мин}$. Транспортировка метановоздушной смеси из выработанного пространства осуществлялась по отрезкам труб участковым трубопроводом диаметром 426 мм в 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 четырёх 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, совмещёнными 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.

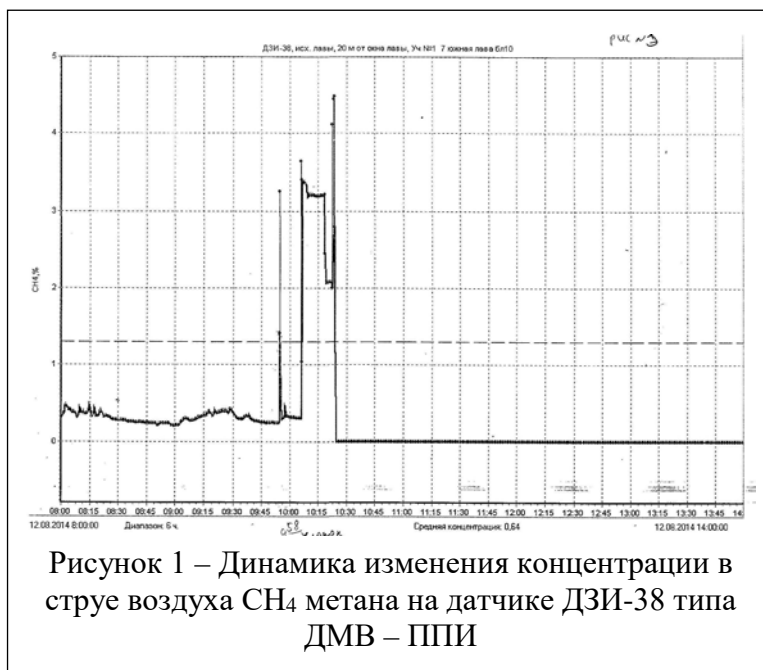


Рисунок 1 – Динамика изменения концентрации в струе воздуха CH_4 метана на датчике ДЗИ-38 типа ДМВ – ППИ

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 «Макееуголь».

Рассмотрим вначале общие сведения об исследуемых лавах.

1-я восточная лава вела отработку пласта h_{10}^B по его простирацию. Вынимаемая мощность, 1,14 м, выход летучих, 9,8-11 %, природная метаноносность, 15-25 $\text{м}^3/\text{т}$ 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^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 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, отработанной в период с 1999 г. по 2007 г. (в период с мая 2001 г. по 2006 г. лава не отработывалась), 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 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 м³/мин. В дальнейшем средний дебит метана на участке составлял 10,92 м³/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 м³/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 м³/мин. Дегазационная система каптировала 10,8 м³/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 произошёл внезапный прорыв метана с начальным дебитом не менее 71 м³/мин. Динамика газовыделения приведена в табл. 3, а общий объём выделившегося за несколько суток метана составлял, примерно, 110 тыс.м³.

Газовая съёмка, 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 (табл. 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.

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 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
3	Дебит метана, каптируемого скважинами, м ³ /мин	7,4	7,3	7,5	7,0	7,3
4	Всего на участке, м ³ /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 ³ /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 газовыделения, час	0,1	3,5	17,5	28,0	39,0	54	59	65	88	95	137

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

Место наблюдения	Номер пункта наблюдения на рис. 1	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

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 м³/мин, что свидетельствует об истощении источника газовыделения.

После восстановления очистных работ и дальнейшей отработки лавы внезапных загазирования с высоким дебитом метана не отмечалось. Средний дебит метана в исходящей струе составлял 10,8 м³/мин. Дегазационной системой каптировалось 16,8 м³/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 [2, 5] было пробурено пять скважин из вентиляционной магистрали 5-й восточной лавы и две скважины из камеры на 4-ом восточном конвейерном штреке (см. рис. 1). 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 $100,2 \text{ м}^3/\text{мин}$, что привело к увеличению его концентрации в исходящей вентиляционной струе до 6,0 %. Торцевыми скважинами в это время отводилось всего $0,1 \text{ м}^3/\text{мин}$. Через шесть часов после начала газовыделения дебит метана снизился до $27 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Низкая эффективность дегазации в этот период обусловлена малым отходом лавы от монтажного ходка. Торцевые скважины в таких условиях ещё не начали работать эффективно. Как правило, такие скважины начинают работать после отхода лавы на расстояние порядка 20 м от монтажного ходка. Средний дебит скважины, пробуренной на пласт-спутник h_{11} (№ 9 на рис. 2) составил $1,04 \text{ м}^3/\text{мин}$. Она находилась в работе весь период отработки лавы. Скважина, пробуренная на пласт-спутник h_{10}^1 (№ 10 на рис. 2), 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 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 %.

