

УДК 622.411.322

Минеев С.П., д-р техн. наук, проф.
(ИГТМ НАН Украины),
Янжула А.С., магистр
(ПАО «ШУ «Покровское»),
Кочерга В.Н., магистр,
Прусова А.А., канд. техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)

ВНЕЗАПНЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАНА ИМПУЛЬСНОГО ХАРАКТЕРА В ЗОНАХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Мінеєв С. П., д-р техн. наук, професор
(ІГТМ НАН України),
Янжула О.С., магістр
(ПАТ «ШУ «Покровське»),
Кочерга В.М., магістр,
Прусова А.А., канд. техн. наук
(ІГТМ НАН України)

РАПТОВЕ ВИДІЛЕННЯ МЕТАНУ ІМПУЛЬСНОГО ХАРАКТЕРУ В ЗОНАХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ

Mineev S.P., D.Sc. (Tech), Professor
(IGTM NAS of Ukraine),
Yanzhula A.S., M.S. (Tech.)
(PJSC «CG «Pokrovskoye»),
Kocherga V.N., M.S. (Tech.),
Prusova A.A., Ph. D. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

THE METHANE SUDDEN IMPULSE EMISSION IN ZONES WITH GEOLOGICAL FAULTS

Аннотация. Рассмотрены основные особенности импульсных выделений метана в забой выработок при посадках пород кровли в зонах пересечения геологических нарушений. Импульсные метановыделения реализуются внезапно, спонтанно и нередко приводят к повышению концентрации метана до взрывоопасного состояния. Как правило, при прорывах газа из кровли метановыделение может увеличиваться, в 6-35 раз и достигать максимальных (до $77\text{ м}^3/\text{мин}$) в течение незначительного промежутка времени. Затем происходит постепенное снижение дебита выделяющегося газа. Установлено, что наиболее интенсивно газ выделяется при обрушениях пород в зоне влияния пликативных нарушений (обычно антиклинали, купола, брахиантиклинали, флексуры) из трещиновато-пористых коллекторов. Рассмотрены основные примеры импульсного загазирования забоя выработок при ведении горных работ.

Ключевые слова: выделения метана, геологическое нарушение, импульсный характер.

При разработке газоносных угольных пластов залегающих под углом до 35° и глубиной ниже от положения изогазы $5\text{ м}^3/\text{т}$ сухой безольной массы должна

© С.П. Минеев, А.С. Янжула, В.Н. Кочерга, А.А. Прусова, 2015

обеспечиваться оценка безопасности внезапных выделений метана, приводящих к загазированию забоя, из пород кровли при ее обрушении в зонах геологических нарушений [1]. К загазированию относятся все случаи превышения норм концентрации метана в поперечном сечении выработок [1, 2]. Загазирование выработок бывают местные, слоевые и общие. Причем, местное загазирование - это скопление метана в отдельных местах выработок, в т.ч. у буровых станков, комбайнов и врубовых машин, в открытых, не заложённых породой или другими материалами куполах, с концентрацией 2% и более. Слоевоe скопление - это скопление метана в виде слоя в выработках на участках длиной свыше 2 м с концентрацией 2 % и более, а общее загазирование - это превышение нормы средней по сечению выработки концентрации метана.

В настоящее время существует ряд гипотез, объясняющих природу импульсного загазирования забоя при ведении горных работ, причем, многими авторами, в основном, рассматриваются следующие из них [2, 4, 6, 8, 10]: суффляное выделение метана, выделение метана при обрушении пород кровли, в том числе со значительным выдавливанием метана в выработки из куполов и полостей расслоения, образование искусственных и естественных коллекторов, спонтанный перевод сорбированного газа в свободный и другие.

Опасность импульсного метановыделения, особенно большой интенсивности, даже при высоких скоростях движения воздушных потоков по выработкам, нередко приводит к повышению концентрации метана до взрывоопасного состояния, а кроме того опасность его заключается также и в том, что оно реализуется внезапно, спонтанно. А такое состояние метановоздушной среды в забое выработок нередко приводит в дальнейшем к вспышкам и взрывам.

Вместе с этим однозначного метода прогноза и технологических решений, позволяющих предотвратить импульсные загазирования нет. Учитывая изложенное, вполне очевидна актуальность исследований по оценке импульсных метановыделений в забой выработки в зонах геологических нарушений, что обусловило выбранную тему исследований.

Ранее многими авторами было установлена неоднозначность изменения метановыделения при переходе горными работами малоамплитудных геологических нарушений [4, 5, 9 и др.], т.е. при пересечении нарушения в одних случаях наблюдается увеличение метановыделения, а в других его уменьшение. Так, по данным работы [5] остаточная газоносность пласта I_2^B в зонах влияния Карловского и Софиевского сбросов в Боково-Хрустальском районе существенно снижалось при приближении забоя к плоскости сместителя сбросов с 30 до $10 \text{ м}^3/\text{т}$, что авторами объяснялось дегазирующим влиянием указанных сбросов.

На шахте «Фашевская», по данным [9], при проведении промежуточного штрека 15-й западной лавы пласта k_8 метановыделение в выработку при вскрытии геологического нарушения амплитудой 0,28 м в 3-5 раз было меньше ($0,097 \text{ м}^3/\text{т}$), чем на расстоянии 100-300 м от него ($0,484\text{-}0,275 \text{ м}^3/\text{т}$). В работе [9] приведены результаты по шахте «Перевальная», где при подходе проходческого забоя к сбросу с амплитудой 0,8 м (пласт k_3^B) на расстояние 110 м наблюдал-

ся рост абсолютного метановыделения с 0,18 до 0,35 м³/мин. Затем произошло его уменьшение до 0,19 м³/мин на расстоянии 38 м и последующий рост до 0,4 м³/мин и уже на расстоянии 10 м после прохода забоем нарушения.

В то же время, по данным работы [9], на шахте «Социалистический Донбасс» при вскрытии забоем бортовой выработки №51 пласта h₈ двух геологических нарушений с амплитудами 0,15 и 0,25 м наблюдалось существенное увеличение абсолютного метановыделения. Так, при вскрытии нарушения 0,15 м метановыделение увеличилось до 5,24 м³/мин с последующим уменьшением за нарушением до 1 м³/мин. При пересечении нарушения амплитудой 0,25 м опять произошло увеличение до 3,47 м³/мин с последующим его уменьшением, после перехода нарушения, до 0,86 м³/мин. В 3-м восточном откаточном штреке пласта h₈ той же шахты при переходе геологического нарушения амплитудой 0,45 м произошло увеличение метановыделения с 0,84 до 14,86 м³/мин.

Исследования, проведенные ранее на шахте им. М.И. Калинина, показали, что в подготовительных выработках при пересечении геологического нарушения с амплитудой 0,37 м метановыделение увеличилось с 0,37 до 0,79 м³/мин. А в 4-й западной лаве пласта k₂² при переходе нарушения наблюдался рост метановыделения с 1,43 до 2,81 м³/мин и далее во время работы лавы в зоне нарушения оно составило 2,48 м³/мин [9], т.е. уменьшилось незначительно.

Вполне понятно, что рассматриваемые в статье ситуации неоднократно имели место на многих других шахтах. Для анализа рассматриваемых нами процессов проанализируем наиболее характерные внезапные импульсные загазирования забоя, произошедшие в зонах геологических нарушений в условиях шахт: "Золотое" ГП "Первомайскуголь", им. С.М. Кирова и "Холодная балка" ГП "Макеевуголь".

На шахте «Золотое» ГП «Первомайскуголь» 24.09.1993 г, в 5 час. 30 мин произошло внезапное загазирование, приведшее к взрыву метана в северном вентиляционном квершлагге пл. m₃-k₈^B, по которому проходит исходящая струя воздуха из 2-й северной лавы пласта m₃ гор.775 м. На момент аварии лава, длиной 190-200 м, отошла от разрезной печи на 195 м - считая по вентиляционной выработке, и на 214 м - по откаточной выработке. Мощность пласта 1,2-1,25 м, угол падения 12-14°, газоносность 6,7 м³/т с.б.м., зольность 24,5%, влажность 3,4%, выход летучих веществ 38,9%.

