

## ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ МЕТАНА ПРИ ОБРУШЕНИИ ПОРОД КРОВЛИ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЯХ

*С.П. Минеев, ИГТМ НАН Украины*

*А.С. Янжула, Шахтоуправления «Покровское», Украина*

*В.Н. Кочерга, А.А. Прусова, ИГТМ НАН Украины*

Рассмотрены основные особенности импульсных выделений метана в забой выработок при посадках пород кровли в зонах пересечения геологических нарушений. Импульсные метановыделения реализуется 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.

При разработке газоносных угольных пластов залегающих под углом до  $35^\circ$  и глубиной ниже от положения изогазы  $5\text{ м}^3/\text{т}$  сухой безольной массы должна 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 а свету и в открытых, не заложенных породой или другими материалами куполах [1, 2]. Загазирование выработок разделяются на 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 заложенных породой или другими материалами куполах, с концентрацией 2% и более. Слоевое скопление - это скопление метана в виде слоя в выработках на участках 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 загаживания забоя при ведении горных работ, причем, многими авторами, в основном, рассматриваются следующие из них [2, 4, 6, 8, 10]: суфлярное 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 загаживания нет. Учитывая изложенное, вполне очевидна актуальность исследований по оценке импульсных метановыделений в забой выработки в зонах геологических нарушений. Поэтому авторы в данной статье и попытались рассмотреть этот вопрос.

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 снижается при приближении забоя к плоскости сместителя сбросов с 30 до 10 м<sup>3</sup>/т, что авторами объясняется дегазирующим влиянием указанных сбросов.

На шахте «Фашевская» по данным [9] при проведении промежуточного штрека 15-й западной лавы пласта k<sub>8</sub> метановыделение в выработку при вскрытии геологического нарушения амплитудой 0,28 м в 3-5 раз было меньше (0,097 м<sup>3</sup>/т), чем на расстоянии 100-300 м от него (0,484-0,275 м<sup>3</sup>/т). В работе [9] приведены результаты по шахте «Перевальная», где при подходе проходческого забоя к сбросу с амплитудой 0,8 м (пласт k<sub>3</sub><sup>в</sup>) на расстояние 110 м наблюдался рост абсолютного метановыделения с 0,18 до 0,35 м<sup>3</sup>/мин. Затем произошло его уменьшение до 0,19 м<sup>3</sup>/мин на расстоянии 38 м и последующий рост до 0,4 м<sup>3</sup>/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 h<sub>8</sub> 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 м<sup>3</sup>/мин с последующим уменьшением за нарушением до 1 м<sup>3</sup>/мин. При пересечении нарушения амплитудой 0,25 м опять произошло увеличение до 3,47 м<sup>3</sup>/мин с последующим его уменьшением, после перехода нарушения, до 0,86 м<sup>3</sup>/мин.

В 3-м восточном откаточном штреке пласта h<sub>8</sub> той же шахты при переходе геологического нарушения амплитудой 0,45 м произошло увеличение метановыделения с 0,84 до 14,86 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/мин. А в 4-й западной лаве пласта k<sub>2</sub><sup>2</sup> при переходе нарушения наблюдался рост метановыделения с 1,43 до 2,81 м<sup>3</sup>/мин и далее во время работы лавы в зоне нарушения оно составило 2,48 м<sup>3</sup>/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 загазования 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 квершлага пл. m<sub>3</sub>-k<sub>8</sub><sup>в</sup>, по которому проходит исходящая струя воздуха из 2-й северной лавы пласта m<sub>3</sub> гор.775 м. Длина очистного забоя 190-200 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 м<sup>3</sup>/т с.б.м., зольность 24,5%, влажность 3,4%, выход летучих веществ 38,9%.

Лава отрабатывала пласт m<sub>3</sub> 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 m<sub>4</sub><sup>1</sup> - 0,2 м. На расстоянии 22 м от него залегают пласт m<sub>4</sub><sup>1</sup> мощностью 0,2 м.

