

УДК 622.83

© А.М. Ермолаев, 2017

А.М. ЕРМОЛАЕВд-р техн. наук,
научный консультант
АО «НЦ ВостНИИ»,
г. Кемерово

СЛОЕВЫЕ И МЕСТНЫЕ СКОПЛЕНИЯ МЕТАНА В ТУПИКОВЫХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Рассмотрены явления слоевых скоплений метана в подготовительных выработках в момент их проведения. Подтверждается серьезная опасность появления больших объемов скоплений метана, что может явиться причиной взрывов. Представлены технические средства и способы борьбы со слоевыми скоплениями в выработках угольных шахт.

Ключевые слова: МЕТАН, ТУПИКОВАЯ ВЫРАБОТКА, СЛОЕВЫЕ СКОПЛЕНИЯ МЕТАНА, ШЛАНГОВЫЙ ОТВОД ВОЗДУХА, СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРУБ, ПЕРЕГОРОДКА ПОПЕРЕЧНАЯ И ПРОДОЛЬНАЯ, НАКЛОННЫЕ ЩИТКИ.

Слоевое скопление — скопление газовой смеси (с относительно высоким содержанием газа) в виде слоя вдоль кровли или почвы выработки, длина которого значительно (в 5 раз и более) превосходит его толщину. Наиболее часто наблюдаются слоевые скопления метана у кровли выработок. Реже встречаются слоевые скопления углекислого газа у почвы. Содержание метана в слоевых скоплениях может достигать 100 %, а их толщина — 70 см. Протяженность таких скоплений вдоль выработки может превышать 250 м. В таких условиях ведение взрывных работ или нарушение взрывобезопасности машин и механизмов могут привести к взрыву. Скопление тяжелых газов у почвы выработки вызывает опасность отравления или удушья рабочих. Опасность усугубляется тем, что слои не всегда обнаруживаются, так как часто среднее содержание газа в исходящей из выработок струе находится в пределах нормы.

Слоевые скопления могут образоваться при выделении газа из суфляров с обнаженной поверхности пласта и из отбитого угля в условиях высокой интенсивности газовыделения и малых скоростей движения воздуха. Это прежде всего призабойные участки тупи-

ковых выработок; выработки в зоне неустановившегося горного давления; места суфлярных выделений; места, где утечки воздуха из ставов вентиляционных труб недостаточны для разжижения выделяющегося метана на том же участке [1].

При образовании слоевых скоплений градиенты скорости уменьшаются, что приводит к ослаблению турбулентности в пределах слоя, уменьшению переноса газа от кровли в поток и к накоплению его у кровли.

Влияние угла наклона выработки и направления движения воздуха на развитие таких скоплений имеет сложный характер. Данный вопрос подлежит дальнейшему изучению. Слоевые скопления метана чаще формируются в высоких выработках, так как при постоянном количестве воздуха градиенты скорости в направлении, перпендикулярном кровле, в высоких выработках меньше, чем в более низких выработках. Увеличение шероховатости поверхности выработки способствует диффузии газа в потоке. Однако с увеличением шероховатости поверхности уменьшаются скорость воздушного потока вблизи нее и конвективный перенос газа вдоль потока. Последнее способствует ско-

плению газа у поверхности выработки. При самостоятельном движении слоя в наклонной выработке (под действием разности удельных весов) в случае увеличения шероховатости поверхности уменьшается скорость движения слоя. Это способствует уменьшению скорости его движения относительно основного воздушного потока при их встречном движении, а также при попутном движении в случае малой скорости движения воздуха, что в итоге затрудняет диффузию. В результате этого эпюры концентрации газа при наличии слоевого скопления имеют вид, представленный на рис. 1 [1].