Лава отработывала пласт m₃ вблизи оси антиклинальной складки. Кровля пласта представлена трещиноватым мелкозернистым песчаником средней крепости, мощностью 16-20 м. Выше залежали: известняк мощностью 2,4 м, глинистый сланец - 4,5 м, песчаник - 13,9 м, угольный пласт m₄¹ - 0,2 м. На расстоянии 22 м от него залегает пласт m₄¹ мощностью 0,2 м.

Почва пласта m₃ представлена песчанистыми и глинистыми сланцами. Схема проветривания участка - прямоточная с подсвежением. По северному откаточному штреку пл. гп₃ гор.775 м на участок подавалось 820 м³/мин воздуха, а по конвейерному, используемому в качестве вентиляционной выработки, - 120 м³/мин. Расчетное метановыделение на участке составляет 2,42 м³/мин, а требуемый расход воздуха - 426 м³/мин. Фактическое метано-

выделение на участке до аварии составило 1,9 м³/мин. Содержание метана в исходящей струе не превышало 0,2%.

Поле шахты «Золотое» приурочено к полосе складчатости северной окраины Донбасса, составляющей северо-восточный борт Бахмутской котловины. Характерным для района является чередование антиклинальных и синклиналильных складок субширотного простирания, осложненных дизъюнктивами типа надвигов. Поле шахты представлено двумя антиклинальными складками второго порядка, развитыми в северной и центральной частях поля шахты, характеризующим пологими углами падения северных крыльев (12-15°) и более крутыми (38-42°) южных. Кроме складчатых структур, шахтное поле осложнено рядом разрывных нарушений типа надвигов и сбросов. Наиболее значительными из них (с амплитудами смещения до 15-20 м) - являются надвиги Михайлова и Осевой. Кроме того, горными работами выявлен ряд малоамплитудных нарушений (с амплитудами смещения от долей метра до 3-5 метров), которые приурочены, в основном, к приосевым частям складок.

Как правило, эти тектонические нарушения сопровождаются интенсивно трещиноватыми породами с зеркалами скольжения и местами разрушения породы до обломочного состояния.

Ширина нарушенной зоны зависит также от пород в кровле и почве отрабатываемых угольных пластов и колеблется от 15 до 80 м. Следовательно, и объем обрушаемых в основной кровле пород бывает разным. При ведении горных работ у малоамплитудных нарушений породы кровли весьма неустойчивы и обрушаются на высоту 0,3-2,0 м в пределах 5-8 м по падению.

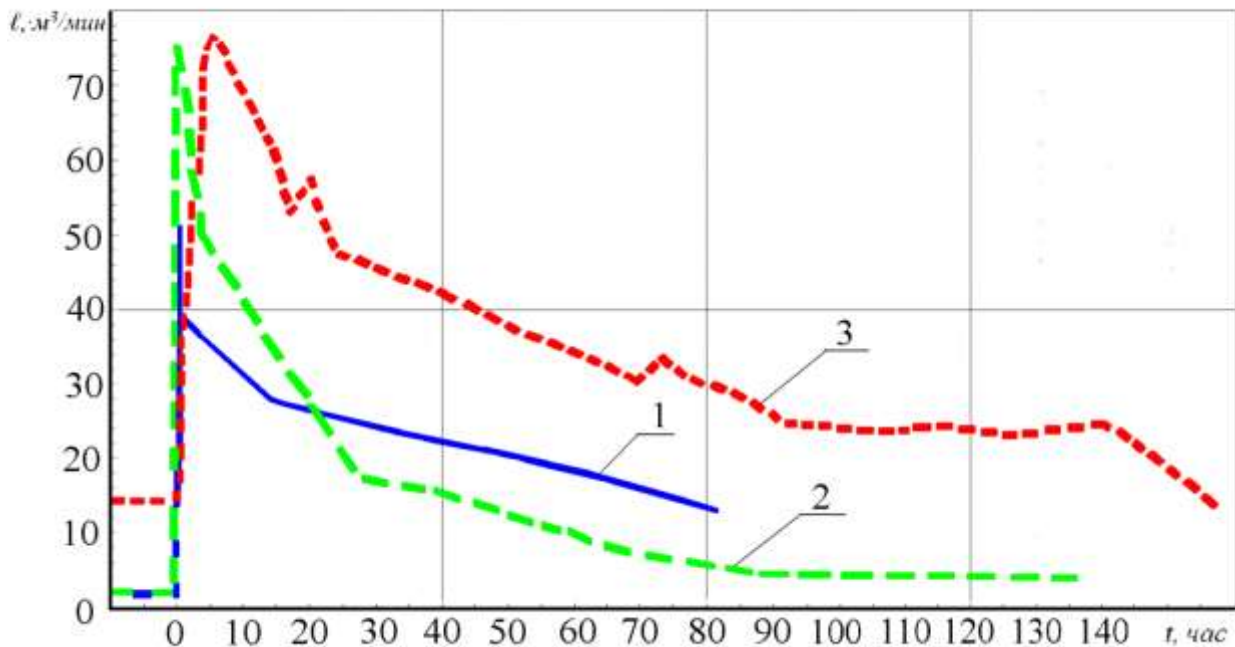
Незадолго до аварии в лаве был слышен треск и гул из выработанного пространства, что указывало на посадку основной кровли.

Автоматический контроль за содержанием метана в исходящей струе 2-й северной лавы пл. m_3 осуществлялся датчиком ДМТ-4. Однако он находился в конвейерном штреке в 6 метрах от окна лавы на подсвежающей струе и не мог контролировать газовую обстановку в исходящей струе участка.

На участке, где произошел прорыв газа в выработанное пространство 2-й северной лавы пл. m_3 , отмечался резкий перегиб изогипсы, обусловленный замыканием антиклинали. Газоносность песчаников изменяется от 0,3 до 8,6 м³/м³. Наибольшие значения газоносности песчаников, их газопроницаемости (до 0,58 мД) и открытой пористости (до 18 %) приурочены к замковым частям складок. Поэтому именно здесь и образовался трещинно-поровый газовый коллектор в песчанике, залегающем в кровле пласта m_3 , который и позволил реализоваться импульсному выделению метана.

Взрыв произошел в северном вентиляционном квершлагге пл. $ш_3-к_8^B$, по которому проходило в момент аварии 1000 м³/мин воздуха. Интенсивность газовыделения в начальный момент времени составляла не менее 55-60 м³/мин, а затем дебит метана начал снижаться (рис. 1). Общий дебит выделившегося метана составляет, примерно, 150 тыс. м³.

Экспертная комиссия характеризовала явление, как внезапное загазирование выработок, вызванное внезапным выделением метана из газоносных песчаников при посадке основной кровли.



1 – шахта «Золотое» ГП «Первомайскуголь», 2 – шахта им. С.М. Кирова ГП «Макеевуголь»,
3 – шахта «Холодная балка» ГП «Макеевуголь»

Рисунок 1 – Характер импульсного газовыделения в забой при обрушении

На шахте **им. С.М. Кирова ГП «Макеевуголь»** 5.05 2001 г., в 20 час. 30 мин произошло внезапное загазирование выемочного участка 4-й восточной лавы пласта h_{10}^B и привело к взрыву метана на сопряжении наклонного грузового и горизонтального откаточного квершлагов. Взрыв распространился по примыкающим горным выработкам до вентиляционного шурфа. Лава длиной 200 м отрабатывала пласт h_{10}^B мощностью 0,87-1,15 м вблизи Ясиновско-Ждановской флексурной складки, характеризующейся повышенной трещиноватостью и газоносностью пород. Глубина горных работ 370 м. На момент аварии лава отошла от разрезной печи на 25 м. Угол падения 6-9°. Уголь марки Т, зольность 18-20%, содержание серы 3,6-3,8%, выход летучих веществ 11,9-12,4%, влажность 1,3-1,5%, природная газоносность пласта 30-35 м³/т с.б.м.

