

УДК 622.812.2: 622.817



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



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



А. И. ДУБОВИК, инж.
(ГП «УК «Краснолиманская»)



В. И. ЛОСЕВ, инж.
(ГП «УК «Краснолиманская»)



М. А. КИШКАНЬ, инж.
(Управление Гоструда Украины
в Донецкой обл.)

Расследование аварии с двумя взрывами метановоздушной смеси

Рассмотрены результаты расследования аварии с двумя взрывами метана, произошедшей 26 и 27 октября 2015 г. на шахте «Краснолиманская». Установлено, что причина аварии – импульсное выделение метана в изолированное выработанное пространство 1-й западной лавы засбросовой части пласта l_3 и его взрывы, источник воспламенения метана – фрикционное трение песчаника о песчаник в зонах геологических нарушений во время активизации тектонических процессов в изолированном выработанном пространстве.

Ключевые слова: внезапное импульсное метановыделение, изолированное выработанное пространство, авария, расследование, концентрация метана, взрывы.

Контактная информация: sergminee@gmail.com

Горный отвод шахты «Краснолиманская» расположен в центральной части Красноармейского геолого-промышленного района. Горный массив, сложенный отложениями свит C_2^5 , C_2^6 , C_2^7 и C_3^1 , содержит около 60 угольных пластов и пропластков, из которых 13 имеют мощность более 0,45 м. Залегание каменноугольных пород моноклиальное с падением пластов на восток и северо-восток под углом 3–15°.

Шахта разрабатывает газоносные угольные пласты k_5 , l_3 и m_4^2 мощностью 1,5–2,5; 2,1–3,3 и 1–1,2 м соответственно. При метаносности угля пластов k_5 и l_3 14–25 м³/т с. б. м. средняя абсолютная метанообильность выемочных участков, где добывают 2000–4000 т/сут, достигает 30–45 м³/мин. Угольный пласт m_4^2 имеет метаносность 5,7–12,7 м³/т с. б. м., поэтому при нагрузках на очистные забои 1000–2000 т/сут абсолютная метанообильность выемочных участков здесь ниже и составляет 7–12 м³/мин.

Авария произошла в вентиляционном ходке 1-й западной лавы засбросовой части пласта l_3 (далее – вентиляционный ходок), служившем для отвода исходящей вентиляционной струи воздуха из выемочного участка. Площадь поперечного сечения ходка 19 м², высота 4 м. Он был закреплен крепью АП-19,0 с плотностью установки две рамы на метр.

Очистные работы в 1-й западной лаве засбросовой части пласта l_3 (далее – 1-я западная лава) велись по падению пласта по столбовой системе разработки. Длина лавы составляла 160 м, длина выемочного столба – 260 м (рис. 1). Управление кровлей – полное обрушение. Глубина отработки 750–770 м. Газоносность угольного пласта l_3 – около 14,6 м³/т с. б. м; уголь марки Г. Пласт l_3 опасен по выбросам, взрыву угольной пыли, не опасен по горным ударам, склонен к самовозгоранию в зонах геологических нарушений.

МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ

Выемочный участок 1-й западной лавы проветривался по возвратноточной схеме типа 1-М-Н-г-вт. Свежая вентиляционная струя воздуха поступала в лаву по конвейерному ходу 1-й западной лавы, а исходящая струя воздуха отводилась по вентиляционному ходу 1-й западной лавы.

Лаву, оборудованную механизированным комплексом ЗКД-90Т, отрабатывали с января по 18 июня 2015 г. Уголь добывали комбайном КДК-500. Вынимаемая мощность пласта составляла 2,26–2,55 м.

Выемочный участок 1-й западной лавы находится между Федоровским и Глубокоярским сбросами, расположенными нормально падению пород. Амплитуда смещения сбросов – 20–

25 и 20–86 м соответственно. На выемочном поле лавы зафиксировано 11 мелких нарушений сбросового типа, расположенных как согласно двум основным сбросам, так и нормально к ним (см. рис. 1). В кровле пласта l_3 на расстоянии 18–20 м залегает крепкий кварцевый песчаник l_4Sl_5 мощностью до 15 м.

В зонах геологических нарушений для предотвращения самовозгорания угля в соответствии с рекомендациями НИИГД «Респиратор» проводилась обработка угольного пласта антипирогеном PYROCOOL в виде 3 %-го водного раствора АFFF. Для обеспечения газовой безопасности на выемочном участке осуществлялась комплексная дегазация – кровли пласта скважинами и выработанным пространством «свечами».