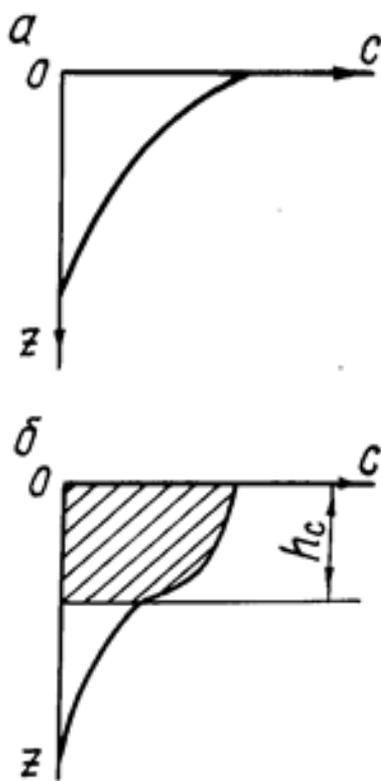


Рис. 1. График распределения концентрации C легкого газа в поперечном сечении выработки: а — при интенсивной диффузии газа в поток; б — при слоевом скоплении газа; h_c — толщина слоевого скопления газа

Не следует смешивать понятие слоевого скопления газа с более общим понятием слоевого загазования выработки. Под последним понимается протяженный участок у кровли выработки, в пределах которого содержание газа превышает допустимую концентрацию.

Предполагается, что слоевые скопления метана существовали с тех пор, как метан появился в шахте. Однако идентификация и начало их изучения относятся к середине 30-х гг. 19 в. Первые эксперименты по изучению метановых слоев были проведены Г.Ф. Ковардом, который изучал это явление как в натуральных условиях, так и в лаборатории. Значительные исследования слоевых скоплений были выполнены начиная с конца 50 — начала 60-х годов в СССР (А.Л. Сурков, В.Н. Сатаров, Н.М. Кошелев, А.И. Бобров, М.А. Фролов, А.М. Кириченко, В.Г. Клочков, А.М. Устинов) и Великобритании (Т.Х. Элисон, Д.С. Тернер, Е.Дж. Рейн, П. Бэкке, С.Дж. Лич). Имеются описания слоевых скоплений метана на зарубежных шахтах (Великобритании, Германии, Болгарии), характер которых такой же, как и на шахтах нашей страны [2].

Исследованиями установлено, что характерной особенностью слоевых скоплений является затруднение газопереноса как внутри слоя, так и между слоем и основным потоком. Последнее является главным фактором, обеспечивающим накопление газа в пределах слоя. Поэтому слоевое скопление газа можно определить как более или менее протяженную газовую зону, характеризующуюся ослаблением процессов газопереноса как внутри скопления, так и между скоплением и основным потоком. Для того чтобы скопление газа стало слоевым с присущими ему характеристиками, оно должно быть развитым, т. е. иметь достаточную длину, например, не менее одного диаметра выработки [2]. Слоеобразование является одной из форм протекания газодинамических процессов в шахтах. Движение слоя и газоперенос в нем могут быть получены совместным решением уравнения движения, диффузии и неразрывности при соответствующих граничных условиях. Слоевое скопление обычно формируется активными газами.

Слоевые скопления метана — весьма опасное явление, так как в них может содержаться значительное количество метана, часть которого имеет обычно взрывоопасную концентрацию. Концентрация метана в слоях, как правило, превышает предельно допусти-

мое значение. Толщина слоев нередко составляет десятки сантиметров, достигая 50–70 см и более, а их длина — 300 м. Опасность слоевого скопления усугубляется трудностью его определения: даже при наличии в выработке мощного слоевого скопления средняя концентрация на выходе из нее, как правило, остается в допустимых пределах. При определении слоевого скопления метана необходимо производить большое количество измерений концентрации метана по длине выработки в подкровельном пространстве, что трудоемко и связано с техническими трудностями.

Главным направлением борьбы со слоевыми скоплениями газа является увеличение скорости движения воздуха. В литературных источниках [3] утверждается, что слоевые скопления метана отсутствуют при средней (по поперечному сечению выработки) скорости движения воздуха, равной 0,5–1 м/с. Это утверждение нельзя считать объективным и бесспорным для всех без исключения условий.