Непосредственно над пластом залегают сланец глинистый средней устойчивости мощностью 17,3-19,4 м, над ним – сланец песчаный мощностью 3,0 м и угольный пласт h_{10}^1 мощностью 0,54 м. Непосредственная почва пласта представлена песчаником мощностью 2,0-4,25 м и угольным пластом h_{10}^B мощностью 0,3-0,35 м.

Расчетная газообильность лавы составляет 2,1 м³/мин, выемочного участка – 3,1 м³/мин. Расчетный расход воздуха для проветривания очистной выработки составляет 364 м³/мин, выемочного участка – 515 м³/мин.

Фактически до аварии на участок поступало $660 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха.

Метановыделение на участке с 25 апреля до 5 мая составляло $1,2 - 3,3 \text{ м}^3/\text{мин}$, при содержании метана в исходящей струе от 0,2 до 0,5 %. Непосредственно перед загазированием в 20 час. 10 мин дебит метана составлял $2 \text{ м}^3/\text{мин}$, а его содержание в исходящей струе - 0,3%.

Выемочный участок 4-й восточной лавы проветривается по возвратно-точной схеме с отводом исходящей вентиляционной струи на выработанное пространство. В выработки участка свежий воздух поступает по наклонному воздухоподающему стволу, конвейерному ходу панели №6, 4-му восточному конвейерному штреку в 4-ю восточную лаву пласта h_{10}^B . Исходящая из лавы вентиляционная струя отводится по 4-му восточному вентиляционному штреку, западному фланговому уклону, наклонному грузовому квершлагу, горизонтальному откаточному квершлагу пласта h_{10}^B , наклонному вентиляционному квершлагу на шурф.

В западный фланговый уклон также поступает исходящая струя воздуха из выемочного участка 2-й восточной лавы пласта h_{10}^B . Для его проветривания подавалось $760 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха. Метановыделение на участке составляло, примерно, $2,3 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Загазирование началось в 20 час. 10 мин. Аппаратура автоматического контроля метана зарегистрировала резкое увеличение концентрации метана в исходящей струе 4-й восточной лавы пл. h_{10}^B с 0,3% до значений, превышающих 2,5%. В 20 час. 20 мин датчик ДЗИ-18 с установкой срабатывания 1,0 %, находившейся в наклонном грузовом квершлаге пласта h_{10}^B , выдал информацию о резком увеличении содержания метана с 0,25% до значений, превышающих установку его срабатывания.

В 20 час. 35 мин в наклонном грузовом квершлаге произошел взрыв метана. Расход воздуха по квершлагу до взрыва составлял $1420 \text{ м}^3/\text{мин}$. Следовательно, дебит метана был не менее $71 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Замерами, выполненными сотрудниками МакНИИ и 3-го взвода ГВГСС была установлена динамика газовыделения (см. рис. 1). Общий объем выделившегося за несколько суток метана составил примерно 110 тыс. м^3 .

Газовая съемка, выполненная Экспертной комиссией 07.05.01 г., показала следующее. По 4-му восточному конвейерному штреку на участок поступало $470 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха. В очистной выработке расход воздуха составил $350 \text{ м}^3/\text{мин}$, а газовыделение из обнаженной поверхности пласта - $0,65 \text{ м}^3/\text{мин}$ метана. В 4-м восточном вентиляционном штреке расход воздуха составил $460 \text{ м}^3/\text{мин}$, а газовыделение: в 5 м от окна лавы - $3,3 \text{ м}^3/\text{мин}$; в 10 м за монтажным ходком - $5,6 \text{ м}^3/\text{мин}$; в 60 м за монтажным ходком - $15,6 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Газовая съемка показывает, что основной приток метана происходит из кровли на участке вентиляционного штрека за монтажным ходком. Его содержание на расстоянии 0,3 м от кровли составляло 64,4 % и 3,5 % на расстоянии 1,0 м. Причиной загазирования выработок, по мнению Экспертной комиссии, явилось внезапное интенсивное выделение метана из газового

коллектора в Ясиновско-Ждановской флексурной складке, вскрытого сдвижением пород кровли в выработанном пространстве 4-й восточной лавы пласта h_{10}^B .

Шахта им. С.М.Кирова приурочена к Ряснянской синклинали. Надвиг Продольный является южной границей шахтного поля. Западная часть участка (и западная граница шахтного поля) приурочена к Ясиновско - Ждановской флекуре, имеющей явно выраженные плоскости среза, и которая является тектоническим коллектором газа. К этой же флекуре приурочена и Зуевская газодинамическая зона, характеризующаяся повышенными газовыделениями и выбросами.

Согласно геологоразведочным данным газоносность углей в зоне влияния Ясиновско-Ждановской флексуры поднимается до 40-45 м³/т с.б.м. (скважины МС-195 и МС-192), в то время, как в целом по участку угли свиты C_2^3 характеризуются газоносностью 30-35 м³/т с.б.м. Трещинные коллекторы в зоне влияния флексуры могут образовываться и во вмещающих породах, локализуя свободные газы.

Помимо Ясиновско - Ждановской тектонической зоны (флексуры), 4-я восточная лава приурочена к перегибу пластов, образующих куполовидное поднятие в северо-западной части шахтного поля. Безусловно, при этом в достаточно прочно консолидированных породах вполне вероятно образование малоамплитудной нарушенности. Место прорыва газа в 4-ю восточную лаву пл. h_{10}^B приурочено к наибольшему перегибу пластов. Породы здесь образуют куполовидное поднятие - своеобразную газовую ловушку. При обрушении пород кровли газ из неё импульсно выделялся в вентиляционный штрек лавы.

На шахте «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь» 7.05.2001 г. в 4 час. 8 мин. произошло внезапное загазирование вентиляционного штрека 2-й западной лавы пласта h_{10}^B и общешахтных выработок с исходящей струей воздуха. Лава отрабатывается по простиранию пласта прямым ходом к границе выемочного поля. Длина очистного забоя 235 м. Глубина горных работ 730 м. На момент загазирования лава отошла от монтажного ходка на 235 м. Нагрузка на забой составляла, примерно, 530 т/сут. Первичная посадка основной кровли произошла 22.01.2001 г., без заметного ухудшения газовой обстановки. Шаг обрушения при первичной посадке основной кровли составил 60 м. Шаг последующих обрушений основной кровли составлял 25-35 м.

Непосредственно над пластом залегает глинистый сланец, мощностью 10 м, над ним песчано-глинистый сланец, мощностью 5,7-7,0 м и угольный пласт мощностью 0,55-0,6 м. Непосредственная почва пласта представлена глинистым и песчано-глинистым сланцами.

Выемочный участок проветривается по возвратноточной схеме с отводом исходящей вентиляционной струи на выработанное пространство. Для проветривания выемочного участка подается 1380-1400 м³/мин воздуха. 3-й западный ходок пл. h_{10}^B служит для подачи свежего воздуха, а 5-й западный

ходок - для выдачи исходящей струи воздуха.

При отработке 2-й западной лавы осуществляется дегазация подработанного горного массива. Дегазационная система участка каптировала 6,0-6,5 м³/мин газа. В исходящую струю участка выделялось 14-15 м³/мин метана при его содержании 1,0-1,1%.

Динамика загазирования протекала следующим образом. После выемки 20 т. горной массы, в 4 часа 00 минут датчик ДМТ, установленный в 5-ом западном ходке пл. h_{10}^B в 12 м от сопряжения с 14-м западным ходком пл. h_{10}^B , зафиксировал повышение содержания метана до 1,3% и отключил напряжение на участке. В 4 часа 50 минут произошел резкий рост содержания метана в исходящей струе (см. рис. 2).