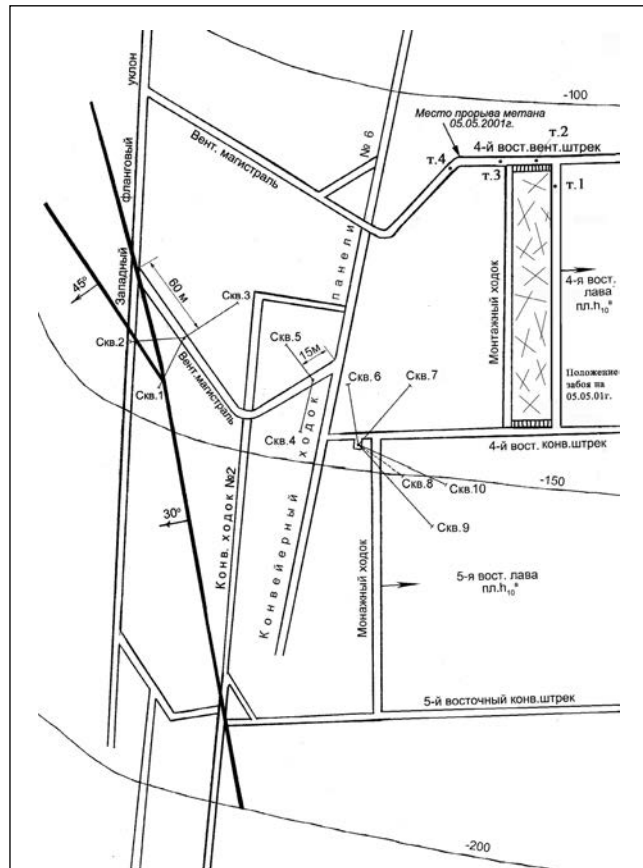


Рисунок 2 – Схема расположения дегазационных скважин и пунктов наблюдений за метановыделением на шахте им. С.М. Кирова: т.1 – т.4 – пункты наблюдений за метановыделением; Скв.1 – Скв.7 – скважины для предварительной дегазации; Скв.8 – торцевая скважина в почву; Скв.9 – Скв.10 – торцевые скважины в кровлю

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

Таблица 5 – Сведения о метанообильности и эффективности дегазации 5-й восточной лавы пласта h_{10}^1

№ п/п	Месяц, год	Нагрузка на очистной забой, A , сут	Дебит метана в исходящей струе, $I_{исх}$, м ³ /мин	Дебит метана, капируемый дегазацией, $I_{дег}$, м ³ /мин	Общий дебит метана на участке, $I_{уч}$, м ³ /мин	Эффективность дегазации, $k_{дег}$, %
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 ³ /мин	1,8	72	32	28,8
Время, ч	12 ⁻⁰⁰	12 ⁻¹⁵	17 ⁻²⁰	19 ⁻²⁰

Анализ результатов наблюдений за метанообильностью 4-й восточной и 5-й восточной лав показал, что дегазация становится эффективной, когда в ра-

боте находятся два и более кустов скважин. Наиболее высокие показатели эффективности дегазации достигаются при нагрузке на очистной забой, примерно, 1000 т/сут, когда общий дебит метана на участке составляет 27-30 м³/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 [5]. 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 м³/мин (табл. 6), при этом дегазационными скважинами каптировалось всего 1,9 м³/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 м³/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 выделение метана с начальным дебитом 40-100 м³/мин. Такое увеличение метановыделения 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 удалённые угольные пласты-спутники.

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 м³/мин в зависимости от нагрузки на очистной забой и глубины ведения горных работ

(см. табл. 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 методике [6] расчёты 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 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 (табл. 7).

Бурение скважин следует осуществлять из вентиляционного штрека позади лавы с разворотом на очистной забой. Они должны пересекать дегазируемые пласты h_{10}^1 , h_{11} и h_{10}^H . 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.

Таблица 7 – Сведения о метанообильности лав по пласту h_{10}^B после посадки основной кровли на шахте им. С.М. Кирова

Лавы	Глубина ведения горных работ, м	Средняя добыча, A , т/сут	Средний дебит метана, м ³ /мин			Эффективность дегазации участка, $K_{дег.общ.}$, доли ед.	Дебит метана во время первичного обрушения, м ³ /мин
			в исходящей струе, $I_{исх}$	в дегазационном трубопроводе, $I_{дег}$	всего на участке, $I_{уч}$		
Коренная восточная	210-240	651	3,62	7,3	10,92	0,67	13,1
2-я восточная	265-300	990	8,6	10,5	19,1	0,55	40
3-я восточная	300-335	878	6,9	8,5	15,4	0,55	72
4-я восточная	335-370	1060	10,8	16,8	27,6	0,61	более 71
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 , сведённых в

табл. 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 м³/мин.

В соответствии с требованиями [6] 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, рекомендовалось пробурить ещё семь дегазационных скважин в кровлю и две в почву со следующими параметрами (табл. 9).

Таблица 8 – Параметры бурения дегазационных скважин на участке 1-й восточной лавы пл. h_{10}^B

Индекс дегазируемого пласта	Угол развота 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 развота скважины от оси штрека, °	Угол наклона скважины к горизонту, °	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

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.

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.

Рассмотрим результаты анализа исследований, проведенных в 16-й западной лаве пласта m_3 с вынимаемой мощностью 1,6-1,8 м на шахте им. А.Ф. Засядько.

В непосредственной и основной кровле пласта залегают: глинистый сланец мощностью 20 м, песчаник мощностью 6 м, песчано-глинистый сланец мощностью 5 м, угольный пропласток m_4 мощностью 0,38 м, глинистый сланец мощностью 7 м и газонасыщенный песчаник $m_4Sm_4^1$, мощностью 40-45 м, в котором на части шахтного поля залегают угольный пласт (углистый сланец) m_4^0 . Песчаник перекрыт газонепроницаемыми породами: глинистым сланцем и угольным пластом m_4^1 .

Считается, что наиболее мощным источником метановыделения в горные выработки пласта m_3 является песчаник $m_4Sm_4^1$. Для его дегазации из людского ходка уклона № 7 по аналогии с выработками «газового горизонта» [2, 5, 7] были пробурены и подключены к дегазационной системе 13 техногенных экспериментальных скважин, три из них (5Э, 6Э и 7Э) пересекали песчаник в зоне антиклинальной складки. Параметры бурения скважин задавались по рекомендациям ИГТМ НАН Украины [1, 2, 7].