К.З. Ушаков в работе [4] приводит многочисленные примеры слоевых скоплений метана как в России (Кузбассе), так и за рубежом. Многочисленные наблюдения слоевых скоплений метана в шахтах показывают, что они образуются как от сосредоточенных источников метана типа суфляров, повышенных газовыделений у мест геологических нарушений и т. п., так и от обыкновенного интенсивного газовыделения с обнаженных горных пород. Слоевые скопления от сосредоточенных источников встречаются наиболее часто, имеют постоянное место расположения и начинаются у источника. Все исследователи связывают слоевые скопления со скоростью воздушного потока внутри выработки. Имеются случаи слоевых скоплений при средних скоростях потоков 0,7; 0,8 м/с [2] и даже при 1,5 м/с [4].

Технические и организационные средства, применяемые для борьбы со слоевыми и местными скоплениями метана

Авторы работ [4,5] считают, что в случае невозможности или нецелесообразности

увеличения скорости движения воздуха или применения дегазации можно использовать взвихривающие воздухопроводы местного проветривания или воздухопроводы сжатого воздуха. Из воздухопровода через специальные отверстия, расположенные на определенном расстоянии одно от другого по длине, выпускается сжатый воздух в виде обычных или закрученных свободных струй (рис. 2). Последние взвихривают, частично разбавляют и удаляют газ из слоевого скопления.

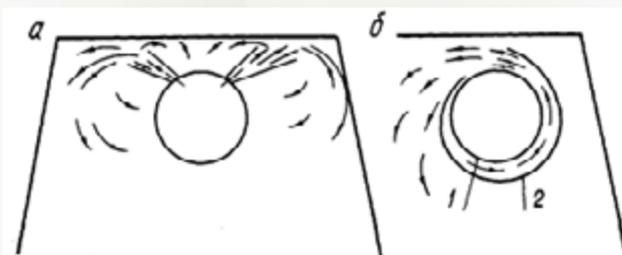


Рис. 2. Схемы использования взвихривающих воздухопроводов для ликвидации слоевых скоплений газа: а, б — выпуск сжатого воздуха в виде обычных и закрученных свободных струй соответственно; 1 — воздухопровод; 2 — спиральный кожух

Для борьбы со слоевыми скоплениями газа используют также легкие перемычки (рис. 3), перекрывающие нижнюю часть выработки и вызывающие увеличение скорости воздушного потока вследствие его поджатия, что способствует выдуванию газа слоевого скопления. Достоинство таких перемычек — простота конструкции и быстрота возведения. Недостаток перемычек — небольшая зона действия по длине выработки. Кроме того, перемычки вызывают увеличение сопротивления выработки и уменьшение в ней расхода воздуха, а также мешают и затрудняют транспорт по выработке, и поэтому в некоторых выработках они просто неприемлемы [1].

Для ликвидации слоевых скоплений газа можно применять наклонные щитки, направляющие часть воздушного потока к кровле.

При больших дебитах газа по рекомендациям МакНИИ можно использовать аку-

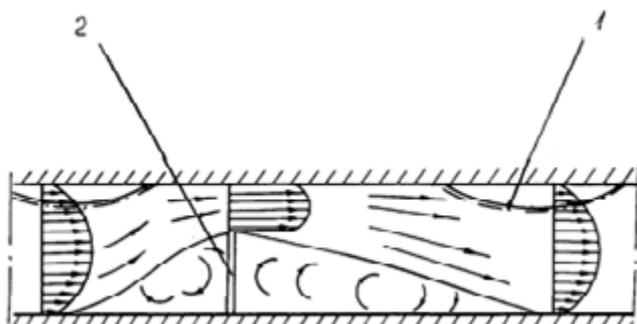


Рис. 3. Схема устройства перемычки для ликвидации слоевого скопления газа: 1 — слоевое скопление газа; 2 — перемычка

стические сирены или специальные установки местного проветривания, нагнетающие воздух в направлении воздушного потока в выработке, для чего устраивают продольные перегородки вдоль кровли. Пространство между кровлей и перегородкой проветривается вентилятором местного проветривания (рис. 4).

