

УДК 622.83

© А.М. Ермолаев, 2018

А.М. ЕРМОЛАЕВ

д-р техн. наук,
научный консультант
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово



ВОПРОСЫ БОРЬБЫ СО СЛОЕВЫМИ И МЕСТНЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ МЕТАНА В ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТКАХ

В статье указаны условия неизбежного загазирования тупиковых подготовительных выработок за счет утечек воздуха с шахтных вентиляционных труб. Рассмотрены частные случаи определения необходимых утечек воздуха в тупиковых подготовительных выработках, проветриваемых вентиляторами местного проветривания через ставы шахтных гибких вентиляционных труб, с целью предупреждения слоевых и местных скоплений метана на отдельных участках подготовительных тупиковых выработок. Доказана необходимость конструирования соединений вентиляционных труб с элементами и средствами отвода свежего воздуха из верхней части вентиляционного става для борьбы со скоплениями метана.

Ключевые слова: СЛОЕВЫЕ И МЕСТНЫЕ СКОПЛЕНИЯ МЕТАНА, ТУПИКОВАЯ ВЫРАБОТКА, УТЕЧКИ ВОЗДУХА, ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ТРУБЫ.

Способы борьбы с неизбежными (гарантированными) скоплениями метана

В работе [1] были отмечены факторы, влияющие на процесс образования слоевого скопления метана в подготовительной выработке, описанные многими исследователями.

Один из немаловажных факторов описан не в полной мере. В связи с этим следует обратить внимание на фактор, влияющий на образование слоевых скоплений метана по длине подготовительной выработки, — это интенсивность и объем газовыделения в тупиковой части забоя.

Известно, что в забой тупиковой выработки подается расчетное количество воздуха Q_{sp} , определяемое по пяти факторам: максимальное количество работающих в забое людей, количество взрывающегося взрывчатого вещества (ВВ), газовыделение, минимальная скорость и тепловой фактор.

Особое место в дальнейшем при рассмо-

трении слоевых скоплений метана будет иметь тот случай, когда расчетное количество воздуха, подаваемого в забой, определяется по газовыделению. Хотя рассматриваемое явление может иметь место и в тех случаях, когда Q_{sp} выбрано по другим факторам (по максимальному числу людей в забое или по количеству взрывающегося ВВ).

1. Рассмотрим случай, когда расчетное количество подаваемого в забой воздуха Q_{sp} определено по газовыделению. В данном случае Q_{sp} определяется по ранее рассмотренному выражению

$$Q_{sp} = 100 I_{sp} / (c - c_0). \quad (1)$$

В забой тупиковой выработки подается такое количество воздуха, чтобы концентрация метана не превышала допустимого предела по правилам безопасности (т. е. 1 %) [2]. В сечении выработки, где кончается трубопровод, подающий воздух в забой, воздух движется от забоя к устью, и его количество W_n равно количеству воздуха, подаваемого по вентиляционному ставу в забой Q_{sp} :

$$W_n = Q_{sp}. \quad (2)$$

Но Q_{sp} уже насыщено метаном в допустимых пределах, т. е. в нем уже содержится 1 % метана. Значит и в исходящей от забоя струе W_n , движущейся по выработке, концентрация метана достигает предельно допустимой величины (1 %). В свою очередь, в тупиковой выработке по ее длине в направлении от забоя к устью имеются разнообразные источники, которые выделяют метан в определенном объеме Q_m . Кроме того, по тупиковой выработке движется отбитая разрыхленная горная масса, которая также выделяет определенное количество метана Q_{ot} .

Суммарное дополнительно выделившееся количество метана ΣQ определится выражением

$$\Sigma Q = Q_m + Q_{ot} . \quad (3)$$

Это количество метана в смеси с движущейся по выработке исходящей вентиляционной струей W_n изменяет концентрацию метана c_i в ней, которую можно подсчитать по выражению

$$c_i = (\Sigma Q + c) / W_n . \quad (4)$$

Даже при незначительных величинах Q_m и Q_{ot} концентрация метана в произвольном сечении по длине подготовительной выработки c_i всегда больше концентрации метана c в вентиляционном потоке, исходящем из забоя:

$$c_i > c,$$

следовательно, всегда больше допустимых пределов (> 1 %):

$$c_i > 1 \% .$$

В выработке уже созданы условия, когда нельзя вести взрывные работы (в месте укрытия взрывника на расстоянии не менее 75 м от забоя концентрация метана выше 1 %). При несколько больших величинах суммарных притоков метана в выработке и в местах суфлярных и интенсивных выделений метана концентрация последнего достигает величин более 2 %, следовательно, выработка считается загазированной, и аппаратура газовой защиты выключает электроэнергию [3–4]. Работа машин и механизмов в тупиковом забое приостанавливается. И если к указанным условиям добавляются массообменные процессы отрицательного характера, то слоевое скопление в выработке неизбежно и га-

рантировано почти на 100 %. В таких случаях создаются фатальные (неизбежные) условия слоевого или местного скопления метана в опасных концентрациях.