На выемочном участке 16-й западной лавы применяются три способа дегазации: дегазация кровли скважинами, пробуренными из вентиляционного штрека навстречу очистному забою; дегазация кровли скважинами, пробуренными из людского ходка уклона № 7; дегазация выработанного пространства отсасыванием газа вакуум-насосом по трубопроводу, оставленному в завале [2].

Метановыделение из техногенных скважин определялась для каждой скважины при различном расстоянии между её забоем и границей зоны разгрузки песчаника, пересекаемого скважиной (r_c) (табл. 10) [2, 7].

$$r_c = (l_x + a) - l_{nx} \pm l_{nc},$$

где l_x – расстояние между очистным забоем и сопряжением людского ходка №7 с вентиляционным штреком лавы, м; $a = 66$ м – отставание зоны разгрузки песчаника от очистного забоя, м; l_{nx} – расстояние между проекцией устья скважины на вентиляционный штрек и сопряжением ходка со штреком, м; l_{nc} – длина проекции скважины на вентиляционный штрек, м; знак «+» – скважины пробурены на восток, а знак «-» – скважины пробурены на запад.

Из 13 пробуренных скважин в течение анализируемого периода функционировали семь. Анализ эффективности каждого способа дегазации показал (табл. 11), что большая часть метана каптируется в выработанном пространстве (48,9 %), в то время как все скважины каптируют 35,1 % общего дебита метана, выделяющегося на участке.

Таблица 10 – Основные параметры сооружения скважин

Пикет устья скважины	№ скважин	Длина скважин., l_c , м	Наклон к горизонту, β , град.	Разворот от оси ходка, φ , град.	l_{nx} , м	l_{nc} , м
141 западная	2Э	232	26	90	17	196
142 западная	3Э	210	26	75	14	155
140 западная	4Э	204	24	35	20	48
140 ось	5Э	165	30	11	20	74
140 восточная	6Э	168	36	35	20	111
141 восточная	7Э	282	13	50	17	258
121 западная	8Э	265	20	110	86	249
117 восточная	9Э	254	55	60	99	145
117 западная	10Э	120	45	60	99	84
116+5 ось	11Э	110	40	0	100	29
90 западная	12Э	122	43	70	191	68
89 восточная	13Э	200	24	40	195	158
88 ось	14Э	140	48	0	198	32

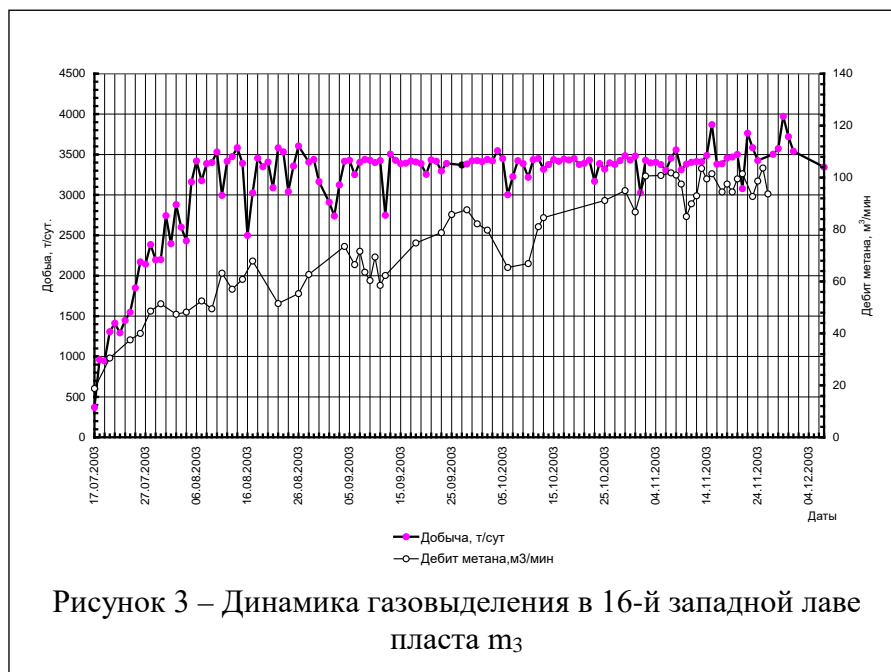
Таблица 11 – Средняя эффективность дегазации 16-й западной лавы пласта m_3 по состоянию на 07.12.03 г.

Способы дегазации	Дебит каптированного метана, m^3 /мин	Эффективность дегазации лавы, %	Средняя концентрация, %	Примечания
Газоотсос	40,8	48,9	19,5	Средняя добыча угля – 3344 т/сут Средний дебит метана на участке – 83,4 m^3 /мин
Скважины в вентиляционном штреке	11,6	13,9	28,4	
Скважины в ходке уклона №7	17,7	21,2	42,0	
Всего	70,1	84,0		

В течение первых трёх месяцев работы лавы дебит метана, каптированного скважинами и газоотсосом, были, примерно, одинаковы, но после 23.10.2003 дебит газоотсоса увеличился с 40 до 60 m^3 /мин. Это, по мнению специалистов, могло быть вызвано изменением схемы вентиляции участка, в результате которой по вентиляционному штреку стала поступать подсвежающая струя воздуха.