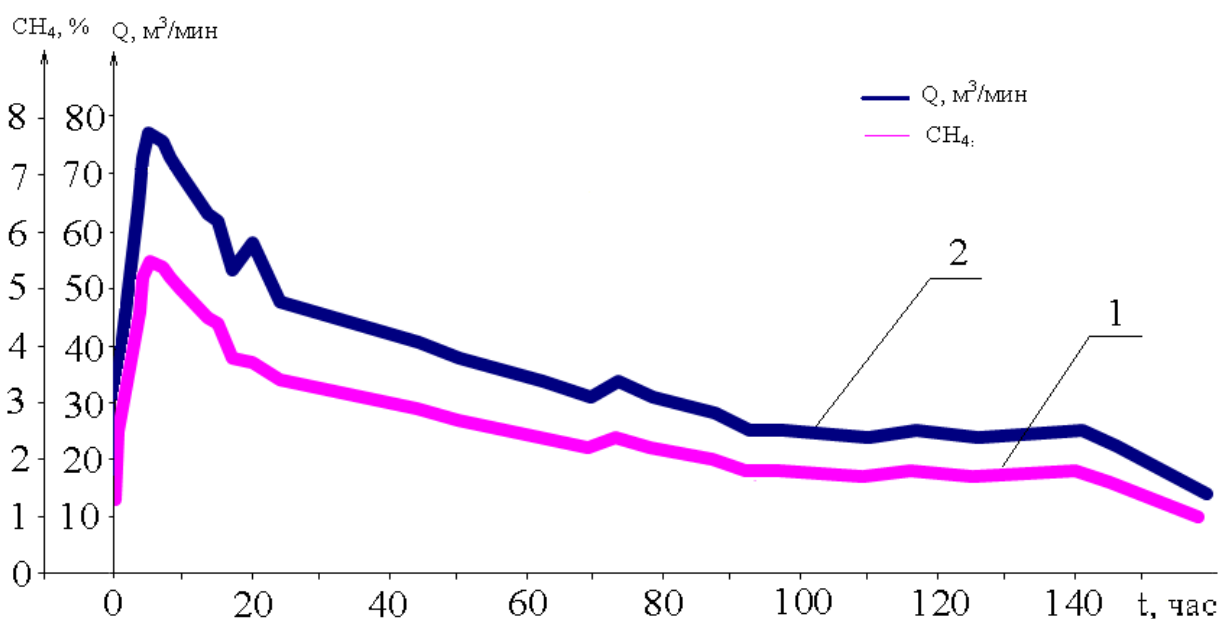


Рисунок 2 - Динамика газовыделения на участке 2-й западной лавы пл. h_{10}^B шахты «Холодная балка»

Интенсивное газовыделение продолжалось семь суток. За это время в горные выработки выделилось около 327 тыс. м³ метана.

Увеличения дебита газа, каптируемого дегазационной системой, не произошло в связи с тем, что ближайшие к очистному забою скважины были «обрезаны» обрушившейся кровлей. После возобновления добычи угля газовыделение на участке составляло до 19,6 м³/мин, из них 6,6 м³/мин каптировалось дегазационной системой. В дальнейшем газообильность участка начала снижаться и в середине 2002 г. составляла 11,7 м³/мин. При этом нагрузка на очистной забой существенно не изменилась. А среднее газовыделение, приведенное к равной нагрузке на забой, при отработке соседней 1-й западной лавы пласта h_{10}^B было почти в 2 раза меньше. Изложенное, указывает на повышенную газонасыщенность пород и угольных пластов на участке 2-й западной лавы в районе геологоразведочной скважины Щ-145.

Поле шахты «Холодная Балка» расположено в пределах синклинали Хо-

лодная Балка или мульды Вербовая. С северо-запада шахтное поле ограничено Ясиновско-Ждановской флексурой (Зуевская газодинамическая зона), на юго-востоке - Дулинским надвигом или Дулинской флексурой. Синклиналь Холодная Балка представляет собой асимметричную складку, вытянутую с северо-запада на юго-восток, южное крыло которой более крутое ($20-35^\circ$), чем северное ($2-10^\circ$). Ось синклинали смещена к южному крылу и от центра полого погружается к северо-западу и юго-востоку, где складка срезается Дулинским надвигом. Разрывные нарушения на шахтном поле ориентированы в двух направлениях субширотном (Продольный, Рясной) и субмеридиональном (Марковский, Дулинский).

Из пликативных структур, выявленных в пределах шахтного поля, следует отметить флексурную складку, простирающуюся в субширотном направлении по пластам $h_{10}^{1'}$ и h_{10}^B между линиями V-V¹ и VIII-VIII¹. Наклонные залегания пород флексуры ($35-40^\circ$) в ряде мест сопровождаются мелкими разрывами. Место аварии приурочено к донной части синклинали, к приподнятому юго-западному крылу пликативной структуры. Ось складки в этом месте изогнута антиклинально.

Газоносность углей в донной части синклинали была более $30 \text{ м}^3/\text{т}$ с.б.м. Метаноносность угольных пластов в пределах шахтного поля повышается к осевой части синклинали. Это подтверждается и поднятием поверхности метановой зоны в центральной части синклинали до отметок 50-150 м.

Повышенные газовыделения в горных выработках неоднократно отмечались при вскрытии геологических нарушений и при обрушении основной кровли. Повсеместно отмечается повышение газоносности (при бурении геологоразведочных скважин) и метанообильности (при ведении очистных работ) при подходе к тектоническим нарушениям или вскрытии малоамплитудных нарушений. Увеличение метановыделения в зонах тектонических нарушений связано с повышением трещиноватости, способствующей скоплению газа в этих зонах, т.е. образованию трещинных коллекторов.

При бурении геологоразведочных скважин отмечались многочисленные газопроявления, связанные с интенсивно трещиноватыми породами. Газонасыщенность углевмещающих пород подтверждается многочисленными суфлярами из кровли и почвы отрабатываемых угольных пластов.

Очистные работы 2-й западной лавы пл. h_{10}^B приурочены к наиболее газонасыщенной донной части синклинали на участке, где флексура имеет некоторое поднятие и сопровождается рядом мелких разрывов. По-видимому, именно они и послужили каналами миграции газа из окружающего горного массива в выработанное пространство лавы.

Выполненный анализ условий реализации внезапных загазирования на шахтах показал, что при обрушении пород кровли пласта в зонах геологических нарушений имеют место определенные закономерности. Так, обрушения пород кровли, как правило, сопровождаются интенсивным выделением из разгруженных угольных пластов и пород в выработанное пространство. При этом содержание метана в исходящей струе выемочного участка за короткий промежуток

времени может увеличиться в несколько раз. Потом в течение одних-двух суток происходит достаточно быстрое, а затем медленное падение интенсивности газовыделения. Выполненный анализ изученных ранее случаев газовыделения показывает, что при обрушении пород кровли внезапные выделения метана могут происходить как из кровли, так и из почвы [13 -17]. Основные общие сведения о зарегистрированных и изученных случаях выделений метана с дебитом более $14 \text{ м}^3/\text{мин}$ в забой выработки из кровли, произошедших при обрушении пород приведены в таблице 1.

При этом видно, что при прорывах метана из кровли его содержание в выработках максимально увеличивается в 20 раз, а дебит суфляра достигал $33 \text{ м}^3/\text{мин}$, а при внезапных прорывах метана из почвы максимальный дебит суфляра достигал $200 \text{ м}^3/\text{мин}$ [13, 17], причем интенсивное газовыделение продолжалось, как правило, несколько часов, а иногда и дней, после чего резко снижалось.

Анализ динамики загазирования, произошедших на шахтах "Золотое", им. С.М. Кирова и "Холодная балка" при обрушениях кровли показал, что в течение от нескольких минут до нескольких часов метановыделение увеличивалось в 6-35 раз и достигло максимальных значений ($55\text{-}77 \text{ м}^3/\text{мин}$), а затем постепенно снижалось (см. рис. 1). Общий дебит выделившегося метана составил от 110 до 327 тыс. м^3 , причем расчет объема газа, который может выделиться из подработанной толщи в зоне дегазирующего влияния очистной выработки, выполненный по известным методикам [5, 9], показал, что в рассмотренных случаях в горные выработки не могло выделиться такое количество газа. Следовательно, метан выделялся либо из свободных объемов или же вследствие спонтанного перевода сорбированного метана в свободный [5], либо из участков, прилегающих к подработанной толще и связанной с ней системой трещин.