Почва пласта m<sub>3</sub> представлена песчанистыми и глинистыми сланцами» Схема проветривания участка - прямоточная с подсвежением. По северному откаточному штреку пл. гп<sub>3</sub> гор.775 м на участок подавалось 820 м<sup>3</sup>/мин воздуха, а по конвейерному, используемому в качестве вентиляционной выработки, - 120 м<sup>3</sup>/мин. Расчетное метановыделение на участке составляет 2,42 м<sup>3</sup>/мин, а требуемый расход воздуха - 426 м<sup>3</sup>/мин. Фактическое метановыделение на участке до аварии составило 1,9 м<sup>3</sup>/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 синклиналиных 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 обрабатываемых угольных пластов и колеблется от 15 до 80 м. Следовательно, и объем обрушаемых в основной кровле пород бывает разный. 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. т<sub>3</sub> 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. т<sub>3</sub>, отмечалось резким перегибом изогипсы, обусловленный замыканием антиклинали. Газоносность песчаников изменяется от 0,3 до 8,6 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. 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 т<sub>3</sub>, который и позволил реализоваться импульсному выделению метана.

Взрыв произошел в северном вентиляционном квершлага пл. ш<sub>3</sub>-к<sub>8</sub><sup>В</sup>, по которому проходило в момент аварии 1000 м<sup>3</sup>/мин воздуха. Интенсивность газовыделения в начальный момент времени составляла не менее 55-60 м<sup>3</sup>/мин, а затем дебит метана начал снижаться (рис. 1). Общий дебит выделившегося метана составляет, примерно, 150 тыс. м<sup>3</sup>.

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

Поле шахты «Золотое» приурочено к полосе складчатости северной окраины Донбасса, составляющей северо-восточный борт Бахмутской котловины. Характерным для района является чередование антиклинальных и синклиналиных 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 обрабатываемых угольных пластов и колеблется от 15 до 80 м. Следовательно, и объем обрушаемых в основной кровле пород бывает разный. 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.

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  $h_{10}^B$  произошло и привело к взрыву метана на сопряжении наклонного грузового и горизонтального откаточного квершлага. Взрыв распространился по примыкающим горным выработкам до вентиляционного шурфа.

Лава длиной 200 м обрабатывала 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 м<sup>3</sup>/т с.б.м.

Непосредственно над пластом залегает 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 м<sup>3</sup>/мин, выемочного участка 3,1 м<sup>3</sup>/мин. Расчетный расход воздуха для проветривания очистной выработки составляет 364 м<sup>3</sup>/мин, выемочного участка - 515 м<sup>3</sup>/мин. Фактически до аварии на участок поступало 660 м<sup>3</sup>/мин воздуха.

Метановыделение на участке с 25 апреля до 05 мая составляло 1,2 - 3,3 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/мин, а его содержание в исходящей струе - 0,3%.

Выемочный участок 4-й восточной лавы проветривается по возвратноточной 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 №0.

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 м<sup>3</sup>/мин воздуха. Метановыделение на участке составляло, примерно, 2,3 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/мин. Следовательно, дебит метана был не менее 71 м<sup>3</sup>/мин.