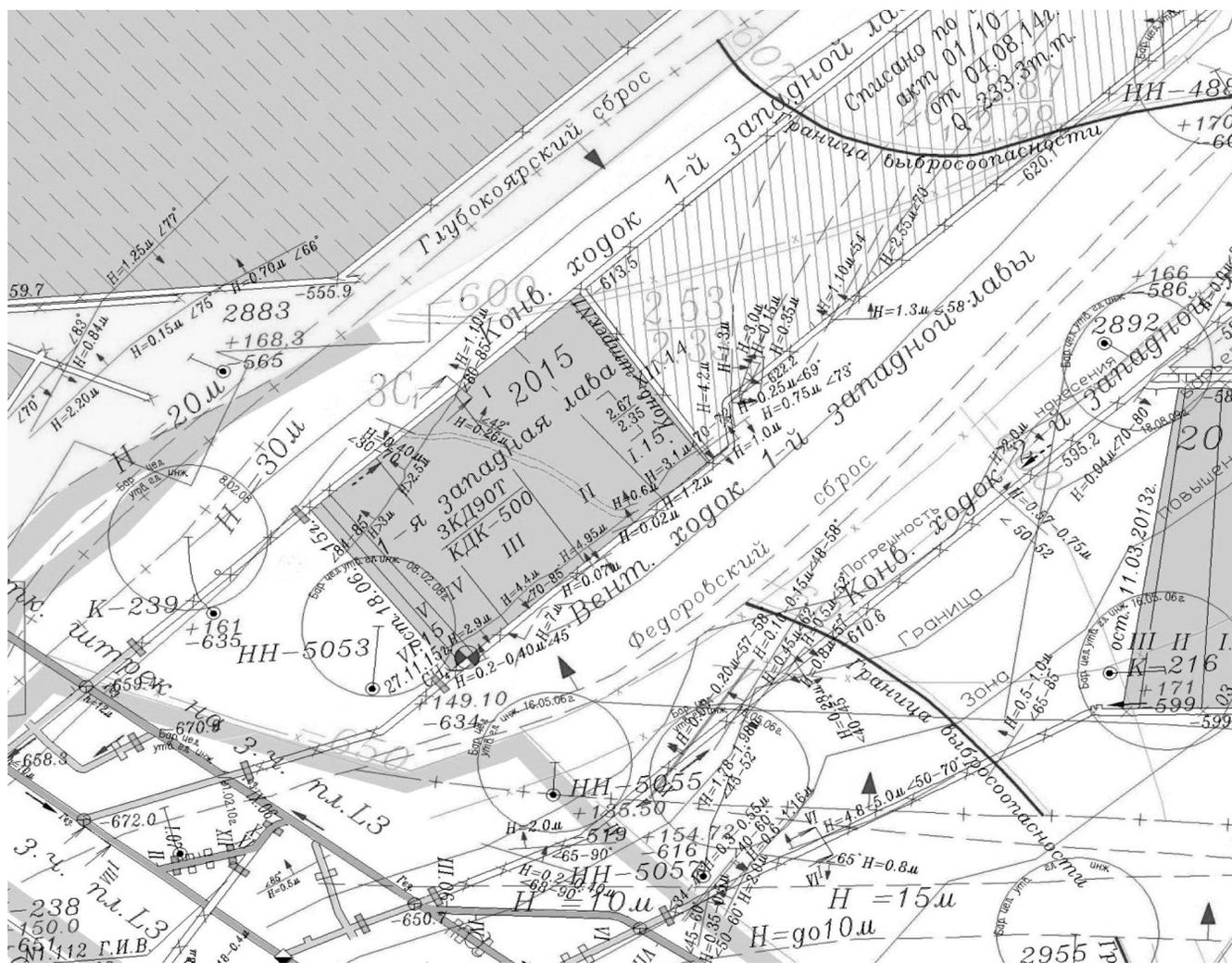


Рис. 1. Выкопировка из плана горных выработок по пласту l_3 шахты «Краснолиманская».

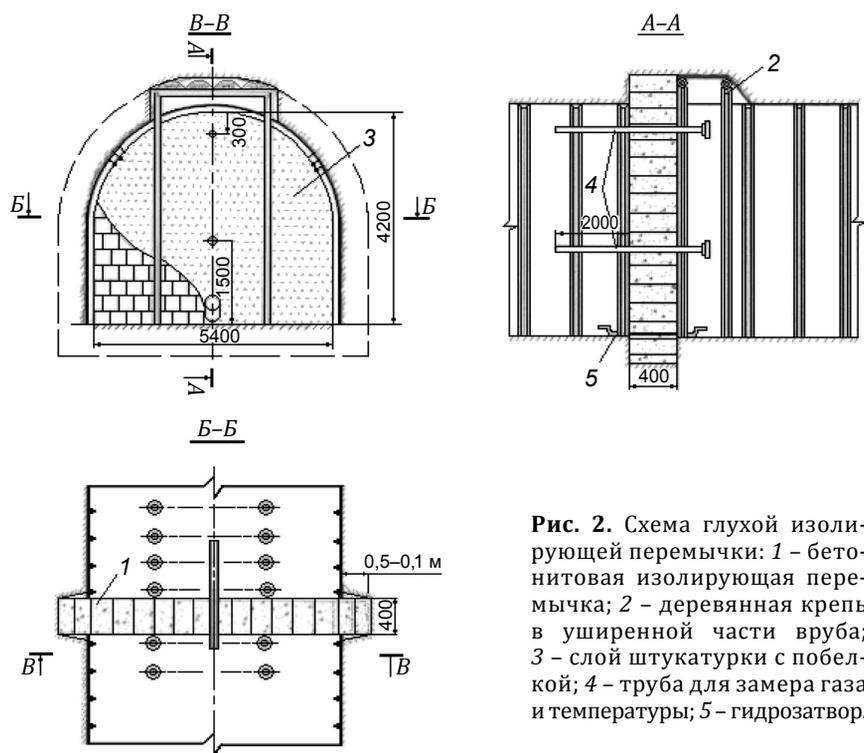


Рис. 2. Схема глухой изолирующей перемычки: 1 – бетонная изолирующая перемычка; 2 – деревянная крепь в уширенной части вруба; 3 – слой штукатурки с побелкой; 4 – труба для замера газа и температуры; 5 – гидрозатвор.