Результатами проведенных экспериментов [2] в 16-й западной лаве, как и в других лавых на пласте m_3 , не был установлен характер чётко выраженного увеличения метанообильности, связанного с первичным обрушением пород основной кровли (рис. 3). При стабильной добыче угля дебит метана постепенно увеличивался, приближаясь к уровню 80 m^3 /мин. Но с 23.10.03 г. темп роста увеличился. В это время забой лавы находился на расстоянии 230 м от оси антиклинали. Активизация движения пород кровли над выработанным пространством 15-й западной лавы способствовала увеличению притока метана в зоне природной трещиноватости массива. Это подтверждается появлением слоёвых скоплений метана в вентиляционном штреке, несмотря на наличие подсвежающей струи воздуха.

Как правило, сохранность скважин определяли методом зондирования их длины. В скважину вводили зонд, состоящий из секций длиной 1,4 м. Общая длина зонда 56 м. Скважину считали разрушенной в месте, дальше которого зонд не проходил. Так, проведенное зондирование скважин оказалось возможным только в пяти



скважинах. В остальных 8 не удалось ввести зонд, так как обсадные трубы имели боковые отводы или же мешало оборудование, размещённое в выработке. Из пяти обследованных скважин четыре оказались разрушенными на расстояниях от её забоя с 4,2 до 42 м. На некоторых из исследуемых скважин сместившаяся крепь частично смяла обсадные трубы, но приток в них газа не прекратился.

Как показали результаты обследования каптирования метана из техногенных скважин зависят от их параметров и расположения по отношению к очистному забою и антиклинальной складке. Поскольку значительная часть длины этих скважин находится в породах кровли отработанной 15-й западной лавы, на приток метана в них влияет активизация движения этих пород, вызванная работой 16-й западной лавы. Часть скважин (№ 2Э, 4Э, 5Э и 7Э) пересекающих песчаник $m_4Sm_4^1$ над 16-й западной лавой, поэтому их дебит, по нашему мнению, менялся по мере приближения зоны разгрузки песчаника от горного давления.

Из 13 пробуренных скважин пять (8Э, 11Э, 12Э, 13Э и 14Э) не работали. Скважины 8Э и 11Э оказались разрушенными. Скважины № 12Э, 13Э и 14Э, пробуренные над выработанным пространством 14-й западной лавы, находятся в практически дегазированных породах. Поэтому дебиты скважин № 12Э и 13Э при разрежении в устьях до 16 мм рт.ст. не превышали 0,1 м³/мин.

Скважины № 2Э, 3Э и 4Э, расположенные далее 250 м от оси антиклинали, начинали работать впереди очистного забоя на расстоянии 150-250 м от границы зоны разгрузки песчаника (рис. 4) [2]. На таком расстоянии обычно отражается влияние отработки смежной лавы. Скважина № 3Э имела небольшой дебит метана (табл. 12), но обильный приток воды, поэтому была закрыта до подхода лавы к её забою.

Дебит скважины № 2Э увеличивался по мере приближения зоны разгрузки и достиг максимума, когда её забой находился в створе с границей этой зоны (см. рис. 4). До подработки забоя дебит скважины составлял (1,0-1,5) м³/мин, после подработки – (3-3,5) м³/мин. Однако через месяц выделение метана в скважину прекратилось.

Таблица 12 – Метанодобываемость техногенных скважин

№ скважин	Продолжительность работы, сут	Средний дебит метана, м ³ /мин	Среднее содержание метана, %	Объём извлечённого метана, тыс. м ³	Примечания
2Э	113	1,68	52,6	273	Отключена
3Э	23	0,5	34,0	16,5	->-
4Э	96	1,6	26,2	221	->-
5Э	124	8,7	72,1	1553,5	Работает
6Э	134	3,67	77,7	708,2	->-
10Э	82	0,81	79,7	95,6	->-
7Э	24	1,9	75,8	65,7	->-
Всего:				2933,5	

Дебит скважины № 4Э до подработки был очень нестабильным в основном в связи с резкими изменениями содержания метана в газе. Это могло быть вызвано неравномерностью движения пород кровли над 15-й западной лавой в связи с приближением забоя 16-й западной лавы и неравномерностью притока воды в скважину. После подработки скважины дебит её резко увеличился на короткое время и затем стабилизировался на среднем уровне около 1 м³/мин.

Скважина № 5Э дала газ сразу после окончания бурения (рис. 5), но через 10 суток дебит её снизился до нуля. С приближением зоны разгрузки на 220 м дебит быстро вырос до 11 м³/мин и далее остаётся в диапазоне 8-12 м³/мин. После прохода створа зоны разгрузки песчаника дебит скважины начал быстро

