

УДК 622.411.322

Оценка импульсного метановыделения в зонах геологических нарушений при обрушении пород кровли

Рассмотрены основные особенности импульсных выделений метана в забой выработок при посадках пород кровли в зонах пересечения геологических нарушений. Установлено, что наиболее интенсивно газ выделяется при обрушениях пород в зоне влияния пликтивных нарушений (обычно антиклинали, купола, брахиантиклинали, флексуры) из трещиновато-пористых коллекторов. Рассмотрены основные примеры импульсного загазирования забоев выработок при ведении горных работ.

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

Контактная информация: sergminee@gmail.com

При разработке газоносных угольных пластов, залегающих под углом до 35° на глубине ниже от положения изогазы $5 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$, необходимо оценивать безопасность внезапных выделений метана, которые приводят к загазированию забоя, из пород кровли при ее обрушении в зонах геологических нарушений [1]. К загазированию относятся все случаи превышения норм концентрации метана в площади сечения выработок [1–3].

Различают местное, слоевое и общее загазирование выработок. *Местное загазирование* – это скопление метана в отдельных местах выработок, в том числе у буровых станков, комбайнов и врубовых машин, в открытых, не заложенных породой или другими материалами куполах, с концентрацией 2 % и более; *слоевое* – скопление метана в виде слоя в выработках на участках длиной свыше 2 м с концентрацией 2 % и более; *общее* – превышение нормы средней концентрации метана в площади сечения выработки.

Существуют гипотезы, объясняющие природу импульсного загазирования забоя при ведении горных работ, причем многие авторы преимущественно рассматривают 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 [2, 4–9].

Импульсные метановыделения, особенно большой интенсивности, даже при высоких скоростях движения воздушных потоков по выработкам нередко вызывают повышение концентрации метана до взрывоопасного состояния. Опасность заключается также и в том, что выделение метана реализуется внезапно, спонтанно. Такое состояние метановоздушной среды в забое выработок



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



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



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

в дальнейшем порождает вспышки и взрывы.

Вместе с тем единого метода прогноза и технологических решений, позволяющих предотвратить импульсные загазирования, нет. Учитывая изложенное, очевидна актуальность исследований, оценивающих импульсные метановыделения в забой выработки в зонах геологических нарушений.

Ранее была установлена неоднозначность изменения метановыделения при переходе горными работами малоамплитудных геологических нарушений [4, 9–12], т. е. при пересечении нарушения в одних случаях наблюдается увеличение метановыделения, а в других – уменьшение. Так, по данным работы [7], остаточная газоносность пласта l_2^B в зонах влияния Карловского и Софиевского сбросов в Боково-Хрустальском угленосном районе существенно снижалась с приближением забоя к плоскости сместителя сбросов с 30 до 10 $\text{м}^3/\text{т}$, что авторы объясняли дегазирующим влиянием указанных сбросов.

В работе [10] приведены результаты изменения метановыделения в выработках разных шахт. Так, на шахте «Фашевская» при проведении промежуточного штрека 15-й западной лавы пласта k_8 метановыделение в выработку при вскрытии геологического нарушения амплитудой 0,28 м было в 3–5 раз меньше (0,097 $\text{м}^3/\text{т}$), чем на расстоянии 100–300 м от него (0,484–0,275 $\text{м}^3/\text{т}$). На шахте «Перевальная» во время приближения проходческого забоя к сбросу с амплитудой 0,8 м (пласт k_3^B) на расстоянии 110 м наблюдалось увеличение абсолютного метановыделения с 0,18 до 0,35 $\text{м}^3/\text{мин}$. Затем оно уменьшилось до 0,19 $\text{м}^3/\text{мин}$ на расстоянии 38 м и возросло до 0,4 $\text{м}^3/\text{мин}$ уже на расстоянии 10 м после пересечения забоем геологического нарушения.

В то же время на шахте им. газеты «Социалистический Донбасс» (ПАО «Шахтоуправление «Донбасс») при вскрытии забоем бортовой выработки № 51 пласта h_8 двух геологических нарушений с амплитудами 0,15 и 0,25 м наблюдалось существенное увеличение абсолютного метановыделения. Так, при вскрытии геологического нарушения с амплитудой 0,15 м метановыделение достигло 5,24 $\text{м}^3/\text{мин}$ с последующим уменьшением за нарушением до 1 $\text{м}^3/\text{мин}$. При пересечении геологического нарушения амплитудой 0,25 м метановыделение вновь возросло до 3,47 $\text{м}^3/\text{мин}$ с последующим его уменьшением после пересечения нарушения до 0,86 $\text{м}^3/\text{мин}$. В 3-м восточном откаточном штреке пласта h_8 при пересечении геологического нарушения с амплитудой 0,45 м метановыделение увеличилось с 0,84 до 14,86 $\text{м}^3/\text{мин}$.