месяцем с 1818 до 1036 т. В мае 2015 г. из-за сложных геологических условий среднесуточная нагрузка на очистной забой уменьшилась уже до 596 т. Несмотря на понижение скорости подвигания очистного забоя, среднее абсолютное метановыделение на выемочном участке по сравнению с апрелем возросло с 23,65 до 27,03 м³/мин. Увеличение выделения метана на выемочном участке при снижении скорости подвигания очистного забоя, по-видимому, было обусловлено малоамплитудной нарушенностью горного массива.

Отработку лавы завершили 18 июня 2015 г. в очень сложных горно-геологических условиях, после чего начали демонтаж оборудования в лаве. Затем демонтировали трубопровод изо-

Скважины в кровлю пласта бурили из вентиляционного хода навстречу очистному забою кустами с шагом 20 м. Из каждого куста бурили по две скважины: одну с разворотом на лаву, другую – по оси штрека. Скважины, пробуренные с разворотом, по мере приближения очистного забоя к их устьям отключали от газопровода и закрывали металлическими заглушками с прокладками из трудносгораемого материала. Скважины, пробуренные по оси выработки, оставляли работать в неконтролируемой, непогашиваемой ее части. Каптирование газа из скважин осуществлялось вакуум-насосной станцией № 2 (далее – ВНС № 2). Из выработанного пространства газ отсасывался по отдельному газопроводу подземной дегазационной установкой.

Дополнительно к дегазации для борьбы с местными скоплениями метана на сопряжении лавы с вентиляционным ходком метан отводился по изолированному трубопроводу диаметром 800 мм за пределы выемочного участка с помощью газоотсасывающего вентилятора ВМЦГ-7М.

В апреле 2015 г. лава вошла в зону малоамплитудной нарушенности угольного пласта I₃. В связи с этим среднесуточная добыча угля в лаве снизилась по сравнению с предыдущим

лированного отвода метана и газопровод подземной дегазационной установки. Для обеспечения газовой безопасности в период погашения выработок дегазацию кровли скважинами, пробуренными по оси штрека, не прекращали. После погашения выработок дегазационный газопровод оставили в изолированном выработанном пространстве для дальнейшей дегазации кровли пласта скважинами.

В июле в конвейерном и вентиляционном ходках в 6 и 5 м от лавы возвели глухие бетонные изолирующие перемычки № 159 г.и. и № 158 г.и. соответственно. Затем начали погашать вентиляционный и конвейерный ходки с извлечением крепи. Извлечение крепи из вентиляционного ходка в нарушенных зонах сопровождалось интенсивным обрушением пород кровли с образованием куполов высотой до 4,5 м. Погашенные части ходков в октябре изолировали от действующих выработок глухими перемычками (см. рис. 1) – задними стенками взрывоустойчивых перемычек, которые планировалось возвести в дальнейшем. Конструкция перемычек (рис. 2) разработана техническим отделом шахты. В вентиляционном ходке перемычку возводили в период с 15 по 20 октября, а в конвейерном – с 20 по 26 октября. Бетониты

укладывали на цементный раствор повышенной прочности. Пространство во врубе у кровли, где нельзя было разместить целые блоки, заполняли бетонитовым боем на цементном растворе. После возведения перемычки ее поверхность и прилегающие к ней борта выработки на расстоянии не менее 0,6 м были оштукатурены и побелены.

Вентиляционный ходок проветривали с помощью вентиляторов местного проветривания ВМЭ-6, размещенных в магистральном полевом откаточном штреке горизонта 845 м, через гезенк. Содержание метана контролировалось датчиками Д1И-151 и Д2И-151, установленными на расстоянии 10–20 м от устья вентиляционного ходка и в тупике ходка на расстоянии 3–5 м от обрушенных пород во время извлечения крепи, а затем – от изолирующей глухой перемычки согласно требованиям Правил [1].

Среднее общее выделение метана в пределах участка на момент остановки лавы составляло 22,64 м³/мин. Дегазационными скважинами извлекалось 11,4 м³/мин метана, «свечами» из выработанного пространства каптировалось 7,1 м³/мин метана и еще 2,5 м³/мин метана отводилось из тупика вентиляционного ходка газоотсасывающей установкой с вентилятором ВМЦГ-7М за пределы выемочного участка. В исходящую вентиляционную струю выемочного участка выделялось 1,64 м³/мин метана. Из них 1,5 м³/мин поступало из очистной выработки, а 0,14 м³/мин – из выработанного пространства. Эффективность комплексной дегазации кровли пласта скважинами и выработанного пространства «свечами» составляла 87,5 %, а с учетом изолированного отвода метана – 99,3 %.