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

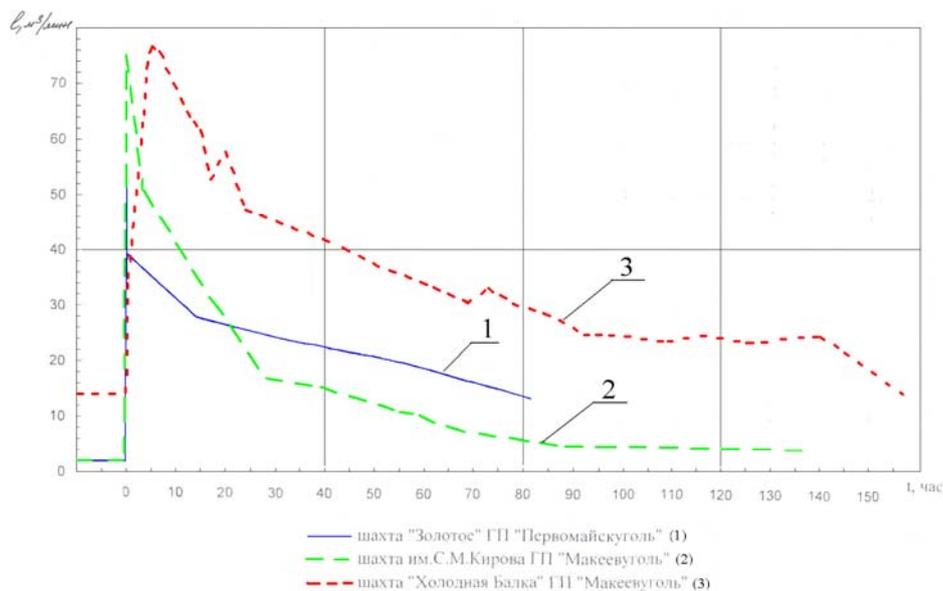


Рисунок 1 – Характер импульсного газовыделения в забой при обрушении пород кровли в условиях шахт

Рис. 1- Характер импульсного газовыделения в забой при обрушении пород кровли в условиях шахт "Золотое" (1), им. С.М. Кирова (2) и "Холодная балка" (3)

Газовая съемка, выполненная экспертной комиссией 07.05.01г., показала следующее.

По 4-му восточному конвейерному штреку на участок поступало 470 м<sup>3</sup>Умин воздуха. В очистной выработке расход воздуха составил 350 м<sup>3</sup>/мин, а газовыделение из обнаженной поверхности пласта - 0,65 м<sup>3</sup> /мин метана.

В 4-м восточном вентиляционном штреке расход воздуха составил 460 м<sup>3</sup>/мин, а газовыделение:

- в 5 м от окна лавы - 3,3 м<sup>3</sup> /мин;
- в 10 м за монтажным ходком - 5,6 м<sup>3</sup> /мин;
- в 60 м за монтажным ходком - 15,6 м<sup>3</sup> /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<sub>10</sub><sup>В</sup>.

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 флексуре, имеющей явно выраженные плоскости среза, и которая является тектоническим коллектором газа. К этой же флексуре 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 м<sup>3</sup>/т с.б.м. (скважины МС-195 и МС-192), в то время, как в целом по участку угли свиты С<sub>2</sub><sup>3</sup> характеризуются газоносностью 30-35 м<sup>3</sup>/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. Порода 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» произошло 7.05.2001г в 4 час. 8 мин. 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 235м. Нагрузка на забой составляла, примерно, 530 т/сут. Первичная посадка основной кровли произошла 22 января 2001 г., без заметного ухудшения газовой обстановки. Шаг обрушения при первичной посадке основной кровли составил 60 м. Шаг последующих обрушений основной кровли составляет 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 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/мин газа. В исходящую струю участка выделялось 14-15 м<sup>3</sup>/мин метана при его содержании 1,0-1,1%.

Динамика загазирования протекала следующим образом.

После выемки 20 тонн 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).



Рис. - 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. м<sup>3</sup> 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

м<sup>3</sup>/мин, из них 6,6 м<sup>3</sup> /мин каптировалось дегазационной системой. В дальнейшем газообильность участка начала снижаться и в середине 2002 года составляла 11,7 м<sup>3</sup>/мин. При этом нагрузка на очистной забой существенно не изменилась. Среднее газовыделение, приведенное к равной нагрузке на забой, при отработке соседней 1-й западной лавы пласта h<sub>10</sub><sup>B</sup> 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 Холодная Балка или мульда 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°), чем северное (2-10°).