Исследования, проведенные ранее на шахте им. М. И. Калинина, показали, что при пересечении подготовительными выработками геологи-

ческого нарушения с амплитудой 0,37 м метановыделение увеличилось с 0,37 до 0,79 $\text{м}^3/\text{мин}$, в 4-й западной лаве пласта k_2^2 при пересечении геологического нарушения наблюдался рост метановыделения с 1,43 до 2,81 $\text{м}^3/\text{мин}$. Во время работы лавы в зоне нарушения оно составило 2,48 $\text{м}^3/\text{мин}$ [10], т. е. уменьшилось незначительно.

Рассматриваемые ситуации неоднократно наблюдались и на других шахтах. 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 сентября 1993 г. в 5 ч 30 мин было зафиксировано внезапное загазирование, приведшее к взрыву метана в северном вентиляционном квершлаге пласта m_3 , по которому проходит исходящая струя воздуха из 2-й северной лавы пласта m_3 на горизонте 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. Мощность пласта 1,2–1,25 м, угол падения 12–14°, газоносность 6,7 $\text{м}^3/\text{т}$ с. б. м., зольность 24,5 %, влажность 3,4 %, выход летучих веществ 38,9 %.

Лава отработывала пласт m_3 вблизи оси антиклинальной складки. Кровля пласта – трещиноватый мелкозернистый песчаник средней крепости мощностью 16–20 м. Выше залегали: известняк мощностью 2,4 м, глинистый сланец – 4,5 м, песчаник – 13,9 м, угольный пласт m_4^1 – 0,2 м. Почва пласта m_3 – песчанистые и глинистые сланцы.

Схема проветривания участка – прямоточная с подсвеживанием. По северному откаточному штреку пласта m_3 горизонта 775 м на участок подавалось 820 $\text{м}^3/\text{мин}$ воздуха, а по конвейерному, используемому в качестве вентиляционной выработки, – 120 $\text{м}^3/\text{мин}$. Расчетное метановыделение на участке составляло 2,42 $\text{м}^3/\text{мин}$, требуемый расход воздуха достигал 426 $\text{м}^3/\text{мин}$, фактическое метановыделение на участке до аварии составляло 1,9 $\text{м}^3/\text{мин}$, 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. Для района характерно 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, и характеризуется пологими углами падения северных крыльев ($12-15^\circ$) и более крутыми ($38-42^\circ$) южных. Кроме складчатых структур шахтное поле осложнено разрывными нарушениями типа надвигов и сбросов. Наиболее значительные (с амплитудами смещения до 15–20 м) – надвиги Михайлова и Осевой. Горными работами выявлены малоамплитудные нарушения (с амплитудами смещения от нескольких сантиметров до 3–5 м), которые расположены, в основном, в приосевых частях 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, объем обрушаемых в основной кровле пород бывает разным. При ведении горных работ вблизи малоамплитудных нарушений породы кровли весьма неустойчивы и обрушаются на высоту 0,3–2 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.

На участке, где произошел прорыв газа в выработанное пространство 2-й северной лавы пласта m_3 , отмечался резкий перегиб изогипсы, обусловленный замыканием антиклинали. Газоносность песчаников изменялась от 0,3 до $8,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Наибольшие значения газоносности песчаников, их газопроницаемости (до 0,58 мД) и открытой пористости (до 18 %) наблюдались в замковых частях 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 пласта m_3 , по которому в момент аварии подавалось $1000 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха. Интенсивность газовыделения вначале составляла не менее $55-60 \text{ м}^3/\text{мин}$, затем дебит метана начал снижаться (рис. 1). Общий дебит выделившегося метана – примерно 150 тыс. м^3 .