После завершения очистных работ выделение метана в выработки выемочного участка и дегазационные скважины постепенно снижалось. На момент начала возведения перемычек № 159г.и. и № 158г.и. общее выделение метана на участке сократилось до 12,6 м³/мин. Из них 3,2 м³/мин отводилось вентиляционной струей и 9,4 м³/мин каптировалось из кровли скважинами.

В период погашения вентиляционного ходка среднесуточное содержание метана в исходящей струе постепенно снижалось с 0,32 до 0,08 %, а абсолютное выделение метана уменьшалось с 1,2 до 0,23 м³/мин. Как перед возведением, так

и после возведения изолирующих перемычек среднесуточное содержание метана в исходящей струе вентиляционного ходка составляло 0,08 %.

Содержание метана в каптируемом газе из скважин, пробуренных по оси ходка, колебалось в пределах 6,5–12,5 %, а расход извлекаемого метана изменялся от 4,8 до 9,4 м³/мин. Содержание метана в дегазационном газопроводе контролировалось на ВНС № 2 шахтным интерферометром ШИ-12 с периодичностью 2 ч.

26 октября в 11 ч 15 мин датчики контроля содержания метана Д1И-151 и Д2И-151 зафиксировали рост его концентрации в выработке. К 13 ч 50 мин содержание метана увеличилось с 0,08 до 0,77 %. В дегазационном газопроводе на ВНС № 2 в период с 11 до 13 ч содержание метана повысилось с 8 до 36 %, а его расход вырос с 6 до 27 м³/мин, т. е. в 4,5 раза. В контролируемой части вентиляционного ходка никакие работы в это время не проводились и люди в нем не находились.

Примерно в 13 ч 50 мин в изолированном выработанном пространстве 1-й западной лавы произошел взрыв метана, вследствие которого датчик контроля Д2И-151 вышел из строя. В исходящей струе вентиляционного ходка содержание метана в течение нескольких секунд резко возросло до 2,3 %.

В результате обследования аварийного участка отделением 10 ВГСО было установлено следующее. Перемычка в вентиляционном ходке, у обрушенных пород, после извлечения крепи полностью разрушена. Бетониты хаотично расположены (разбросаны) на подошве выработки в сторону ее устья. Из выработанного пространства в ходок поступало 123 м³/мин воздуха температурой 28 °С с содержанием метана 11 %, кислорода 18 %, оксида углерода 0,006 %, двуоксида углерода 0,5 %. Вентилятором через гезенк для проветривания ходка подавалось 327 м³/мин воздуха. В устье ходка его подача составляла 450 м³/мин, а метана содержалось 3 %. Дебит метана был равен 13,5 м³/мин. Очаги пожара и задымленность со стороны выработанного пространства отсутствовали.

Наблюдения показали, что до 17 ч 55 мин 27 октября концентрация метана в поступающем к обрушенным породам из выработанного пространства воздухе составляла 6,5–12 %, а кислорода – от 18 до 19 %, в исходящей струе она импульсно колебалась в интервале

1,6–3,3 % (рис. 3). Расход метана, выделяющегося из выработанного пространства, изменялся в пределах 7,2–14,8 м³/мин. Показания датчика контроля содержания метана Д1И-151 не отличались от результатов лабораторного анализа проб рудничного воздуха, отбираемых горноспасателями в устье выработки. Содержание оксида углерода у обрушенных пород снизилось с 0,0060 до 0,0040 %, а в исходящей струе было 0,0009–0,0016 %, что не превышало допустимые нормы. Содержание метана в газопроводе на ВНС № 2 в этот промежуток времени варьировалось в диапазоне 40–65 %, а его расход составлял 30–48,7 м³/мин. Содержание оксида углерода в отсасываемом газе составляло 0,0007–0,0021 %, что соответствует его фоновым значениям для дегазационных газопроводов шахт Донбасса.

Анализ результатов наблюдений за выделением метана свидетельствует о том, что его максимальный расход был зафиксирован 26 октября в 16 ч 30 мин и составил 62,2 м³/мин. Из них 13,5 м³/мин поступало в вентиляционный ходок и 48,7 м³/мин каптировалось ВНС № 2. Это указывает на то, что в изолированном выработанном пространстве 1-й западной лавы через 128 дней после ее остановки произошло непрогнозируемое внезапное интенсивное импульсное выделение метана. При этом дебит каптируемого метана из кровли скважинами увеличился в 8,1 раза, а общее его выделение в 2,6 раза превысило средний дебит в пределах участка перед остановкой лавы.

Стабильное снижение содержания оксида углерода в рудничном воздухе, поступающем из выработанного пространства после взрыва, отсутствие повышенной температуры и влажности, допустимое содержание оксида углерода в исходящей струе вентиляционного ходка и фоновое в дегазационном газопроводе свидетельствуют о том, что произошедший взрыв метана не вызвал пожара в выработанном пространстве и что источником воспламенения метана не являлось возможное самовозгорание угля в зонах геологических нарушений.