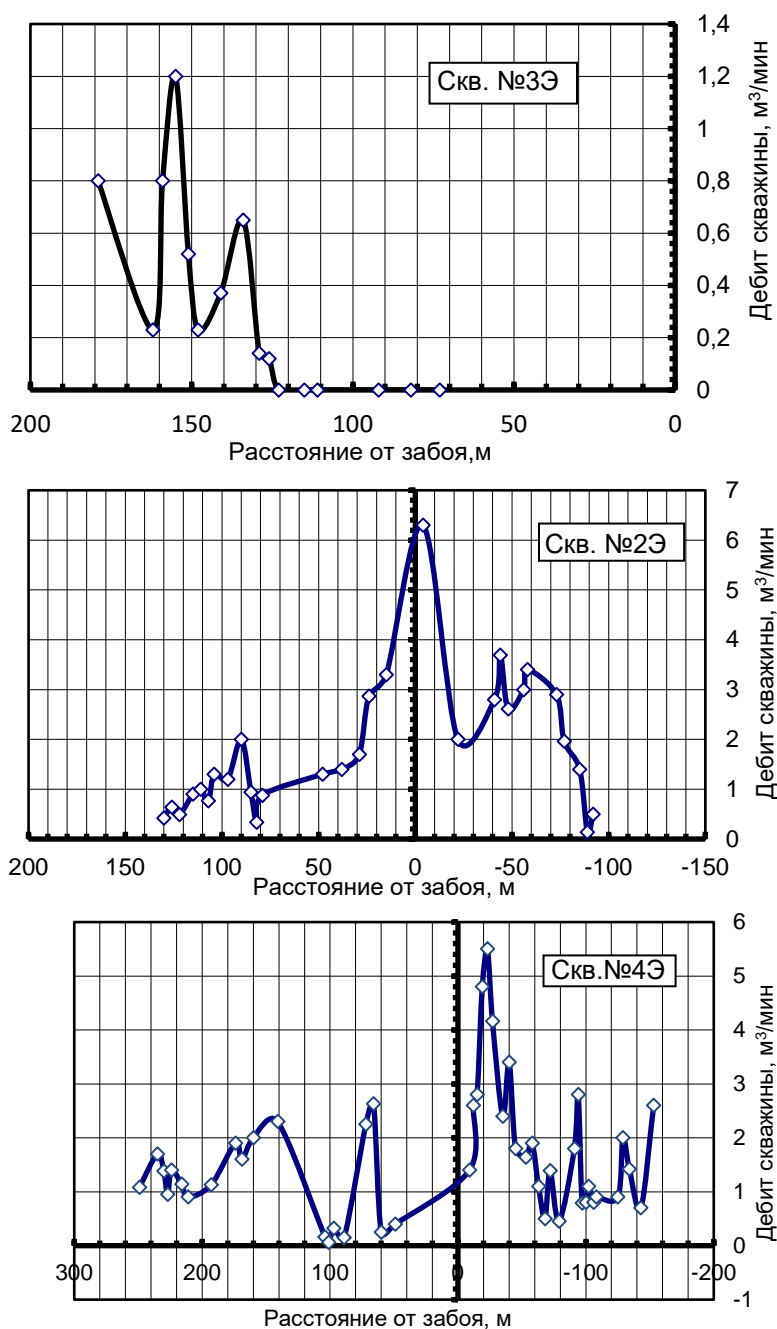


Рисунок 4 – Динамика дебита скважин 2Э, 3Э и 4Э [2]

уменьшаться. Такой режим работы скважины позволяет полагать, что в начальном периоде она извлекала свободный метан, содержащийся в пересекаемом трещиноватом массиве. Увеличение дебита вызвано дополнительной разгрузкой углепородного массива в связи с приближением забоя 16-й западной лавы.

Скважина № 6Э расположена ближе к оси антиклинали. Можно полагать, что породы здесь более трещиноваты и имеется большая связь с удалёнными источниками метана. Скважина функционировала со средним дебитом $4 \text{ м}^3/\text{мин}$. С приближением зоны разгрузки песчаника дебит её уменьшился до $2 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Бурение скважины №10Э было закончено, когда её забой находился в зоне влияния 16-й западной лавы, поэтому она сразу начала работать с дебитом $0,6 \text{ м}^3/\text{мин}$ и продолжает функционировать с дебитом $0,6-1,0 \text{ м}^3/\text{мин}$ (рис. 5). Это не отражается на метанообильности 16-й западной лавы. Скважина в нескольких местах разрушена. Это говорит о движении окружающих её пород. С этим, по-видимому, связана нестабильность её дебита.