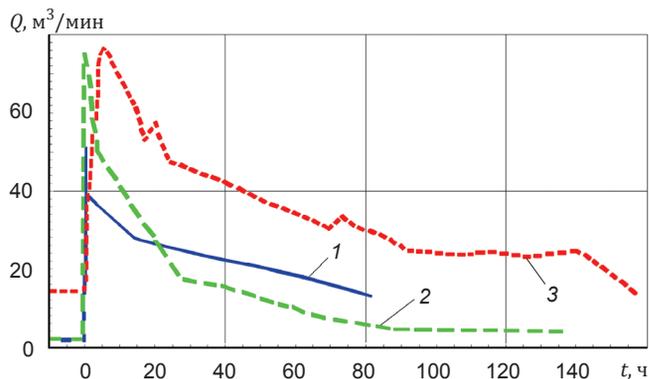


Рис. 1. Динамика импульсного газовыделения в забой Q при обрушении основной кровли во времени t на шахтах: 1 – «Золотое» ГП «Первомайскуголь»; 2 – им. С. М. Кирова ГП «Макеевуголь»; 3 – «Холодная балка» ГП «Макеевуголь».

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

На шахте им. С. М. Кирова ГП «Макеевуголь» 5 мая 2001 г. в 20 ч 30 мин было зафиксировано внезапное загазирование выемочного участка 4-й восточной лавы пласта h_{10}^B , вызвавшее взрыв метана на сопряжении наклонного грузового и горизонтального откаточного квершлаггов. Взрыв распространился по примыкающим горным выработкам до вентиляционного шурфа.

Лавы длиной 200 м отрабатывала пласт h_{10}^B мощностью 0,87–1,15 м на глубине 370 м вблизи Ясиновско-Ждановской флексурной складки, характеризующейся повышенной трещиноватостью и газоносностью пород. На момент аварии лавы отошла от разрезной печи на 25 м. Угол падения пласта $6-9^\circ$, природная газоносность $30-35 \text{ м}^3/\text{т}$ с. б. м., уголь марки Т, зольность 18–20 %, содержание серы 3,6–3,8 %, выход летучих веществ 11,9–12,4 %, влажность 1,3–1,5 %.

Непосредственно над пластом h_{10}^B залегает глинистый сланец средней устойчивости мощностью 17,3–19,4 м, над ним – сланец песчаный мощностью 3 м и угольный пласт h_{10}^1 мощностью 0,54 м. Почва пласта – песчаник мощностью 2–4,25 м и угольный пласт h_{10}^1 мощностью 0,3–0,35 м.

Расчетная газообильность лавы составляла $2,1 \text{ м}^3/\text{мин}$, выемочного участка – $3,1 \text{ м}^3/\text{мин}$. Расчетный расход воздуха для проветривания очистной выработки – $364 \text{ м}^3/\text{мин}$, выемочного участ-

ка – 515 м³/мин. Фактически до аварии на участок поступало 660 м³/мин воздуха.

С 25 апреля по 5 мая метановыделение на участке составляло 1,2–3,3 м³/мин при концентрации метана в исходящей струе от 0,2 до 0,5 %. Непосредственно перед загазированием в 20 ч 10 мин его дебит достиг 2 м³/мин, а в исходящей струе содержалось 0,3 %.

Выемочный участок 4-й восточной лавы проветривается по возвратноточной схеме с отводом исходящей вентиляционной струи на выработанное пространство. Свежий воздух поступает в выработки участка по наклонному воздухоподающему стволу, конвейерному ходку 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.

Исходящая струя воздуха из выемочного участка 2-й восточной лавы пласта h_{10}^B также поступает в западный фланговый уклон. Для его проветривания подавалось 760 м³/мин воздуха. Метановыделение на участке составляло примерно 2,3 м³/мин.

Загазирование началось в 20 ч 10 мин. Аппаратура автоматического контроля метана зарегистрировала в исходящей струе 4-й восточной лавы пласта h_{10}^B его резкое увеличение с 0,3 % до значений, превышающих 2,5 %. В 20 ч 20 мин датчик ДЗИ-18 с установкой срабатывания 1 %, находившийся в наклонном грузовом квершлаге пласта h_{10}^B , выдал информацию о внезапном увеличении содержания метана с 0,25 % до значений, превышающих показатель его срабатывания. В 20 ч 35 мин в наклонном грузовом квершлаге произошел взрыв. Расход воздуха по квершлагу до взрыва составлял 1420 м³/мин. Следовательно, дебит метана был не менее 71 м³/мин.

На основании замеров, выполненных сотрудниками МакНИИ и 3-го взвода ГВГСС, была установлена динамика газовой выработки (см. рис. 1). Общий объем выделившегося за несколько суток метана составил примерно 110 тыс. м³.