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 пликративных структур, выявленных в пределах шахтного поля, следует отметить флексурную складку, простирающуюся в субширотном направлении по пластам h<sub>10</sub><sup>1'</sup> и h<sub>10</sub><sup>B</sup> между линиями V-V<sup>1</sup> и VIII-VIII<sup>1</sup>. Наклонные залегания пород флексуры (35-40°) в ряде мест сопровождаются мелкими разрывами. Место аварии, произошедшей во второй западной лаве пласта h<sub>10</sub><sup>B</sup>, приурочено к донной части синклинали, к приподнятому юго-западному крылу пликративной структуры. Ось складки в этом месте изогнута антиклинально.

Продуктивная толща шахтного поля сложена отложениями свит C<sub>2</sub><sup>3</sup>, C<sub>2</sub><sup>4</sup>, C<sub>2</sub><sup>3</sup> и C<sub>2</sub><sup>2</sup> среднего карбона. Марочный состав углей - ОСиТ. По опыту ведения горных работ большое влияние на горно-геологические условия отработки угольных пластов оказывают тектонические нарушения, характеризующиеся большими зонами дробленных и ослабленных пород.

Газоносность углей в донной части синклинали была более 30 м<sup>3</sup>/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<sub>10</sub><sup>B</sup> приурочены к наиболее газонасыщенной донной части синклинали на участке, где флексура имеет некоторое поднятие и сопровождается рядом мелких разрывов. По-видимому, именно они и служили 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 вые очного 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 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/мин. А при внезапных прорывах метана из почвы максимальный дебит суфляра достигал 200 м<sup>3</sup>/мин [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 (55-77 м<sup>3</sup>/мин), а затем постепенно снижалось (см. рис. 1).

Общий дебит выделившегося метана составил от 110 до 327 тыс.м<sup>3</sup>, 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 в следствие спонтанного перевода сорбированного метана в свободный [5], либо из участков, прилегающих к подработанной толще и связанной с ней системой трещин.

Следует при выполняемом нами анализе также 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.

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 (антиклинали, купола, флексуры, брахиантиклинали, осевые части синклиналей) или малоамплитудных (амплитуда смещения до 10 м), разрывных (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 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.

Таблица 1

Данные о зарегистрированных выделениях метана с дебитом более 14 м<sup>3</sup>/мин произошедшие из кровли при обрушении пород

Шахта, производственное объединение	Название лавы, символ пласта, глубина горных работ, м	Мощность пласта, м	Угольные пласты в кровле			Породы кровли		Расход воз духа на уча стке, м <sup>3</sup> /мин	Содержание метана об. %		Максим альная интенс ивность суфляра , м <sup>3</sup> /мин	Продо лжите льнос ть дей ствия, сут	Причина суфляра
			сим-вол	мощн ость, м	расстоян ие от рабоче-го, м	название	мощно сть, м		до суфля ра	во время суфляра			
Им. В.И. Ленина	8-я восточ,												Первичная
«Макеевуголь»	l <sub>7</sub> , 440							580	0,4	6,0	33	11,6	посадка кровли
	9-я восточ,	0,7-1,0	l <sub>7</sub> <sup>1</sup>	0,2	8	Гл. сланец	1,5	570	0,3	6,0	32	1	То же
	l <sub>7</sub> , 450		l <sub>7</sub> <sup>2</sup>	0,05	19	Песч. сл.	1,0						
						Песчаник	27-30						
	10-я восточ,												
	l <sub>7</sub> , 460							570	0,6	6,0	30	1	
	9-я западн,												
	l <sub>7</sub> , 450							600	0,5	5,5	30	1	
«Советская»	7-я западн,	0,85-	l <sub>7</sub>	0,13	75	Песч. сл.	5	390	0,8	6,0	20	5	
«Макеевуголь»	l <sub>6</sub> , 322	0,9				Песчаник	8						
Им. В.И. Чапаева	3-я западн,	0,9-1,0	k <sub>5</sub> <sup>1</sup>	0,3	17	Песчаник	15	430	0,9	8,7	33	6	
«Шахтерск-	k <sub>5</sub> , 150		k <sub>5</sub> <sup>2</sup>	0,2	25								
антрацит»	Там же							460	0,7	5,0	20	3	Вторая посадка кровли
	20-я «бис»	0,8	k <sub>2</sub> <sup>1</sup>	0,2	25	Песчаник	25	400	0,5	4,0	14,0	12	Первичная
	западная		k <sub>2</sub> <sup>2</sup>	0,5	40	Песч. сл.	15						посадка
	k <sub>2</sub> , 380												