27 октября в 17 ч 55 мин в выработанном пространстве произошел второй взрыв метана, в результате которого датчик контроля Д1И-151, установленный в устье вентиляционного ходка, вышел из строя.

В дальнейшем газовая обстановка в выработанном пространстве 1-й западной лавы контролировалась только путем отбора проб газа из дегазационного газопровода. Динамика изменения во времени концентраций различных газов в период 26–27 октября 2015 г. показана на рис. 4.

По всей видимости, после второго взрыва гибкие гофрированные трубы, соединяющие газопровод с устьями скважин, разорвались. Поэтому в газопровод начал поступать газ не из скважин, а из выработанного пространства. Наблюдения показали, что после второго взрыва содержание метана в каптируемом газе в течение 36 ч снизилось до 10,9 % и на протяжении следующих 10 сут изменялось

в интервале от 5,3 до 10,8 %. Содержание оксида углерода в отсасываемом газе составляло 0,0006–0,0014 %. Это позволило экспертной комиссии сделать вывод о том, что и второй взрыв метана не вызвал пожара в выработанном пространстве 1-й западной лавы.

Необходимо отметить непрогнозируемость произошедшей аварии, которая заключается в следующем. Известно, что после завершения очистных работ выделение метана из подработанного горного массива в выработки остановленного выемочного участка и дегазацион-

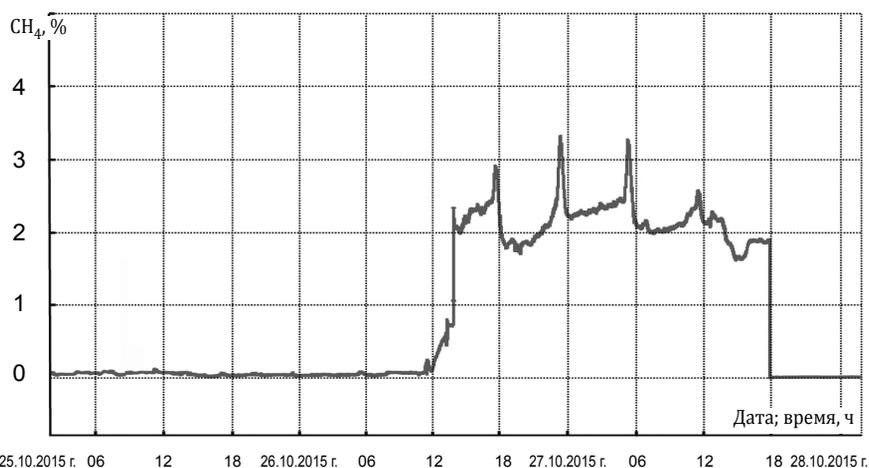


Рис. 3. Показания датчика контроля содержания метана Д1И-151 в исходящей струе вентиляционного ходка 1-й западной лавы.

МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ

ные скважины начинает постепенно снижаться по экспоненциальному закону [2–4]. От момента остановки 1-й западной лавы до аварии прошло 128 дней. За это время выделение метана из кровли должно было снизиться и составлять 25–46 % его дебита на момент остановки лавы, т. е. приблизительно $5,7\text{--}10,4\text{ м}^3/\text{мин}$. Фактически перед первым взрывом только скважинами каптировалось из кровли $27\text{ м}^3/\text{мин}$ метана. А в 16 ч 30 мин 26 октября (через 3 ч 40 мин после взрыва) общий дебит метана из выработанного пространства составил $62,2\text{ м}^3/\text{мин}$, что в 6 раз превышает максимальный прогнозный и в 2,6 раза – дебит метана на участке перед остановкой лавы. При этом дебит метана из кровли в скважины в период с 11 ч до 16 ч 30 мин увеличился с 6 до $48,7\text{ м}^3/\text{мин}$, т. е. в 8,1 раза. После первого взрыва с интервалами около 6 ч метан выделялся импульсно из выработанного пространства в вентиляционный ходок (см. рис. 3). Это свидетельствует о том, что в изолированном выработанном пространстве отработанной лавы начали происходить непрогнозируемые внезапные интенсивные импульсные выделения метана из кровли.

Импульсные выделения метана при ведении горных работ, особенно в зонах геологических нарушений, – широко исследуемый [5, 6 и др.], но недостаточно изученный процесс. Внезапные интенсивные импульсные выделения метана, приводившие к загазированию горных выработок и авариям, зафиксированы на многих шахтах: им. С. М. Кирова, «Холодная балка», ПАО «Шахтоуправление «Покровское», им. М. И. Калинина, «Золотое», им. В. М. Бажанова и других [6]. Тем не менее, каждый раз при рассмотрении очередной аварии выявляются новые факторы, характерные для интенсивного импульсного выделения метана.

Считается, что практически все аварии, связанные со взрывами метана и угольной пыли в шахтах, происходят в основном из-за грубых нарушений Правил безопасности. К сожалению, так проще расследовать аварию, проще найти причину и виновника, которого впоследствии накажут. Общеизвестно, что в

результате извлечения из недр огромных объемов угля происходит сдвигение подработанного и надработанного горного массива, и это не может, при определенных горно-геологических условиях, не сопровождаться непрогнозируемыми естественными природными явлениями. По нашему мнению, наиболее яркий пример таких непрогнозируемых естественных явлений – взрывы метана в выработанном пространстве отработанной лавы на шахте «Краснолиманская» 26 и 27 октября 2015 г.