Газовая съемка, проведенная экспертной комиссией 7 мая 2001 г., показала следующее. По 4-му восточному конвейерному штреку на участ-

ток поступало 470 м³/мин воздуха. В очистной выработке расход воздуха составлял 350 м³/мин, выделение метана из обнаженной поверхности пласта достигло 0,65 м³/мин.

В 4-м восточном вентиляционном штреке расход воздуха составлял 460 м³/мин, а газовой выделение на расстоянии: 5 м от окна лавы – 3,3 м³/мин; 10 м за монтажным ходком – 5,6 м³/мин; 60 м за монтажным ходком – 15,6 м³/мин. Основной приток метана из кровли наблюдался на участке вентиляционного штрека за монтажным ходком: содержание на расстоянии 0,3 м от кровли – 64,4 %, на расстоянии 1 м – 3,5 %. Причиной загазирования выработок, по мнению экспертной комиссии, стало 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 .

Поле шахты им. С. М. Кирова расположено в пределах Ряснянской синклинали. Надвиг Продольный – южная граница шахтного поля. Западная часть участка (и западная граница шахтного поля), приуроченная к Ясиновско-Ждановской флекуре и имеющая явно выраженные плоскости среза, является тектоническим коллектором газа. К этой же флекуре приурочена и Зуевская газодинамическая зона, характеризующаяся повышенными газовой выделением 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, в достаточно прочно консолидированных породах вполне вероятно образование малоамплитудной нарушения. Место прорыва газа в 4-ю восточную лаву пласта h_{10}^B граничит с наибольшим перегибом пластов. Здесь породы образуют куполовидное поднятие – своеобразную газовую ловушку. При обрушении пород кровли газ из нее импульсно выделялся в вентиляционный штрек лавы.

На шахте «Холодная балка» ГП «Макеевуголь» 7 мая 2001 г. в 4 ч 8 мин произошло внезапное загазирование вентиляционного штрека 2-й западной лавы пласта h_{10}^B и общешахтных выработок с исходящей струей воздуха. Лава отрабатывала пласт прямым ходом по простиранию к границе выемочного поля. Длина очистного забоя составляла 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 января 2001 г. без заметного ухудшения газовой обстановки (шаг обрушения – 60 м, при последующих обрушениях – 25–35 м).

Непосредственно над пластом залегают глинистый сланец мощностью 10 м, над ним – песчано-глинистый сланец мощностью 5,7–7 м и угольный пласт мощностью 0,55–0,6 м.

Непосредственная почва пласта – глинистые и песчано-глинистые сланцы.

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

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

Загазирование происходило следующим образом. После выемки 20 т горной массы в 4 ч 00 мин датчик ДМТ, установленный в 5-м западном ходке пласта h_{10}^B на расстоянии 12 м от сопряжения с 14-м западным ходком пласта h_{10}^B , зафиксировал повышение содержания метана до 1,3 % и отключил напряжение на участке. В 4 ч 50 мин концентрация метана в исходящей струе резко повысилась (рис. 2). Интенсивное газовыделение продолжалось семь суток. За это время в горные выработки выделилось около 327 тыс. м³ метана.

Дебит газа, каптируемого дегазационной системой, не увеличился вследствие того, что ближайшие к очистному забою скважины были «обрезаны» обрушившейся кровлей. После возоб-

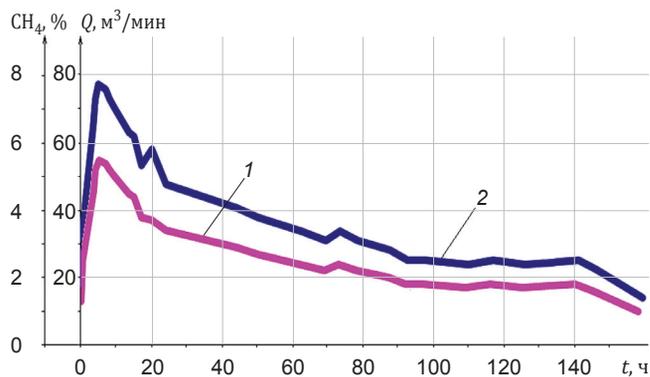


Рис. 2. Динамика газовыделения Q (1) и концентрации метана CH_4 (2) на участке 2-й западной лавы пласта h_{10}^B шахты «Холодная балка» во времени t .