В выполняемом нами анализе также следует отметить загазирования в забоях, зафиксированные ранее [11, 12, 17] и произошедшие в зонах геологических нарушений на шахтах: «Чайкино», им. Поченкова, 13-бис ГП «Макеевуголь», им. А.Ф. Засядько и «Бежановская» ПО «Стахановуголь». Ниже рассмотрим основные условия, приведшие к реализации этих загазирования.

На шахте «Чайкино» ГП «Макеевуголь» 16.05.1987 г. произошло внезапное загазирование, приведшее к взрыву метана в вент.штреке 3-ей северной лавы пласта m_3 на горизонте – 340,3 м (глубина 580 м). Разрезная печь 3-ей северной лавы находилась в 75 м от Безымянного надвига в зоне его влияния. Безымянный надвиг, простирающийся в северо-восточном направлении, расположен в центральной части Чайкинской брахиантиклинали и расщеплялся на ряд более мелких нарушений. Одно из них проходит по 3 –ей северной лаве, совпадая с ней по простиранию и представляет собой ряд субпараллельных трещин, трассирующихся в кровле очистных выработок вывалами до 2 м, имеющих удлиненную конфигурацию и сопровождающихся повышенными газовыделениями во время посадки основной кровли.

Таблица 1 - Данные о зарегистрированных выделениях метана с дебитом более 14 м³/мин произошедшие из кровли при обрушении пород

Шахта, производственное объединение	Название лавы, сим-вол пласта, глубина горных работ, м	Мощность пласта, м	Угольные пласты в кровле			Породы кровли		Расход воздуха на участке, м³/мин	Содержание метана об. %		Максимальная интенсивность суфляра, м³/мин	Продолжительность действия, сут.	Причина суфляра
			сим-вол	мощность, м	расстояние от рабочего, м	название	мощность, м		до суфляра	во время суфляра			
Им. В.И. Ленина	8-я восточ.,												Первичная
«Макеевуголь»	1 ₇ , 440							580	0,4	6,0	33	11,6	посадка кровли
	9-я восточ.,	0,7-1,0	1 ₇ ¹	0,2	8	Гл. сланец	1,5	570	0,3	6,0	32	1	То же
	1 ₇ , 450		1 ₇ ²	0,05	19	Песч. сл.	1,0						
						Песчаник	27-30						
	10-я восточ.,												
	1 ₇ , 460							570	0,6	6,0	30	1	
	9-я западн.,												
	1 ₇ , 450							600	0,5	5,5	30	1	
«Советская»	7-я западн.,	0,85-0,9	1 ₇	0,13	75	Песч. сл.	5	390	0,8	6,0	20	5	
«Макеевуголь»	1 ₆ , 322					Песчаник	8						
Им. В.И. Чапаева	3-я западн.,	0,9-1,0	k ₃ ¹	0,3	17	Песчаник	15	430	0,9	8,7	33	6	
«Шахтерск-антрацит»	k ₅ , 150		k ₃ ²	0,2	25								
	Там же							460	0,7	5,0	20	3	Вторая посадка кровли
	20-я «бис» западная	0,8	k ₂ ¹	0,2	25	Песчаник	25	400	0,5	4,0	14,0	12	Первичная
	k ₂ , 380		k ₂ ²	0,5	40	Песч. сл.	15						посадка

В 30 м выше пласта m_3 залегает песчаник $m_4^0 sm_4^1$, являющийся коллектором газа на всей площади Донецко - Макеевского района. В сочетании с зоной малоамплитудной нарушенности в основной кровле пласта m_3 в песчанике $m_4^0 sm_4^1$ образовалась классическая пороново – тектоническая ловушка свободного газа.

Расчетная метанообильность горных выработок, на которую рассчитывалась вентиляция, составляла 13,5-17,8 м³/мин, что соответствует газоносности 10 м³/т с.б.м. Реальная газоносность угольного пласта m_3 , отвечающего маркам Г – Ж, на глубине 580 м составляла 15-20 м³/т с.б.м.

В кровле пласта m_3 залегала достаточно мощная (до 40 м) толща глинистых и песчано-глинистых пород, которая в значительной мере защищала горные выработки этого пласта от песчаника $m_4^0 sm_4^1$, содержащего большие объемы свободного газа. Но при обрушении основной кровли этот коллектор обнажался, резко повышались его фильтрационные свойства и в горные выработки поступали большие объемы свободного газа. Эти объемы газа не прогнозировались и, соответственно, на них не рассчитывалась вентиляция. Свою роль сыграло первичное обрушение основной кровли (шаг обрушения около 60 м). Высокая газонасыщенность толщи является одним из факторов, обуславливающих высокую напряженность массива. Во время дальнейшего проведения очистных работ по 3-ей северной лаве постоянно отмечались повышенные притоки метана из вмещающих пород.

На шахте **им. Поченкова ГП «Макеевуголь»** 14.02.1990 г. произошло внезапное загазирование, которое впоследствии привело к взрыву метана в 1-ой западной лаве пласта l_1 на глубине 900 м.

Пласт l_1 сложного строения общей мощностью 2,07 – 2,35 м залегает под углом 12-15°. Марочный состав углей – Ж, К. Газоносность углей – более 20 м³/т с.б.м. В кровле пласта залегает алевролит мощностью 5,6 – 8,6 м (с «ложной» кровлей мощностью 0,25–0,5 м). Над алевролитом залегает мощный (до 35 м) газонасыщенный песчаник $l_1 sl_2$, который в северо-западной части шахтного поля срезается Григорьевским надвигом.

Григорьевский надвиг является газопроводящим экраном, по которому газы из глубоких горизонтов мигрируют вверх, локализуясь в горизонтах с достаточными емкостными свойствами. Песчаник $l_1 sl_2$ является одним из таких коллекторов – во-первых, достаточно пористый, во вторых, уходит вверх по падению и газ поступает по нему на все горизонты, т.е. опять образуется классическая ловушка свободных газов. В забутованном пространстве после взрыва метана отмечались многочисленные вспышки газа, свидетельствующие о повышенном газовыделении из вмещающих пород уже после прохождения очистных горных выработок.

На шахте **«13-бис» ГП «Макеевуголь»** 02.05.1994 г. произошло внезапное загазирование, которое привело к взрыву метана в вентштреке 2-ой западной лавы пласта l_1 . Мощность угольного пласта 0,9-1,0 м, углы падения 7–9°. Марочный состав углей – ОС. Газоносность углей 28-29 м³/т с.б.м. Относительная

метанообильность выработок составляет $91,8 \text{ м}^3/\text{т}$. Более $10 \text{ м}^3/\text{т}$ метана поступает не из угля, а из вмещающих пород.

Непосредственная кровля пласта l_1 представлена аргиллитами и алевролитами (мощностью 1-5 м), переходящие в основной кровле в мощные песчаники $l_1^1sl_2^1$.

Как и поле шахты им. Поченкова, поле шахты «13- бис» находится между двумя крупными нарушениями: Промежуточным надвигом и Западным сбросом, в пределах блока четко фиксируется три системы нарушений – субширотного простирания, параллельные Западному сбросу и параллельные Промежуточному надвигу. Обрушения основной кровли имеют удлиненную конфигурацию и ориентированы параллельно Промежуточному надвигу. Отмечены также диагональные (почти субмеридиональные) зоны малоамплитудной нарушенности с амплитудой сдвижения 0,4-0,9 м. Район во время формирования угольного пласта l_1 находился в тектонически активной зоне, что подтверждалось многопачечным строением угольного пласта и невыдержанностью литологического состава пород кровли.

Внезапный прорыв газа произошел в месте приближения малоамплитудного нарушения (амплитуда 4 м) к очистным работам.