Согласно действующим нормативным документам внезапные загазирования проветриваемых горных выработок наблюдаются при разных видах газодинамических явлений только в процессе ведения горных работ. Поэтому ожидать каких-либо газодинамических явлений в выработанном пространстве аварийного выемочного участка, который после остановки простоял без движения 128 сут и работы в нем не велись, оснований не было.

Процессы затухания сдвижений пород в подработанном горном массиве продолжают несколько лет. Следовательно, на отработанном выемочном участке 1-й западной лавы пласта l_3 после его остановки они еще продолжались. Учитывая малоамплитудную нарушенность горного массива в пределах выемочного столба лавы и погашенного вентиляционного ходка, а также остаточные тектонические напряжения в зонах затухания разрывных геологических нарушений, можно утверждать, что 26 октября 2015 г., примерно в 11 ч, естественным образом

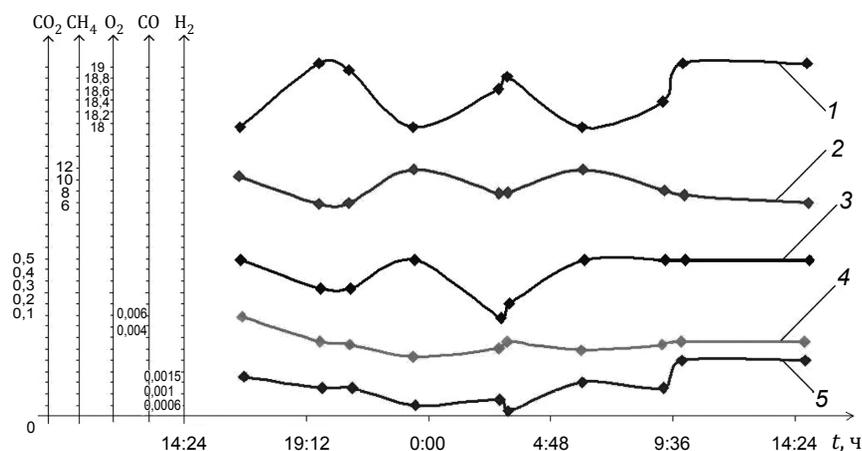


Рис. 4. Динамика изменения концентрации газов 26 и 27 октября 2015 г. во времени в вентиляционном ходке 1-й западной лавы перед обрушенными породами, %: 1 – O_2 ; 2 – CH_4 ; 3 – CO_2 ; 4 – $CO \cdot 10^3$; 5 – $H_2 \cdot 10^4$.

началась активизация сдвижений горных пород в кровле пласта l_3 . Это подтверждается увеличением содержания метана в вентиляционном ходке, зафиксированным датчиками контроля его содержания Д1И-151 и Д2И-151 (см. рис. 3), и в дегазационном газопроводе на ВНС № 2. Активизацию процесса сдвижений могло инициировать обрушение пород в незакрепленной, погашенной части вентиляционного ходка, а также в выработанном пространстве 1-й западной лавы в зонах геологических нарушений.

Остаточные тектонические напряжения в зонах затухания разрывных малоамплитудных геологических нарушений, после снижения прочности горных пород вследствие подработки, инициировали активизацию тектонических процессов в горном массиве, которые и вызвали внезапное интенсивное импульсное газовыделение из кровли пласта l_3 . Обрушения пород и активизация тектонических процессов проходили импульсами. Это отчетливо видно из динамики содержания метана в дегазационном газопроводе на ВНС № 2 и в исходящей струе вентиляционного ходка, зафиксированной датчиком контроля Д1И-151 (см. рис. 3).

Основной задачей при расследовании аварии было определение источника воспламенения метана. Поскольку лава отработана, выемочный участок изолирован перемычками со всех сторон и доступ людей к выработанному пространству закрыт, то технологические факторы инициирования взрыва исключены. Поэтому такие источники воспламенения метана, как взрывные и огневые работы, электрооборудование, головной светильник, фрикционное искрение, курение и электростатическое искрение в изолированном выработанном пространстве отработанной лавы, из которого извлечено все оборудование и электрические кабели, экспертная комиссия исключила.

В рассматриваемых условиях источником воспламенения метана могло быть самовозгорание угля, активные патроны изолирующих самоспасателей и трение песчаника о песчаник при обрушении пород. Во время отработки лав засбросовой части пласта l_3 утерь самоспасателей не было, что исключает этот источник. Если предположить, что метан воспламенился вследствие самовозгорания угля, тогда пожар в выработанном пространстве после первого взрыва должен был только усилиться вследствие повы-

шения доступа кислорода к очагу горения. При этом содержание кислорода в изолированном пространстве должно снижаться, а влажность и температура воздуха повышаться. Однако отсутствие задымленности, обычная для глубины 700 м температура рудничного воздуха ($28\text{ }^{\circ}\text{C}$), высокое содержание кислорода и стабильный темп снижения содержания оксида углерода в воздухе, поступающем из выработанного пространства после первого взрыва, а также допустимая его концентрация в исходящей струе вентиляционного ходка свидетельствовали об отсутствии пожара в изолированном выработанном пространстве до взрывов.