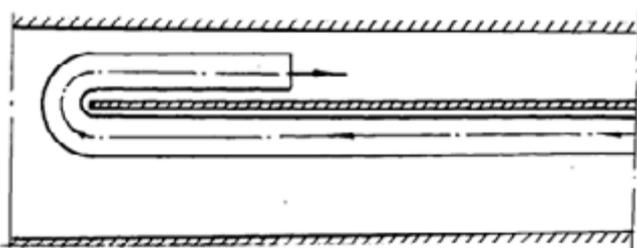


Рис. 4. Схема применения продольной перегородки для ликвидации слоевого скопления газа

В работе [6] исследовано явление образования дымовых колец (кольцевых вихрей), которое рекомендовано для повышения эффективности проветривания камерообразных и тупиковых выработок за счет увеличения дальности вентиляционной струи и скорости потока воздуха, выбрасываемого дискретными порциями. Из исследований выявлено, что вихрь относит порции воздуха на значительно большее расстояние, чем непрерывный поток. Важным параметром, характеризующим условия движения кольцевого вихря, является темп затухания его скорости. Расстояние $L(t)$, м, которое проходит вихрь за время t (отсчет начинается после того, как кольцо сформировалось, т. е. на расстоянии

нескольких диаметров от отверстия); текущая скорость движения кольца V , м/с определяются автомодельным решением системы уравнений Гельмгольца:

$$L(t) = R_0/L_0[(1 + 4\alpha V_0 t/R_0)^{1/4} - 1]; R(t) = R_0 + \alpha L(t). \quad (1)$$

Основным параметром, определяющим относительную скорость движения кольцевого вихря, является коэффициент α_0 . С его уменьшением устойчивость вихря увеличивается, и затухание скорости происходит медленнее. В результате экспериментальных исследований, проведенных в Институте гидродинамики СО РАН СССР, установлена зависимость этого коэффициента от параметров генератора вихрей (рис. 5) [1].

Здесь через R обозначен диаметр отверстия генератора вихрей, через l — длина выталкиваемого вихрем объема. При $l/2R \leq 2$ скорость вихря и пройденное им расстояние малы. При дальнейшем увеличении этого параметра вихрь приобретает большую устойчивость и медленнее затухает.

При $l/2R > 5$ часть выталкиваемого вихрем объема уже не входит в этот объем, а рассеивается на небольшом расстоянии от генератора, скорость самого вихря довольно быстро затухает. Таким образом, оптимальный объем кольцевого вихря V_k находится в пределах $4\pi R^3 < V_k < 8\pi R^3$.

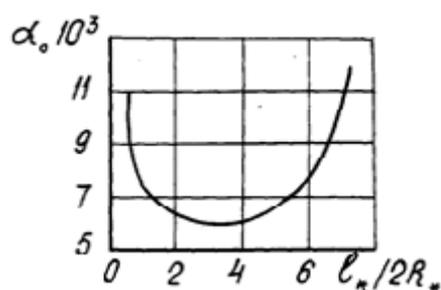


Рис. 5. Зависимость коэффициента α_0 от параметров генератора вихрей

Авторы [7] отмечают некоторые негативные свойства кольцевых вихрей в отношении использования их для повышения эффективности проветривания выработок.

1. Эксперименты В.Ф. Тарасова показали, что несмотря на высокую устойчивость, коль-

цевой вихрь достаточно интенсивно обменивается массой с окружающей средой. Пройдя расстояние $80R_0$, он практически полностью замещается воздухом, находящимся в окружающей атмосфере, но сохраняет массу. Однако, по мнению авторов [7], эта, казалось бы, отрицательная особенность вихря практически не влияет на его способность к разбавлению местных скоплений метана, потому что скопления расположены локально, например, под кровлей выработки, в то время как концентрация метана в основном потоке не велика, и кольцевой вихрь вносит в скопления метана порции воздуха, загазованного до концентрации основного потока. Авторы упускают возможность изъятия части свежего воздуха для вихревого потока из става вентиляционных труб, где содержание метана не должно достигать 0,5 %

2. При распространении вихря в стесненном объеме, например, в горной выработке, кольцевой вихрь может прилипать к ее стенкам, почве, кровле (рис. 6).