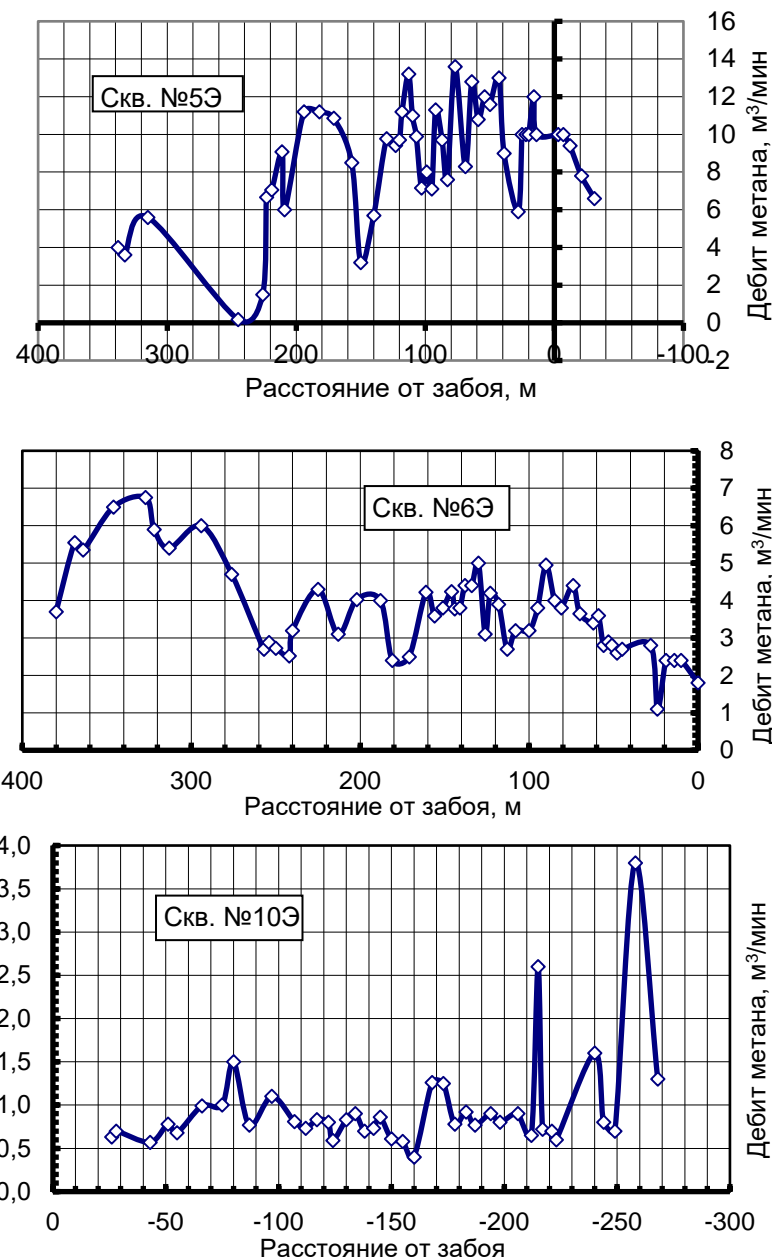


Рисунок 5 – Динамика дебита скважин 5Э, 6Э и 10Э [2]



Рисунок 6 – Динамика дебита и содержания метана в скважине №7Э [4]

Скважина №7Э проходит через ось антиклинали. Метан появился в ней при расстоянии между забоем скважины и зоной разгрузки песчаника 307 м (рис. 6). По мере приближения очистного забоя содержание метана в скважине постепенно уменьшается, достигнув 30 %. Обсадная труба и скважина были разрушены на расстоянии 10 м от устья. После повторной обсадки на эту глубину содержание метана увеличилось до 90 %. При разрежении до 190 мм рт.ст. дебит её не превышает 1,5 м³/мин.

Наблюдения показали, что скважинами в людском ходке извлечено 2,9 млн. м³ метана, из них 2,2 млн.м³ двумя скважинами № 5Э и 6Э, пробуренными в зону антиклинали.

Выполненный анализ показывает, что скважины делятся на три группы (табл. 13). Скважины первой и третьей группы не связаны с геологической структурой и работают только в разгруженной зоне. Скважины, пробуренные в трещиноватую зону антиклинали, дегазировали структуру до её подработки, что указывает на большие объёмы свободного газа, скопившегося в нем. При отработке пласта m₃ в зоне антиклинали увеличения дебита метана на участке не наблюдалось, что связано с предварительной дегазацией структуры.

Таблица 13 – Средние показатели работы скважин

Группа	Условия работы	№ скважины	Средний дебит метана, м ³ /мин	Содержание метана, %
1	Дегазируется действующая лава, нет связи с зоной антиклинали	2Э, 4Э	1,64	35,3
2	Дегазируется трещиноватый массив в зоне антиклинали, нет связи с действующей лавой	5Э, 6Э	6,3	72,8
3	Дегазируется кровля отработанной лавы в зоне влияния действующей лавы	3Э, 10Э	0,65	28,3

Проведенные шахтные эксперименты с учётом выполненных аналитических исследований позволили авторам сформулировать основные требования к мероприятиям по предотвращению импульсных (внезапных) загазирования горных выработок при обрушении пород кровли в зонах геологических нарушений. В основе этих мероприятий заложен общеизвестный принцип дегазации потенциальных источников газовыделения при помощи скважин, причём как при сплошной системе отработки пласта, так и при столбовой.

Причём 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 [3, 5] общий дебит метана на выемочном участке может

увеличиться на 3-5 м³/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 [3, 5] общий дебит метана на выемочном участке может увеличиться на 70 м³/мин и более. Предотвращение загазирования в таких условиях должно обеспечиваться только предварительной дегазацией газонасыщенных структур.

Если в подрабатываемой толще в пределах 40 вынимаемых мощностей разрабатываемого пласта (40m) 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 [6].

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. 7). При этом скважины бурятся навстречу очистному забою. Их параметры устанавливаются опытным путём в конкретных горнотехнических условиях. Для обеспечения требуемого эффекта необходимо бурить не менее трёх скважин. Расстояние между забоями скважин должно быть не более 30 м.

При дегазации газонасыщенных структур вертикальными скважинами, пробуренными с поверхности вертикальные скважины с поверхности должны полностью пересекать пласт-коллектор вблизи оси газонасыщенной структуры, причём 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 (рис. 8, рис. 9).