Учитывая непрогнозируемость процессов, происходящих в выработанном пространстве, и возможность самовозгорания угля в зонах геологических нарушений, было принято решение изолировать аварийный участок путем возведения взрывоустойчивых перемычек на безопасных расстояниях.

Работы по возведению взрывоустойчивых перемычек и изоляции аварийного участка были завершены к 18 ноября 2015 г. Дегазация аварийного участка была остановлена 27 ноября.

Систематические наблюдения за составом рудничной атмосферы за взрывоустойчивыми перемычками осуществлялись путем отбора проб газа из дегазационного газопровода один раз в месяц. Включали вакуум-насос и после 20-минутной прокачки газопровода в течение 10 мин отбирали три пробы газа. Результаты анализа проб газа приведены в таблице.

Анализ результатов наблюдений за составом рудничного газа в изолированном и выработанном пространстве 1-й западной лавы засбросовой части пласта l_3 показал, что в выработанном пространстве очаги пожара отсутствуют. Следовательно, возможное самовозгорание угля не являлось источником воспламенения метана при взрывах.

Известно [7–10], что при разработке газоносных угольных пластов, в кровлях которых залегают монолитные кварцевые песчаники, во время их обрушения возможны вспышки и выгорание газа.

На возможность воспламенения гремучего газа от трения породы о породу впервые указывалось еще Прусской комиссией по рудничному газу в 1887 г. В докладе этой комиссии обращалось внимание на опасность образо-

МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ

Дата	Содержание, %, в пробах газа				
	кислорода O ₂	метана CH ₄	углекислого газа CO ₂	оксида углерода CO	водорода H ₂
22.01.16 г.	2,0	81,0	2,3	0,0013	0,0053
	1,7	84,0	2,5	0,0014	0,0055
	2,1	83,0	2,3	0,0013	0,0057
09.02.16 г.	0,5	89,0	2,5	0,0009	0,0041
	2,1	84,0	2,0	0,0009	0,0042
	2,2	82,0	2,3	0,0009	0,0042
01.03.16 г.	1,2	86,0	1,9	0,0008	0,0038
	4,8	73,0	1,4	0,0008	0,0026
	3,4	77,0	1,7	0,0008	0,0030
15.03.16 г.	4,6	71,0	1,8	0,0010	0,0019
	3,2	78,0	1,8	0,0010	0,0019
	3,2	77,0	2,3	0,0010	0,0019
22.03.16 г.	3,6	74,5	2,3	0,0012	0,0021
	3,0	78,5	2,2	0,0012	0,0019
	4,1	72,5	2,0	0,0013	0,0020

вания большого количества тепла, возникающего вследствие трения при оседании кровли в выработанном пространстве или при внезапных обрушениях больших масс в ранее отработанных выработках. Один из первых взрывов, который был отнесен к воспламенению газа при обрушении пород, – взрыв, произошедший в ноябре 1896 г. в Великобритании на руднике «Маинди Пит».

Результаты исследований взрывов и выгораний газа в выработанных пространствах при обрушении пород кровли в шахтах Европы и США были обобщены в техническом отчете [10], в котором сделан вывод о том, что смесь метан–воздух может воспламеняться от искры, образующейся при трении песчаника о песчаник и аргиллита о песчаник.

Случаи выгораний и взрывов метана в выработанном пространстве при обрушении пород неоднократно происходили в период с 1952 по 1960 г. на шахтах № 6 «Капитальная» (16 случаев), им. Ленина (2 случая) и № 2 «Капитальная» в Кизеловском угольном бассейне при отработке угольного пласта № 13, кровля которого представлена кварцевыми песчаниками. На шахте № 6 «Капитальная» при отработке лав № 315, 317 и 318^в в 1952 г. произошло 9 взрывов метана в выработанном пространстве, по 3 взрыва в каждой из лав [7–9]. Угольный пласт № 13 мощностью 2,3–2,5 м, на отдельных участках до 3,5 м на шахтах обрабатывался длинными столбами по про-

стиранию при возвратноточной схеме проветривания типа 1-М и полным обрушением кровли.

В основном все взрывы, вспышки и выгорания метана отмечались при обрушении основной кровли в выработанном пространстве на расстоянии 30–180 м от очистного забоя в верхней части лав [7, 9]. Они сопровождалась выбросом пламени и продуктов горения в рабочее пространство верхней части лав и в вентиляционный штрек. Применение полной или частичной закладки выработанного пространства позволило полностью предотвратить опасность воспламенения метана при обрушении пород в лавах, обрабатывающих угольный пласт № 13.

Исследования, проведенные в ВостНИИ на специальном стенде, показали, что при трении песчаника о песчаник может воспламеняться метановоздушная смесь. Установлено, что наименьший путь трения песчаника о песчаник до воспламенения метановоздушной смеси с содержанием метана 7 % составляет 2,7 м при контактном давлении 1,3–1,5 МПа [7, 9].