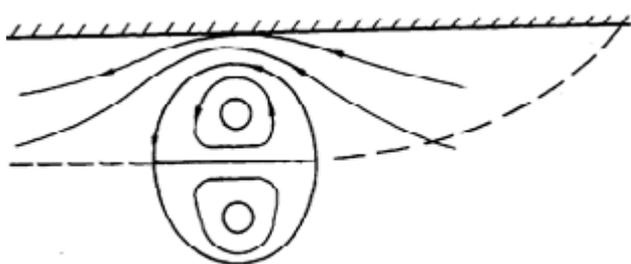


Рис.6. Схема прилипания кольцевого вихря к стенке

Эту особенность можно объяснить следующим образом. Обтекание вихря встречным потоком (линии тока рассматриваются в системе координат, движущейся с вихрем) под влиянием стенки приводит к сужению встречного потока, увеличению скорости в области сужения и, следовательно, снижению давления в этой области. Поэтому вихрь начинает перемещаться в сторону меньшего давления, т. е. по направлению к стенке и, наконец, как бы прилипает к ней. Эту особенность кольцевого вихря авторы пытаются исключить, располагая генератор таким образом, чтобы он находился вблизи области скопления метана, или рассчитав траекторию вихря [1].

По нашему мнению, если прилипание вихря из свежего воздуха произойдет к кровле выработки, следовательно произойдет замещение скопления метана вихрем из свежего воздуха. Метан будет вытеснен из мест скопления, включен в исходящую струю, и цель борьбы со слоевыми скоплениями будет достигнута.

Из опыта борьбы со слоевыми скоплениями средствами вентиляции

При проходке западного вентиляционного квершлага на шахте «Абашевская» ПО «Кузнецкуголь» были встречены серьезные затруднения, связанные со слоевыми скоплениями метана. Западный вентиляционный квершлаг гор.+135 м, проводимый с применением буровзрывных работ, сечением в свет $15,4 \text{ м}^2$, крепление арочное из спецпрофиля А-2-9, проветривался вентилятором ВМ-6 с диаметром вентиляционных труб 600 мм. Квершлаг был засечен с откаточного штрека пласта 15, с проектной длиной 1500 м. После трех месяцев работы, с устоявшимися темпами проходки (до 80 м в месяц), при удалении забоя от устья более 200 м в кровле квершлага обнаружили метан концентрацией свыше 2 %. В дальнейшем из-за обильного притока метана из трещиноватых песчаников и безуспешной борьбы со слоевыми скоплениями метана технология проветривания квершлага претерпела следующие изменения:

Первая стадия — в вентиляционный став был установлен второй вентилятор ВМ-6.

Вторая стадия — в квершлаг проложен третий став вентиляционных труб диаметром 600 мм со сдвоенными вентиляторами ВМ-6.

Третья стадия — все щели между железобетонными затяжками промазаны, а пустоты между затяжками и породой затрамбованы глиной.

Четвертая стадия — установлен третий став вентиляционных труб со спаренными вентиляторами.

Пятая стадия — модификация установки трех ставов вентиляционных труб.

Шестая стадия — применение ограждающей дегазации [1].

В квершлагах велись регулярные замеры метана. Для замера метана у кровли квершлага применялась предложенная автором измерная рейка (рис. 7).

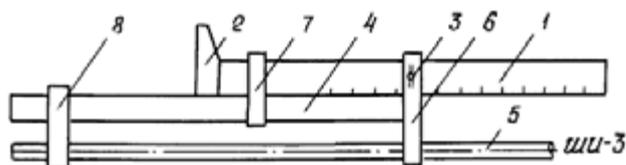


Рис. 7. Рейка для замера метана у кровли в высоких выработках: 1 — рейка с сантиметровой шкалой; 2 — упор; 3 — гайка-барашка; 4 — рейка подвижная; 5 — шланг; 6, 7, 8 — хомуты

Замер метана с помощью рейки производится следующим образом. Неподвижная рейка 1 упором 2 упирается в верхняк крепи. Освободив гайку-барашку 3, выдвигают подвижную рейку 4 до необходимой точки замера метана. Шланг 5 продувают и затем одевают на штуцер газоанализатора ШИ-3 или ШИ-12, и грушей последнего производят забор воздуха. Следует отметить, что число прокачиваний грушей прибора должно быть увеличено до 10–15 циклов. Хомут 6 закреплен на подвижной рейке 4 и имеет возможность скользить вдоль рейки 1. Хомут 7 закреплен на рейке 1, а внутри ее скользит рейка 4. С помощью хомута 8 резиновый шланг 5 крепится к подвижной рейке. Рейка позволяет производить многочисленные замеры метана в различных точках в высоких выработках без лишних усилий [1].