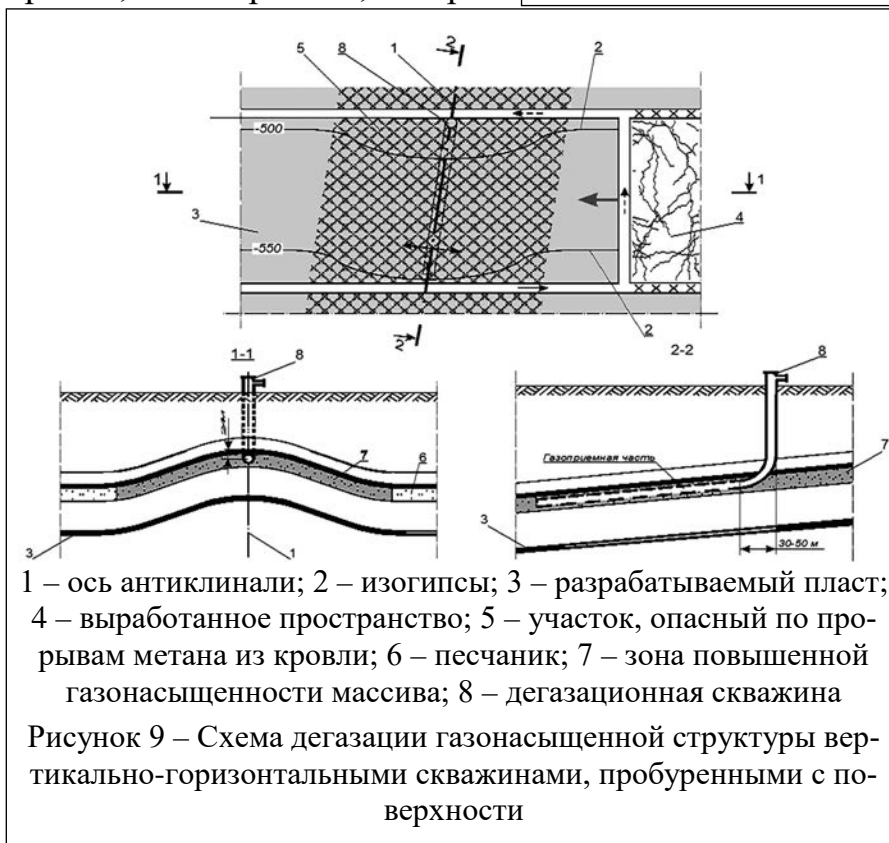
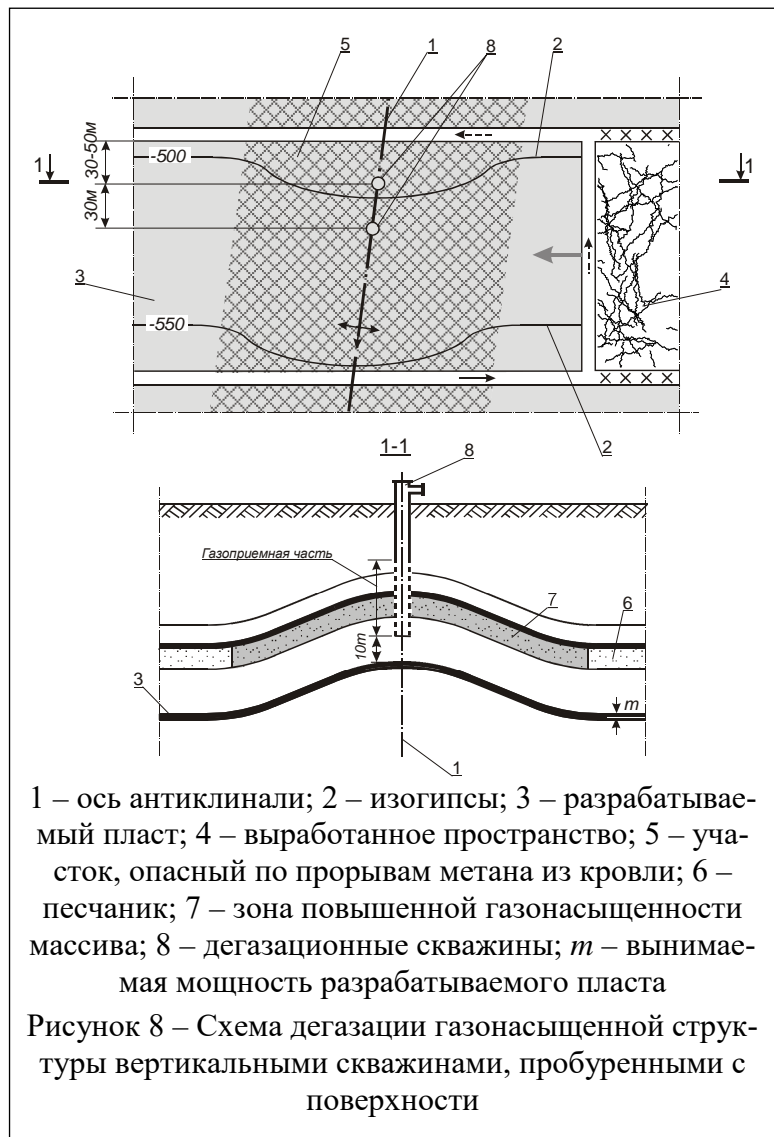
Расстояние между забоем скважины и кровлей разрабатываемого пласта должно быть не больше 10m. Скважины обсаживают трубами на всю глубину.



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 [6] и принимается не менее 40 м. Дегазация газонасыщенных структур вертикально-горизонтальными скважинами, пробуренными с поверхности, причём эти скважины должны буриться так, чтобы горизонтальная их часть находилась в пласте-коллекторе на 2-4 м ниже контакта с газопором вблизи оси газонасыщенной структуры.

Выводы

1. Обрушение пород кровли, как правило, сопро-



вождается 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 разработанных способов позволяет не допустить внезапных загазований горных выработок и обеспечить безопасность работ по газовому фактору.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат, А.Ф. Концепция комплексной дегазации углепородного массива на шахте им. А. Ф. Засядько / А.Ф. Булат // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. – 2003. – № 42. – С. 3-9.

2. Разработать методику прогноза опасности газовыделения 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. СОУ 10.1.00174088.001-2004. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. – Киев: Минуглеэнергопром Украины, 2005. – 162 с.

7. Способы интенсификации дегазации угольных пластов и предотвращения выбросов угля и газа / К.К. Софийский, Д.М. Житленок, А.П. Петух, В.И. Гаврилов, В.Г. Золотин, А.С. Крышнев, В.В. Влащенко. – Донецк: Східний видавничий дім, 2014. – 460 с.

REFERENCES

1. Bulat, A.F. (2003), “The concept of complex degassing of the coal-bearing massif at the mine named after A.F. Zasyadko”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 42, pp. 3-9.