При рассмотрении вопросов импульсного суфлярного газовыделения, есть все основания считать, что выделение метана в забой связано 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, поддерживаемый 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 угленосном массиве на рассматриваемых глубинах спонтанного перевода связанного метана, в частности, сорбированного в свободный. Причем, согласно расчетов, выполненных 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 малоамплитудной нарушенности;
- приуроченность очистных работ к геологическим структурам (брахиантиклинали, 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 объемы 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 угленосного 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  $77\text{ м}^3/\text{мин}$ ) 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, брахиантиклинали, флексуры) из трещиновато-пористых коллекторов.

3. Для недопущения внезапных загазований 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. Официальное издание: СОУ 10.1.00174088.001-2004.- К.: Минуглеэнерго Украины, 2005.- 162 с.
2. Инструкция по разгазированию горных выработок, расследованию, учету и предупреждению загазирования: НПАОП 10.0- 5.22- 04.- 2004. - К.: Минуглеэнерго Украины, 2004. - 8 с.
3. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. –К.: Основа, 1994. – 311 с.
4. Минеев, С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко.- Донецк: Східний видавничий дім, 2010.- 604 с.
5. Антощенко, Н.И. 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 // Сб. научн. тр. «Геотехническая механика». – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2012, вип. 102. - С. 108- 114.
7. Минеев С.П. Свойства газонасыщенного угля. – Днепропетровск: НГУ, 2009.- 220 с.
8. Минеев, С.П. Оценка возможности импульсного выделения сорбированного метана из угольного пласта / С.П. Минеев, А.А. Прусова, А.А. Потапенко, В.Н. Кочерга // Уголь Украины, 2014, № 10.- С. 31- 36.
9. Окаелов, В.Н. О метановыделении в окрестности геологических нарушений / В.Н.Окаелов, П.Л.Лисянский // <http://sbornik.dstu.edu.com/artieles/RU/159.pdf> . - 2015.- 5 с.
10. Кузнецов, С.В. Об 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, № 7,8.- С. 26-31.
12. Ильяшов М.А. О корректировке учета метанообильности выработок при интенсивной разработке тонких пологих пластов / М.А. Ильяшов, А.В. Агафонов, А.А.Бондарь, В.Н. Кочерга // Международная научн.-практ. конф. 12-18 сент. 2010 г.- Днепропетровск: НГУ, 2010, С. 25.
13. Фролов, М.А. Суфлярные выделения метана в угольных шахтах // М.А. Фролов, Бобров А.И. – 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. –М.: 1956.- 210 с.
16. Петросян, А.Э. Разработка пластов пологого падения с высокой азонасностью вонбассе. М.: Углетехиздат, 194. 82 с.
17. Морев А.М. Внезапные разрушения пород почвы и прорывы метана в выработки угольных шахт / А.М. Морев, С.П. Складов Л.А., Большинский И.М. [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., Flaconnache V. Transport Properties of Gases in Polymers: Bibliographic Review // Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP. – 2001. – Vol. 56. – No.3. – pp. 223-244.
20. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. –К.: Основа, 1994. – 311 с.
21. Оценить запасы газа, оставшегося в горном массиве после выемки угля. Отчет МакНИИ по работе № Н81903123. Руководитель Касимов О.И. – Макеевка- Донбасс, 1993. -68 с.