новления добычи угля газовыделение на участке составляло не более 19,6 м³/мин, из них 6,6 м³/мин каптировалось дегазационной системой. В дальнейшем газообильность участка начала снижаться и в середине 2002 г. составила 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 вдвое меньше. Все это 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 мульды Вербовая. С северо-запада оно ограничено Ясиновско-Ждановской флексурой (Зуевская газодинамическая зона), на юго-востоке – Дулинским надвигом, или Дулинской флексурой. Синклиналь в поле шахты «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 субмеридиальном (Марковский, Дулинский).

Из пликативных структур, выявленных в пределах шахтного поля, следует выделить флексурную складку, простиранияющуюся в субширотном направлении по пластам h_{10}^1 и h_{10}^B между линиями V–V' и VIII–VIII'. Наклонные залегания пород флексуры (35–40°) в некоторых местах

имеют мелкие разрывы. 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 превышала $30 \text{ м}^3/\text{т}$ с. б. м. Метаноносность угольных пластов в пределах шахтного поля повышается к осевой части синклинали, что подтверждается и поднятием поверхности метановой зоны в центральной части синклинали до 50–150 м.

Повышенные газовыделения в горных выработках неоднократно отмечались при вскрытии геологических нарушений и при обрушении основной кровли. При вскрытии малоамплитудных нарушений или приближении к тектоническим нарушениям повсеместно наблюдается увеличение газоносности (при бурении геологоразведочных скважин) и метанообильности (при ведении очистных работ). Рост метановыделения в зонах тектонических нарушений связан 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 углевещающих пород подтверждается многочисленными суфлярами из кровли и почвы отработываемых угольных пластов.

Очистные работы 2-й западной лавы пласта h_{10}^B проводились в наиболее газонасыщенной донной части синклинали на участке, где флексура имеет некоторое поднятие и сопровождается мелкими разрывами. По-видимому, именно они и были каналами миграции газа из окружающего горного массива в выработанное пространство лавы.

Анализ условий реализации внезапных газирований на шахтах показал, что при обрушении пород кровли пласта в зонах геологических нарушений наблюдаются определенные закономерности. Так, обрушения пород кровли, как правило, сопровождаются интенсивным газовыделением 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 достаточно быстро, а затем медленно падает интенсивность газовыделения. Из изученных ранее случаев газовыделения следует, что при обрушении пород кровли внезапные выделения метана возможны 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, показывают, что при прорывах метана из кровли его содержание в выработках увеличивается (максимально – в 20 раз), а дебит суфляра достигает $33 \text{ м}^3/\text{мин}$. При внезапных прорывах метана из почвы максимальный дебит суфляра составлял $200 \text{ м}^3/\text{мин}$ [13, 17], причем интенсивное газовыделение продолжалось, как правило, несколько часов, а иногда и дней, после чего резко снижалось.

Анализ динамики загазований, 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 достигало 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 . В то же время расчет объема газа, который может выделиться из подработанной толщи в зоне дегазирующего влияния очистной выработки, выполненный по известным методикам [3, 10], свидетельствует, что в рассмотренных случаях в горные выработки не могло поступить такое количество газа. Следовательно, метан выделялся из свободных объемов, вследствие спонтанного перевода сорбированного метана в свободный [5] или из участков, прилегающих к подработанной толще и связанных с ней системой трещин.

Механизм внезапных прорывов метана с учетом приведенных 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 – из легко обрушающихся

ся газопроницаемых пород (аргиллиты, алевролиты), выше которых залегает трещиноватый газонасыщенный песчаник (трещиноватый коллектор свободного газа), сопровождающийся в кровле или почве угольным пластом. Во время обрушения основной кровли обнажается трещиноватый коллектор и свободный газ из него поступает в горные выработки. Причем газ может выделяться из больших площадей, находящихся вне зоны влияния очистных работ. Происходящие после прорыва газа обрушение 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 зависит от характера отжима угля. В зоне отжима инициируются процессы десорбции и фильтрации, становясь главными источниками суфлярного выделения метана в забой. По мнению авторов работы [8], проявление суфлярных выделений метана из разрабатываемых пластов – это 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 [18–20]. Интенсивность и продолжительность суфлярного газовыделения зависят от интенсивности отжима, с которым связано внезапное увеличение проницаемости в соответствующей зоне и от ее размеров, газоносности пласта, возможности активизации десорбционных процессов в угле и ряда других факторов [7, 17, 19].