На шахте им. А.Ф.Засядько внезапное выделение метана произошло 19.08.2001 г. и привело к взрыву метана в 15-ой западной лаве пласта m_3 . 15-я западная лава вскрыла зону малоамплитудной нарушенности, трассирующуюся через западное крыло шахтного поля и имеющую северо-восточное направление, параллельное Ветковской флекуре. В районе вышеотработанной 12-ой западной лавы эта зона малоамплитудной нарушенности совпадает с осью пикативной структуры III-го порядка (синклинальный прогиб). Угли пласта m_3 относятся к марке Ж, характеризуются высокой (более $25 \text{ м}^3/\text{т с.б.м}$) газоносностью и являются опасными по внезапным выбросам.

Наличие в кровле пласта m_3 мощного (14-20 м) глинистого или песчано-глинистого прослоя («покрышки») препятствовало поступлению газа в горные выработки из вышележащих песчаников $m_4^0sm_4^1$. После прохождения горных работ и обрушения основной кровли песчаники разуплотняются, повышаются их фильтрационно-емкостные свойства, и начинается основной приток свободного газа в выработанное пространство.

При наличии малоамплитудной нарушенности приток свободного газа в горные выработки начинается сразу после вскрытия этой зоны, т.к. в данном случае мы имеем дело с тектонически-поровым коллектором в песчаниках $m_4^0sm_4^1$ и, соответственно, объемы газа могут быть значительными.

Основными, по мнению Экспертов, причинами, вызвавшие внезапное газазирование являлись:

а) наличие в кровле угольного пласта m_3 мощного газонасыщенного песчаника $m_4^0sm_4^1$;

б) вскрытие горными выработками зоны малоамплитудной нарушенности, образующей в песчаниках кровли пласта m_3 порово-трещинный коллектор. После обрушения основной кровли из порово-трещинного коллектора в горные

выработки поступали большие объемы свободного газа.

На шахте «Бежановская» ПО «Стахановуголь» 7.07.1993 г. произошел взрыв метана на сопряжении обходной выработки с конвейерным уклоном из-за прорыва газа в 61 лаве пласта h_{11} .

Поле шахты «Бежановская» расположено в пределах Бежановской брахиантуклинали, которая с северо-востока обрывается надвигом Новым, а с юго-востока – надвигом Криничным. Бежановская брахиантуклинали представляет собой симметричную дугообразную складку с тенденцией к замыканию крыльев в восточной части участка и с широким разворотом их в западной части. Марочный состав углей – Ж. Зона дегидратации (по данным геологоразведочных работ) проходит на глубине 200 м, но в горных выработках метан появился на глубине 125 м. При бурении скважин отмечались газовыделения из песчаника I_2Si_3 на глубине 168 м в зоне влияния Криничного надвига, а в центральной части шахтного поля из песчаников I_2SI_1 на глубине 250-280 м. Газоносность углей у нижней технической границы составляет 20-28 м³/т с.б.м.

В 61-й лаве конвейерным уклоном вскрыта зона малоамплитудной нарушенности, трассирующаяся в целики 23-й и 24-й лав, которые были остановлены из-за вскрытия подготовительными выработками этой зоны малоамплитудной нарушенности (амплитуда составляет 0,45 м – 4,5 м). По опыту, такие зоны имеют большую протяженность. По глубине прослеживаются на 100 и более метров и непереходимы горными выработками. В 20 м выше пласта h_{11} находится газонасыщенный песчаник I_2SI_1 , а в 20 м ниже газонасыщенный песчаник H_5sh_{10} . Вполне естественно, что по ослабленным зонам в горные выработки могут поступать большие объемы свободного газа, причем, этот процесс усугубляется резким повышением фильтрационных свойств пород после обрушения основной кровли и обнажения песчаников.

Это явление имело место в 61-й лаве - после сдвижения пород в основной кровле начался интенсивный приток метана в лаву, и за 25 минут содержание его превысило 6%.

Основные причины внезапного газопроявления, установленные Экспертной комиссией были следующими: приуроченность шахтного поля к брахиантуклинали и низкая степень метаморфизма углевмещающей толщи, способствующие образованию структурно-поровой ловушки свободного газа; наличие в кровле газонасыщенных песчаников; вскрытие горной выработкой зоны малоамплитудной нарушенности; обрушение основной кровли, вскрывшее газонасыщенный песчаник и структурно-порово-тектоническую ловушку свободного метана в них, а также высокие фильтрационные свойства пород, обусловленные зоной малоамплитудной нарушенности, и приведшие к мгновенному загазированию горных выработок.

Механизм внезапных прорывов метана с учетом предоставленных выше возможных критериев прогноза, по нашему мнению, может быть представлен следующим образом. Одиночный угольный пласт разрабатывается в зоне влияния пликативного (антуклинали, купола, флексуры, брахиантуклинали, осевые части синклиналей) или малоамплитудных (амплитуда смещения до 10 м), раз-

рывных (надвиги, сбросы, взбросы) геологических нарушений, способных образовывать газовые «ловушки». Непосредственная кровля разрабатываемого пласта представлена легко обрушающимися газопроницаемыми породами (аргиллиты и алевролиты), выше которых залегает трещиноватый газонасыщенный песчаник (трещиноватый коллектор свободного газа), сопровождающийся в кровле или почве угольным пластом. Трещиноватость и газонасыщенность песчаника в первую очередь обусловлена наличием геологической структуры и соответствующих свойств пласта [7] залегающего в кровле или почве. Во время обрушения основной кровли происходит обнажение трещиноватого коллектора, и свободный газ из него выделяется в горные выработки. Причем, газ может выделяться с больших площадей, находящихся вне зоны влияния очистных работ. Последующие после прорыва газа, обрушения кровли и разгрузки песчаника, как правило, в течение длительного времени не вызывают аномальных газовыделений из зоны влияния геологического нарушения.

При рассмотрении вопросов импульсного суфлярного газовыделения, есть все основания считать, что выделение метана в забой связано с характером отжима угля. В зоне отжима инициируются процессы десорбции и фильтрации, становясь главными источниками суфлярного выделения метана в забой. По мнению авторов работы [10], проявление суфлярных выделений метана из разрабатываемых пластов представляет собой совокупность физических процессов, реализующихся в определенной последовательности на разных масштабных уровнях. Образование зоны внезапного отжима с характерными размерами (порядка 10 м) и проявление в ней зон повышенной проницаемости в результате разрушения угля происходит в течение от десятых долей до несколько секунд, а фильтрационный процесс, поддерживающий десорбирующимся газом, может протекать с существенным выделением газа в выработку часами и даже сутками. Интенсивность и продолжительность суфлярного газовыделения зависит от интенсивности самого отжима, с которым связано внезапное увеличение проницаемости в соответствующей зоне от ее размеров, газоносности пласта, возможности активизации десорбционных процессов в угле и ряда других факторов [8, 17, 18].

В этом разрезе не менее интересна гипотеза ИГТМ НАН Украины [8, 18] о возможности, при определенных энергетических условиях, существующих в углепородном массиве на рассматриваемых глубинах, спонтанного перевода связанного метана, в частности, сорбированного, в свободный. Причем, согласно расчетам, выполненным в ИГТМ НАН Украины, увеличение количества свободного газа, переходящего спонтанно из связанного состояния, может составлять разы и более [7, 8, 19] в достаточно короткий промежуток времени.

В качестве основных геологических критериев прогноза внезапного газовыделения при обрушениях пород кровли вполне можно принять с некоторыми уточнениями следующие, установленные ранее:

- наличие геологических нарушений, или зон малоамплитудной нарушенности, которые: являются путями миграции углеводородных газов, создают ловушки свободных газов в зонах влияния нарушений или самих зонах малоам-

плитудной нарушенности;

- приуроченность очистных работ к геологическим структурам (брахиантклинали, антиклинали, купола), где образование ловушек и «микрозалежей» свободного газа обусловлено структурным положением участка;

- совмещение газонасыщенной структурной ловушки с тектонической, которая обнажается при обрушении пород основной кровли, и из которой поступают большие объёмы газа в горные выработки за небольшие промежутки времени;

- наличие в основной кровле газонасыщенных песчаников, пластов-коллекторов, покрытых газонепроницаемой «покрышкой» (угольный пласт, аргиллит, алевролит);

- наличие в кровле разрабатываемого угольного пласта «покрышки» (непроницаемых или слабопроницаемых пород глинистого, песчано-глинистого состава), которые препятствуют постепенной дегазации коллекторов при ведении горных работ, причем газовыделение начинается только после обрушения пород основной кровли и обнажения коллектора;

- высокая газодинамическая напряженность и газонасыщенность углепородного массива, повышенная сорбционная активность угольного массива.