На первой стадии проветривания в забой подавалось до $6 \text{ м}^3/\text{с}$ воздуха. Скорость исходящей струи из выработки составляла $0,4 \text{ м/с}$. Содержание метана в исходящей струе было в пределах нормы ($0,7\text{--}0,8 \%$). Максимальная концентрация метана у поверхности выработки составляла 6% , замеры, произведенные через щели между затяжками, показали, что концентрация метана в пустотах за затяжками достигает $10\text{--}12 \%$.

На второй стадии (при установке второго вентиляционного става и второго каскада вентиляторов) улучшилось проветривание

призобойной части, изменений в положении дел со слоевыми скоплениями по длине выработки не произошло, хотя скорость исходящего потока в средней части достигла $0,8 \text{ м/с}$.

Промазка щелей вызвала возмущение со стороны рабочих-исполнителей, работы по промазке не были завершены по всему периметру и, естественно, не дали заметных результатов.

На четвертой стадии установка третьего става вентиляционных труб с каскадом сдвоенных вентиляторов привела к увеличению скорости исходящей из выработки струи в среднем сечении до $1,5 \text{ м/с}$, а также к увеличению концентрации метана в верхней части до 8% , толщина слоевого скопления метана в выработке увеличилась на $3\text{--}5 \text{ см}$, слой опустился ниже. Это связано с тем, что сами ставы вентиляционных труб перекрыли верхнюю часть и создали застойную зону, где отсутствовала циркуляция и обмен воздуха. Последнее вызвало необходимость произвести модификацию, которая заключалась в следующем:

1. Ставы расположили в вертикальной плоскости с одной стороны выработки (рис. 8).

2. В вентиляционных трубах верхнего става прорезали отверстия для выпуска воздуха (позиция 1 на рис. 8).

Наблюдения показали, что метан непосредственно в межрамном пространстве крепи над отверстием рассеивается, выталкиваясь в обе стороны как по ходу вентиляционной струи, так и против хода струи. По ходу вентиляционной струи концентрация метана снижается на $2\text{--}3$ -межрамных пролета, а против хода концентрация повышается [1].



Рис. 8. Схема расположения вентиляционных труб при пятой стадии проветривания

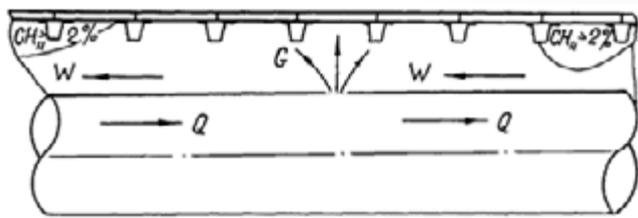


Рис. 9. Схема проветривания с отверстиями в верхней трубе

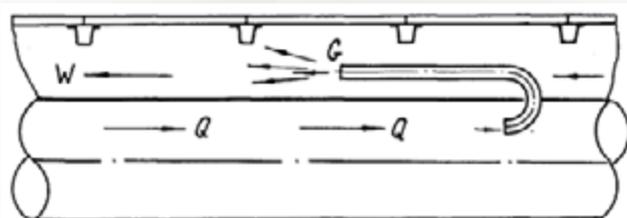


Рис. 10. Схема проветривания со шланговым отводом воздуха

Это явление подсказало следующее усовершенствование: в отверстие трубы вставляли резиновый шланг диаметром 2 дюйма, длиной 1,5–2 м, и струя направлялась по ходу исходящей (рис. 10).