2. Kocherga, V.N. (2005), *Razrobotat metodiku prognoza opasnosti gazovydeleniya vo vremya obrusheniya porod osnovnoy krovli v zonakh geologicheskikh narusheniy i meropriyatiya po predotvrashcheniyu zagazirovaniya gornykh vyrabotok* [To develop a methodology for forecasting the danger of gas evolution during the collapse of rocks of the main roof in the zones of geological disturbances and measures to prevent the excavation of mine workings], Makeyevka, Ukraine.

3. Mineev, S.P., Kocherga, V.N. and Yanzhula, A.S. (2015), “Regularities of methane evolution at high rates of movement of the clearing face”, *Ugol' Ukrainy*, no. 7-8, pp. 26-31.

4. Mineev, S.P., Prusova, A.A., Potapenko, A.A. and Kocherga, V.N. (2014), “Evaluation of the possibility of pulsed separation of sorbed methane from a coal seam”, *Ugol' Ukrainy*, no. 10, pp. 31-36.

5. Mineev, S.P., Kocherga, V.N., Yanzhula, A.S. and Gulay, A.A. (2016), “The main parameters of the forecast of pulsed methane emissions in the zones of geological disturbances”, *Ugol' Ukrainy*, no. 3, pp. 25-32.

6. Ministry of Energy of Ukraine (2005), SOU 10.1.00174088.001-2004. *Degazatsiya ugolnykh shakht. Trebovaniya k sposobam i skhemy degazatsii* [SOU 10.1.00174088.001-2004. Degassing of coal mines. Requirements for methods and schemes of degassing], Minugleenergoprom Ukraine, Kiev, Ukraine.

7. Sofiyskiy, K.K., Zhitlenok, D.M., Petukh, A.P. (et al.) (2014), *Sposoby intensifikatsii degazatsii ugolnykh plastov i predotvrashcheniya vybrosov uglya i gaza* [Ways of intensification of degassing of coal seams and prevention of coal and gas emissions], Skhidniy vidavnicdiy dim, Donetsk, Ukraine.

Об авторах

Минеев Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, Украина, sergminee@ gmail.com

Кочерга Виктор Николаевич, инженер, главный технолог, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, Украина

Прусова Алла Андреевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, Украина

Головко Юрий Иванович, инженер, Директор ШУ «Покровское» г. Покровск, Донецкая область, Украина, 05dn@dsp.gov.ua

Янжула Алексей Сергеевич, инженер, главный инженер ШУ «Покровское», Покровск, Украина, 05dn@dsp.gov.ua

Гулай Алексей Александрович, инженер, начальник ВТБ ШУ «Покровское», Покровск, Украина, 05dn@dsp.gov.ua

About the authors

Mineev Sergey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of the department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, sergmineev@gmail.com

Kocherga Viktor Nikolayevich, engineer, Chief Technologist, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine

Prusova Alla Andreyevna, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine

Golovko Yuri Ivanovich, engineer, Director of Mine Management "Pokrovskoye", Pokrovsk, Donetsk region, Ukraine, 05dn@dsp.gov.ua

Yanzhula Aleksey Sergeevich, engineer, Chief Engineer of Mine Management "Pokrovskoye", Pokrovsk, Donetsk region, Ukraine, 05dn@dsp.gov.ua

Gulay Aleksey Aleksandrovich, engineer, Head for ventilation and technique of safety of Mine Management "Pokrovskoye", Pokrovsk, Donetsk region, Ukraine, 05dn@dsp.gov.ua

Анотація. Встановлено, що обвалення порід кривлі, як правило, супроводжується інтенсивним виділенням метану з розвантажених вугільних пластів і порід у вироблений простір як з кривлі, так і з ґрунту пласта, що розробляється. При проривах газу з кривлі метановиділення може значно збільшуватися і досягати максимальних значень протягом незначного проміжку часу. Потім відбувається поступове зниження дебіту газу, що виділяється. Запропоновані геологічні критерії і розроблений метод прогнозу імпульсних загазувань вироблень при обваленнях кривлі. Обґрунтовані способи дегазації газонасичених структур поблизу зон геологічних порушень при первинній посадці основної кривлі, які рекомендовані до виконання при споруді свердловин дегазацій, пробурених з гірських вироблень і земної поверхні. Сформульована методологія розробки заходів для запобігання. Сформульована методологія розробки заходів для запобігання імпульсних раптових загазувань гірських вироблень при обваленні порід основної кривлі в зонах геологічних порушень. Виконана апробація розроблених способів в шахтних умовах, що показала ефективність заходів, направлених на унеможливлення загазування гірських вироблень при обваленні порід кривлі.

Ключові слова: раптове виділення метану, посадка основної кривлі, загазування, піщаник, геологічне порушення, свердловина, ефективність

Abstract. It is stated that roof rock fall is usually accompanied with intensive methane release from the unloaded coal seams and rocks to the goafs through the roof and foot of the worked seam. When gas bursts out from the roof, methane emission may significantly increase and reach maximum values during relatively short period of time. Then the gas flow rate is gradually decreases. Geological criteria are proposed, and method is developed for forecasting pulse gassing of the roadways at the roof fall. The degassing methods are validated for the gas-saturated structures near zones with geological disturbances at initial main roof caving, and are recommended to use while building methane drainage boreholes drilled from the mine roadways and the surface. Methodology is proposed for working out measures to prevent sudden pulse gassing of the roadways at the main roof fall in areas with geological faults. The developed methods were successfully tested in the mines and demonstrated good effectiveness of the measures aimed to exclude possible gassing of the roadways at the roof rock fall.

Keywords: sudden release of methane, main roof caving, gassing, sandstone, geological faults, borehole, efficiency

Статья поступила в редакцию 11.05.2017

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук, проф. В.П. Франчуком