Выводы.

1. Обрушение пород кровли, как правило, сопровождается интенсивным выделением метана из разгруженных угольных пластов и пород в выработанное пространство как из почвы, так и из кровли разрабатываемого пласта. При прорывах газа из кровли метановыделение может увеличиваться, как показано авторами статьи, в 6-35 раз и достигать максимальных (до 77 м³/мин) в течение незначительного промежутка времени. Затем происходит постепенное снижение дебита выделяющегося газа.

2. Наиболее интенсивно газ выделяется при обрушениях пород в зоне влияния пликативных нарушений (обычно антиклинали, купола, брахиантклинали, флексуры) из трещиновато-пористых коллекторов.

3. Для недопущения внезапных загазирования горных выработок и обеспечения безопасности работ по газовому фактору необходима дегазация свободных скоплений метана в коллекторах вмещающих пород, а также исключение соответствующих горно-технологических условий, способствующих импульсному переводу значительных объемов связанного (в основном сорбированного) газа в свободный в зоне ведения горных работ.

4. К основным мерам предупреждения подобных загазирования можно отнести общее или местное увеличение скорости воздушного потока, уменьшение или перераспределение метановыделения в горные выработки посредством изменения схем и способов проветривания, а также дополнительной дегазации угольных пластов и вмещающих пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации: СОУ 10.1.00174088.001-2004. - Официальное издание. - К.: Минтопэнерго Украины, 2005.- 162 с. – (Нормативный документ Минтопэнерго Украины. Стандарт).

2. Инструкция по разгазированию горных выработок, расследованию, учету и предупреждению загазований: НПАОП 10.0- 5.22- 04.- 2004. - К.: Минтопэнерго Украины, 2004. - 8 с.
3. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К.: Основа, 1994. – 311 с.
4. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко [и др.].- Донецк: Східний видавничий дім, 2010.- 604 с.
5. Геомеханические процессы и прогноз динамики газовыделения при ведении очистных работ в угольных шахтах / Н.И. Антощенко, В.Н. Окаелов, В.Н. Павлов [и др.]. - Алчевск: ДонГТУ, 2009. - 449 с.
6. Андреев, М.М. Импульсное выделение метана из разгружаемого угленосного массива / М.М. Андреев, М.М. Андреев // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2012. - Вып. 102. - С. 108- 114.
7. Минеев, С.П. Свойства газонасыщенного угля / С.П. Минеев. – Днепропетровск: НГУ, 2009. - 220 с.
8. Оценка возможности импульсного выделения сорбированного метана из угольного пласта / С.П. Минеев, А.А. Прусова, А.А. Потапенко [и др.] // Уголь Украины. – 2014. - № 10.- С. 31- 36.
9. Окаелов, В.Н. О метановыделении в окрестности геологических нарушений / В.Н. Окаелов, П.Л. Лисянский [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sbornik.dstu.edu.com/artieles/RU/159.pdf> . – Загл. с экрана.
10. Кузнецов, С.В. Об одном механизме суфлярных выделений газа из угольного пласта/ С.В. Кузнецов, В.А. Трофимов // ФТПРПИ. – 2004. - № 4. – С. 23-28.
11. Минеев, С.П. Закономерности метановыделения при высоких скоростях подвигания очистного забоя / С.П.Минеев, В.Н.Кочерга, А.С.Янжула // Уголь Украины.– 2015. - № 7.- С.26-31.
12. О корректировке учета метанообильности выработок при интенсивной разработке тонких пологих пластов / М.А. Ильяшов, А.В. Агафонов, А.А. Бондарь [и др.] // Школа підземної розробки -2010. IV Міжнародна науково-практична конференція, 12-18 сент. 2010 г.- Днепропетровск: НГУ, 2010. - С. 25.
13. Фролов, М.А. Суфлярные выделения метана в угольных шахтах / М.А. Фролов, А.И. Бобров.– М.: Недра, 1971.- 160 с.
14. Изучение суфлярных выделений газа и борьба с ними в шахтах Донбасса: технический отчет МакНИИ по работе №5; руководитель Бобров А.И.- Макеевка- Донбасс, 1965. – 192 с.
15. Печук, И.М. Дегазация спутников угольных пластов скважинами / И.М. Печук. – М.: Углетехиздат, 1956. - 210 с.
16. Петросян, А.Э. Разработка пластов пологого падения с высокой газоносностью в Донбассе / А.Э. Петросян. - М.: Углетехиздат, 1954. - 82 с.
17. Внезапные разрушения пород почвы и прорывы метана в выработки угольных шахт / А.М. Морев, Л.А. Сляров, И.М. Большинский [и др.]. – М.: Недра, 1992.- 174 с.
18. Минеев, С.П. Активация десорбции метана в угольных пластах / С.П. Минеев, А.А. Прусова, М.Г. Корнилов. - Днепропетровск: Вебер, 2007.- 252 с.
19. Klopffer, M.H. and Flaconnache, B. (2001), “Transport Properties of Gases in Polymers: Bibliographic Review”, *Oil & Gas Science and Technology*, vol. 56, no.3, pp. 223-244.

REFERENCES

1. Ukraine Ministry of Fuel and Energy (2005), 10.1.00174088.001-2004. *Degazatsiya ugolnykh shakht. Trebovaniya k sposobam i skhemy degazatsii. Standart* [10.1.00174088.001-2004. Degassing coal mines. Requirements to methods and circuits degassing. Standard], Ukraine Ministry of Fuel and Energy, Kiev, Ukraine.
2. Ukraine Ministry of Fuel and Energy (2004), 10.0- 5.22- 04.- 2004. *Instruktsiya po razgazirovaniyu gornykh vyrabotok, rassledovaniyu, uchetu i preduprezhdeniyu zagazirovaniy: NPAOP* [10.0- 5.22- 04. - 2004. Instructions about degassing mine workings, investigation registration and prevention gas-ladens: State Regulations on Occupational Safety and Health], Ukraine Ministry of Fuel and Energy, Kiev, Ukraine.
3. *Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyatsii ugolnykh shakht* [Manual about design work of ventilation of coal mines], (1994), Osнова, Kiev, Ukraine.
4. Mineev, S.P., Rubinskiy, A.A., Vitushko, O.V. and Radchenko, A.G. (2010), *Gornye raboty v slozhnykh usloviyakh na vybrosopasnykh ugolnykh plastakh* [Mining operations in difficult conditions at the prone to outburst coal seams], Skhidnyi vydavnychiy dim, Donetsk, Ukraine.
5. Antoshch, N.I., Okaelov, V.N., Pavlov, V.N. and others (2009), *Geomekhanicheskie protsessy i*

prognoz dinamiki gazovydeleniya pri vedenii ochistnykh rabot v ugolnykh shakhtakh [Geomechanical processes and forecast of dynamics of gas emission in stoping operations in the coal mines], DonGTU, Alchevsk, Ukraine.

6. Andreev, M.M. and Andreev, M.M. (2012), "Pulse allocation of methane from an unloaded carboniferous file", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 102, pp. 108-114.

7. Mineev, S.P. (2009), *Svoystva gazonasyschenogo uglya* [The properties of gassy coal], NMU, Dnepropetrovsk, Ukraine.

8. Mineev, S.P., Prusova, A.A., Potapenko, A.A. and Kocherga, V.N. (2014), "Assessing the possibility of pulsed emission of sorbed methane from the coal seam", *Coal of Ukraine*, vol. 10, pp. 31-36.

9. Okaelov, V.N. and Lisyanskiy, P.L. (2012), "About methane emission near geological faults", available at: <http://sbornik.dstu.edu.ua/articles/RU/159.pdf>, (Accessed 8 Feb 2015).