Не менее интересна гипотеза ИГТМ НАН Украины [5, 20] о возможности (при определенных энергетических условиях, существующих в углепородном массиве на рассматриваемых глубинах) спонтанного перевода связанного метана, в частности сорбированного, в свободный. Причем, согласно выполненным в ИГТМ НАН Украины расчетам, увеличение количества сво-

бодного газа, переходящего спонтанно из связанного состояния, может составлять разы и более [5, 18, 20] в достаточно короткий промежуток времени.

Основными геологическими критериями прогноза внезапного газовыделения при обрушениях пород кровли можно принять (с некоторым уточнением) следующие, установленные ранее:

- наличие геологических нарушений или зон малоамплитудной нарушенности – путей миграции углеводородных газов, способствует образованию ловушек свободных газов в зонах влияния нарушений или в 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 большие объемы газа поступают в горные выработки за короткие 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), препятствующей 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. 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 в 6–35 раз и достигать максимальных значений в течение незначительного промежутка времени. Затем дебит выделяющегося газа постепенно снижается.

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

Для предотвращения внезапных загазований выработок и обеспечения безопасности работ по газовому фактору необходимо дегазировать свободные скопления метана в коллекторах угле вмещающих пород, а также исключить горно-технологические условия, которые способствуют импульсному переводу значительных объемов связанного (чаще всего сорбированного) газа в свободный в зоне ведения горных работ.

Основные меры предупреждения подобных загазований – 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации: СОУ 10.1.00174088.001–2004. – К.: Минэнергоуголь Украины, 2005. – 162 с. – (Нормативный документ).
2. Инструкция по разгазированию горных выработок, расследованию, учету и предупреждению загазований: 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. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко. – Донецк: Вост. изд. дом, 2010. – 604 с.
5. Минеев С. П. Оценка возможности импульсного выделения сорбированного метана из угольного пласта / С. П. Минеев, А. А. Прусова, А. А. Потепенко, В. Н. Кочерга // Уголь Украины. – 2014. – № 10. – С. 31–36.
6. Кузнецов С. В. О механизме суфлярных выделений газа из угольного пласта / С. В. Кузнецов, В. А. Трофимов // ФТПРПИ. – 2004. – № 4. – С. 23–28.
7. Геомеханические процессы и прогноз динамики газовыделения при ведении очистных работ в угольных шахтах / [Н. И. Антощенко, В. Н. Окалелов, В. Н. Павлов и др.] – Алчевск: ДонГТУ, 2009. – 449 с.
8. Оценить запасы газа, оставшегося в горном массиве после выемки угля: отчет о НИР / МакНИИ; Руководитель О. И. Касимов. – № Н81903123. – Макеевка, 1993. – 68 с.
9. Андреев М. М. Импульсное выделение метана из разгружаемого угленосного массива / М. М. Андреев, М. М. Андреев // Геотехническая механика. – 2012. – Вып. 102. – С. 108–114.
10. Окалелов В. Н. О метановыделении в окрестности геологических нарушений / В. Н. Окалелов, П. Л. Лисянский [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sbornik.dstu.educaatin/artieles/RU/159.pdf>. – 2015. – 5 с.
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. О корректировке учета метанообильности выработок при интенсивной разработке тонких пологих пластов / М. А. Ильяшов, А. В. Агафонов, А. А. Бондарь, В. Н. Кочерга: междунар. науч.-практ. конф., 12–18 сент. 2010 г.: материалы. – 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: отчет о НИР / МакНИИ; Руководитель А. И. Бобров. – № 5. – Макеевка, 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. Минеев С. П. Свойства газонасыщенного угля / С. П. Минеев. – Днепропетровск: НГУ, 2009. – 220 с.
18. Klopffer M. H. Transport Properties of Gases in Polymers: Bibliographic Review / М. Н. Klopffer, В. Flaconnache // Oil & Gas Science and Technology. – Rev. IFRP. – 2001. – Vol. 56. – № 3. – P. 223–244.
19. Морев А. М. Внезапные разрушения пород почвы и прорывы метана в выработки угольных шахт / [А. М. Морев, Л. А. Скляр, И. М. Большинский и др.]. – М.: Недра, 1992. – 174 с.
20. Минеев С. П. Активация десорбции метана в угольных пластах / С. П. Минеев, А. А. Прусова, М. Г. Корнилов. – Днепропетровск: Вебер, 2007. – 252 с.