В кровле угольного пласта l_3 на расстоянии 18–20 м залегает крепкий кварцевый песчаник l_4Sl_5 мощностью до 15 м. Песчаник залегает на границе зоны беспорядочного обрушения и зоны интенсивной трещиноватости.

При активизации тектонических процессов в выработанном пространстве, вызвавших внезапное интенсивное импульсное газовыделение, могло произойти трение песчаника о песчаник

по плоскостям сместителей разрывных геологических нарушений, что и явилось источником воспламенения метана в изолированном выработанном пространстве 1-й западной лавы 26 октября 2015 г. Учитывая, что тектонические процессы протекали импульсами, источником воспламенения метана в изолированном выработанном пространстве 1-й западной лавы 27 октября 2015 г. в 17 ч 55 мин также было фрикционное трение песчаника о песчаник в зонах малоамплитудных геологических нарушений при активизации тектонических процессов.

Для безопасного ведения работ в дальнейшем для шахты ГП «УК «Шахта Краснолиманская» можно рекомендовать следующее.

1. В засбросовой части пласта l_3 необходимо выполнять изоляцию отработанных и остановленных выемочных участков взрывоустойчивыми перемычками в течение не более двух месяцев после прекращения очистных работ в соответствии с требованиями действующих нормативно-правовых документов по охране труда и утвержденных главным инженером дополнительно разработанных мероприятий по безопасному ведению работ.

2. Необходимо осуществлять дегазацию изолированных выработанных пространств отработанных выемочных участков по специальным проектам согласно требованиям Правил безопасности [1].

3. Рассмотреть возможность изыскания новых проектных решений по изоляции отработанного выемочного участка 1-й западной лавы засбросовой части пласта l_3 , в частности рассмотреть вопросы изоляции сечения ствола № 1 быстромонтируемыми и легкоразбираемыми эластичными гидроэлементами.

4. Рекомендовать Министерству энергетики и угольной промышленности Украины рассмотреть возможность доработки и издания в установленном порядке новой редакции нормативного документа «Дегазация угольных шахт. Правила безопасной эксплуатации дегазационных систем».

Выводы. Причиной аварии и группового несчастного случая явилась активизация тектонических процессов в зонах малоамплитудных геологических нарушений, вызвавшая прогнозируемое внезапное интенсивное импульсное выделение метана в изолированное выработанное пространство 1-й западной лавы за-

сбросовой части пласта l_3 и взрывы метановоздушной смеси в изолированном выработанном пространстве отработанной 1-й западной лавы засбросовой части пласта l_3 , произошедшие 26 октября 2015 г. в 13 ч 50 мин и 27 октября 2015 г. в 17 ч 55 мин.

Активизацию тектонических процессов инициировало обрушение пород в незакрепленном изолированном пространстве погашенной части вентиляционного ходка и выработанном пространстве 1-й западной лавы засбросовой части пласта l_3 в зонах геологических нарушений.

Источник воспламенения метана 26 и 27 октября 2015 г. – фрикционное трение песчаника о песчаник в зонах геологических нарушений во время активизации тектонических процессов в изолированном выработанном пространстве 1-й западной лавы засбросовой части пласта l_3 .

ЛИТЕРАТУРА

1. *Правила безопасности в угольных шахтах.* – К.: Основа, 2010. – 218 с.
2. *Семенов А. П.* Метановыделение из остановленных участков и ликвидируемых шахт / А. П. Семенов, С. Я. Петренко, О. И. Касимов, В. Н. Кочерга // *Уголь Украины.* – 2001. – № 2-3. – С. 24-27.
3. *Челенко А. В.* Газовыделение из выработанных пространств в остановленных лавах / А. В. Челенко // *Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело:* реф. сб. – М.: ЦНИЭИуголь, 1973. – № 7. – С. 13-14.
4. *Брюханов А. М.* Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах / [А. М. Брюханов, В. И. Бережинский, К. К. Бусыгин и др.]. – Донецк: НОРД-ПРЕСС, 2004. – Ч. 1. – 548 с.
5. *Минеев С. П.* Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко. – Донецк: Східний вид. дім, 2010. – 604 с.
6. *Минеев С. П.* Оценка импульсного метановыделения в зонах геологических нарушений при обрушении пород кровли / С. П. Минеев, В. Н. Кочерга, А. С. Янжула // *Уголь Украины.* – 2016. – № 1. – С. 11-18.
7. *Мясников А. А.* Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А. А. Мясников, С. П. Старков, В. И. Чикунов. – М.: Недра, 1985. – 205 с.
8. *Пашков И. Н.* Взрывы или выгорания метана в выработанном пространстве на шахтах Кизеловского угольного бассейна // *Уголь.* – 1954. – № 9. – С. 24-26.
9. *Вологодский В. А.* Исследование факторов, обуславливающих воспламенение метана при обрушении пород в Кизеловском бассейне / В. А. Вологодский, В. К. Лазаревич // *Вопросы безопасности в угольных шахтах.* – М.: Недра, 1964. – С. 52-57.
10. *Frictional ignition of gas during roof fall* // *Mining Equipment.* – 1960. – № 5. – P. 31-34.