10. Kuznetsov, S.V. and Trofimov, V.A. (2004), "On one mechanism of feederly gas emissions from the coal seam", *Journal of Mining Science*, no. 4, pp. 23-28.

11. Mineev, S.P., Kocherga, V.N. and Yanzhula, A.S. (2015), "Regularities of methane emission at high rates advance of stoping face", *Coal of Ukraine*, vol. 7, pp. 26-31.

12. Ilyashov, M.A., Agafonov, A.V., Bondar, A.A. and Kocherga, V.N. (2010), "Adjustment accounting of profusion of methane mine workings at intensive exploitation of thin flat seams", *Rozrobka rodovysch* [Mining of mineral deposits], *Shkola pidzemnoi rozrobky rodovysch* [School of Underground Mining], Dnepropetrovsk, Ukraine, 12-18 September, pp.25.

13. Frolov, M.A. and Bobrov, A.I. (1971), *Suflyarnye vydeleniya metana v ugolnykh shakhtakh* [Feederly methane emissions in coal mines], Nedra, Moscow, Russia.

14. *Izuchenie suflyarnykh vydeleniy gaza i borba s nimi v shakhtakh Donbassa* [Researching of feederly gas emissions and the fight against them in the mines of the Donbass], (1965), Makeevka, Ukraine.

15. Pechuk, I.M. (1956), *Degazatsiya sputnikov ugolnykh plastov skvazhinami* [Degassing of satellites coal seams wells], Ugletekhizdat, Moscow, Russia.

16. Petrosyan, A.E. (1954), *Razrabotka plastov pologogo padeniya s vysokoy gazonosnostyu v Donbasse* [Exploitation dip of seams with high gas content in the Donbas], Ugletekhizdat, Moscow, Russia.

17. Morev, A.M., Sklyarov, L.A. and Bolshchinskiy, I.M. (1992), *Vnezapnye razrusheniya porod pochvy i proryvy metana v vyrabotki ugolnykh shakht* [Sudden destruction of rocks of soil and methane bursts in coal mine workings], Nedra, Moscow, Russia.

18. Mineev, S.P., Prusova, A.A. and Kornilov, M.G. (2007), *Aktivatsiya desorbtsii v ugolnykh plastakh* [The activation of desorption methane in coal layers], Veber, Dnepropetrovsk, Ukraine.

19. Klopffer, M.H. and Flaconnache, B. (2001), "Transport Properties of Gases in Polymers: Bibliographic Review", *Oil & Gas Science and Technology*, vol. 56, no.3, pp. 223-244.

Об авторах

Минеев Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом Управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, sergminee@gmail.com.

Янжула Алексей Сергеевич, магистр, главный инженер ПАО «Шахтоуправление «Покровское», Красноармейск, Украина, sergminee@gmail.com.

Кочерга Виктор Николаевич, магистр, главный технолог отдела Управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, sergminee@gmail.com.

Прусова Алла Андреевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела Управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, sergminee@gmail.com.

About the authors

Mineev Sergei Pavlovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Head of Department of Pressure Dynamics Control in Rock, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, sergminee@gmail.com.

Yanzhula Aleksey Sergeevich, Master of Science, Chief Engineer «Colliery Group», «Pokrovskoye» Krasnoarmeysk, Ukraine, sergmineev@gmail.com.

Kocherga Victor Nikolaevich, Master of Science, Chief Technologist of Department of Pressure Dynamics Control in Rock, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, sergmineev@gmail.com.

Prusova Alla Andreevna, Candidat of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher of Department of Pressure Dynamics Control in Rock, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, sergmineev@gmail.com.

Анотація. Розглянуто основні особливості імпульсних виділень метану в забій виробок при посадках порід покрівлі в зонах перетину геологічних порушень. Імпульсні метановиділення реалізуються раптово, спонтанно і нерідко призводять до підвищення концентрації метану до вибухонебезпечного стану. Як правило, при проривах газу з покрівлі метановиділення може збільшуватися, в 6-35 разів і досягати максимальних (до $77 \text{ м}^3/\text{хв}$) протягом незначного проміжку часу. Потім відбувається поступове зниження дебіту газу, що виділяється. Встановлено, що найбільш інтенсивно газ виділяється при обваленнях порід у зоні впливу плікативних порушень (зазвичай антикліналі, куполи, брахіантікліналі, флексури) з тріщинуватих-пористих колекторів. Розглянуто основні приклади імпульсного загазування забою виробок при веденні гірничих робіт.

Ключові слова: виділення метану, геологічне порушення, імпульсний характер.

Abstract. Basic characteristics of the methane impulse emissions into the face of the roadways were studied at the rock caving in zones with geological faults intersecting are considered. Usually, the methane impulse emissions occur suddenly, spontaneously and often lead to increased, up to explosive, methane concentrations. As a rule, methane emission can be increased by 6-35 times in event of gas breakthrough from the roof, and can reach its maximum (up to $77 \text{ m}^3/\text{m}$) within a short period of time. Then discharge of the escaping gas gradually decreases. It was found that the most intensive gas emission occurs when rocks fall in area being under the effect of plicated faults (usually it is anticlines, domes, brachyantyclines, flexures) from fractured-porous manifolds. Key examples of the face impulse gassing during the mining operations are considered.

Keywords: methane emission, geological fault, impulse character.

Стаття поступила в редакцію 07.09.2015.

Рекомендовано к печати д-ром геол.-минерал. наук В.А. Барановым

УДК 622.831.332:551.24

Молчанов А.Н., д-р техн. наук,
Виноградов Ю.А., магистр
(ИФГП НАН Украины)

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБВОДНЕННОГО ПЛАСТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Молчанов О.М., д-р техн. наук,
Виноградов Ю.О., магистр
(ИФГП НАН України)

ВПЛИВ ВИСОТИ РОЗТАШУВАННЯ ОБВОДНЕНОГО ПЛАСТА НА СТІЙКІСТЬ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ

Molchanov A.N., D. Sc. (Tech.),
Vinogradov Y.A., M.S. (Tech.)
(IPMP of the NAS of Ukraine)

HOW HEIGHT OF THE WATERED COAL BEDDING IMPACTS ON THE MINE TUNNEL STABILITY

Аннотация. Район Западного Донбасса относится к одним из самых сложных по горно-геологическим условиям. В результате обводненности вмещающих пород происходит их размокание, потеря устойчивости контура выработки, обрушение приконтурных пород.

Для исследования процесса изменения полей напряжений и проницаемости вокруг выработки с рамной и анкерной крепью в условиях расположения в кровле обводненного угольного пропластка использовался метод математического моделирования. Проведена серия вычислительных экспериментов для различных значений расстояния между кровлей выработки и обводненным угольным пропластком. Приведены распределения расчетных значений геомеханических параметров и зон неупругих деформаций вокруг горной выработки в рассматриваемых случаях. Выполнено сравнение значений фильтрационной проницаемости пород кровли выработки, закрепленной рамной и анкерной крепью. Показано, что применение анкерной крепи на 25-30 % снижает разнокомпонентность поля напряжений и на 25-35 % – значение проницаемости в кровле горной выработки. Анкерная крепь сдерживает развитие трещиноватости вокруг выработки, сохраняет вмещающие породы в природном, монолитном состоянии, повышает устойчивость горной выработки, даже если в ее кровле расположен обводненный угольный пропласток.

Ключевые слова: водоприток в горную выработку, численные методы расчета, анкерное крепление.

Западный Донбасс принадлежит к числу весьма своеобразных и сложных по горно-геологическим условиям районов. Угольные месторождения относятся к отложениям нижнего и среднего карбона. В строении продуктивной толщи района имеются кристаллические породы докембрия и осадочные породы девонской, каменно-угольной, триасовой и горской систем, перекрытых третичными и четвертичными отложениями.

В условиях шахт Западного Донбасса процессы трещинообразования значительно повышают фильтрационную способность вмещающих пород и способ-