Все описанные действия мало повлияли на слоевые скопления метана. Работа по проходке в квершлагае проходила не гладко, темп данной работы заметно упал, что в свою очередь привело к использованию ограждающей дегазации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолаев А.М. Обоснование способов и средств эффективного проветривания тупиковых выработок угольных шахт: дис. на соиск. учен. степ. докт. технич. наук. — Кемерово, 2004. — 317 с.
2. Бобров А.И. Местные скопления метана в подготовительных выработках угольных шахт / А.И. Бобров, В.М. Шейко, Э.Н. Теличко. — Донецк: Донбасс, 1972.
- 3 Ермолаев А.М. Из опыта борьбы со слоевыми скоплениями метана при проходке подготовительных выработок // Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (Кемерово, КузГТУ, 22–23 нояб. 2017 г.). — Кемерово, 2000.
4. Лудзиш В.С. Разработка и научное обоснование технических и технологических решений повышения промышленной безопасности на угольных шахтах: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук. — Кемерово, 2000. — 20 с.
5. Ушаков К.З. Аэромеханика вентиляционных потоков в горных выработках. — М.: Недра, 1975. — 248 с.
6. Ушаков К.З. Рудничная аэрология / К.З. Ушаков, А.С. Бурчаков, И.И. Медведев. — М.: Недра, 1981. — 440 с.
7. Ушаков К.З. Аэрология горных предприятий / К.З. Ушаков, А.С. Бурчаков, Л.А. Пучков, И.И. Медведев. — М.: Недра, 1987. — 421 с.

UDC 622.83

© А.М. Ermolaev, 2017

А.М. Ermolaev

Doctor of Technical Sciences,
Scientific Consultant
JSC «NC VostNII», Kemerovo

LAYERING AND LOCAL METHANE ACCUMULATIONS IN DEADEND DEVELOPMENT HEADINGS

Methane layering accumulation occurrences during preliminary development are reviewed. The significant risk of methane accumulation high volume occurrence, which can cause explosions, is proved. Technical means and ways of protection from layered accumulations in mine opening are presented.

Key words: METHAN, BLIND WORKINGS, METHANE LAYERING ACCUMULATION, HOSE AIR EXHAUST, FAN PIPE LOCATION PATTERN, TRANSVERSE PARTITIONS, LINE BRATTICE, INCLINED SHIELDS.

REFERENCES

1. Ermolaev A.M. Obosnovanie sposobov i sredstv effektivnogo provetrivaniya tupikovykh vyrabotok ugolnykh shakht: dis. na soisk. uchen. step. dokt. tekhnich. nauk (The substantiation of effective ways and means for deadend development headings ventilation: in candidacy for a doc. degree). Kemerovo, 2004. 317 p.
2. Bobrov A.I. Mestnye skopleniya metana v podgotovitelnykh vyrabotkakh ugolnykh shakht (Local methane accumulation in coal mines preliminary development) / A.I. Bobrov, V.M. Sheyko, E.H.N. Telichko. Donetsk: Donbass, 1972.
3. Ermolaev A.M. Iz opyta bor'by so sloevymi skopleniyami metana pri prokhodke podgotovitelnykh vyrabotok (From the experience of protection methane layering accumulation during roadway development) // Bezopasnost' zhiznedeyatelnosti predpriyatiy v ugolnykh regionakh: Materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kemerovo, KuzGTU, 22–23 noyab. 2017 g.). Kemerovo, 2000.
4. Ludzish V.S. Razrabotka i nauchnoe obosnovanie tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh resheniy povysheniya promyshlennoy bezopasnosti na ugolnykh shakhtakh: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. d-ra tekhn. nauk (Development and scientific substantiation of technical and technological solutions for industrial safety improving in coal mines: Thesis... Doctor of Technical Sciences). Kemerovo, 2000. 20 p.
5. Ushakov K.Z. Aehromekhanika ventilyatsionnykh potokov v gornykh vyrabotkakh (Aeromechanics of ventilation flows in mine workings). M.: Nedra, 1975. 248 p.
6. Ushakov K.Z. Rudnichnaya aehrologiya (Mining aerology) / K.Z. Ushakov, A.S. Burchakov, I.I. Medvedev. M.: Nedra, 1981. 440 p.
7. Ushakov K.Z. Aehrologiya gornykh predpriyatiy (Mining enterprises aerology) / K.Z. Ushakov, A.S. Burchakov, L.A. Puchkov, I.I. Medvedev. M.: Nedra, 1987. 421 p.