2. Рассмотрим те случаи, когда расчетное количество воздуха Q_{sp} выбрано по другим факторам (по максимальному количеству работающих в забое или по количеству взрываемого ВВ), а в тупиковой выработке имеется газовыделение или поступающий к вентилятору вентиляционный поток содержит метан в допустимых пределах, т. е. до 0,5 %.

Здесь в исходящей от тупикового забоя вентиляционной струе концентрация метана c_i меньше допустимого предела (1 %):

$$c_i < 1 \%$$

и, следовательно, имеется определенный запас.

Величина запаса концентрации Δc_i определится из разности по выражению

$$\Delta c_i = 1 - c_i \% . \quad (5)$$

В пределах этой разности Δc_i определяется то суммарное выделение метана в выработку ΣQ , которое допустимо:

$$\Sigma Q \leq \Delta c_i W_i' . \quad (6)$$

Влияние утечек воздуха из става вентиляционных труб на возникновение и предупреждение скоплений метана

Выше мы рассматривали условия неизбежного загазирования тупиковой подготовительной выработки вблизи того места, где кончается труба, нагнетающая воздух в тупиковую часть забоя, без учета аэродинамики става вентиляционных труб (как бы без учета ее длины), которая имеет свои особенности. Одна из них заключается в том, что из става гибких шахтных вентиляционных труб по его длине и в соединениях отрезков имеются утечки свежего воздуха с концентрацией метана в них $c_0 \leq 0,5 \%$ или без них $c_0 = 0$.

К произвольному сечению i в подготовительном забое, отстоящем на расстоянии x от забоя, суммарные утечки воздуха из става U определяются следующим образом:

$$V = \sum_i^n A + \sum_i^n B \quad (7)$$

$$W_i^* = Q_{sp} + C_1 + C_{co2} \cdot N + \int_i^n f(x, t) dx + \sum_i^n A + \sum_i^n B. \quad (8)$$

Концентрация метана в исходящем потоке определяется по формуле

$$c_i = (C_1 + C_o + \int_i^n f(x, t) dx) | W_i^*, \quad (9)$$

Необходимым условием, чтобы в подготовительной выработке по ее длине не было слоевых или местных скоплений метана, является то, что концентрация метана c_i не должна быть больше 1 %:

$$c_i \leq 0,01,$$

т. е.

$$c_i = (C_1 + C_o + \int_i^n f(x, t) dx) | W_i^* \leq 0,01. \quad (10)$$

Рассмотрим случай, когда расчетное количество подаваемого в забой воздуха Q_{sp} определено по газовыделению, т. е. когда исходящая из забоя вентиляционная струя насыщена метаном до предела (1 %).

Для этого рассмотрим в i -ом сечении ее составляющие элементы. Вентиляционный поток в W_i^* определяется

$$W_i^* = W_i + \Delta W_i, \quad (11)$$

где W — количество воздуха, исходящее из забоя; ΔW_i — приращение вентиляционного потока за счет газовыделения по длине выработки из ее стен и транспортируемой по ней горной массы, а также утечек воздуха из става вентиляционных труб от конца трубы до i -го сечения.

Если

$$W_i = Q_{sp} + C + C_{co2} \cdot N, \quad (12)$$

и в ней концентрация метана равна предельно допустимой концентрации ($c_i = 1\%$), которая определяется по формуле

$$c_i = I_{sp} | 100 (c - c_o), \quad (13)$$

то количество метана в этой струе составит

$$C = 100 c_i. \quad (14)$$

В свою очередь, ΔW_i определится по формуле

$$\Delta W_i = \int_i^n f(x, t) dx + \sum_i^n A + \sum_i^n B. \quad (15)$$

Концентрация метана в приращенном вентиляционном потоке Δc_i определится по формуле

$$(16)$$

$$\Delta c_i = \int_i^n f(x, t) dx \left| \left(\int_i^n f(x, t) dx + \sum_i^n A + \sum_i^n B \right).$$

И чтобы не было загазирования, Δc_i не должно превышать 1 %:

$$\Delta c_i \leq 0,01.$$

Подставив вместо Δc_i ее значение (0,01) и освободившись от знаменателя, получим

$$0,01 \left(\int_i^n f(x, t) dx + \sum_i^n A + \sum_i^n B \right) = \int_i^n f(x, t) dx, \quad (17)$$

$$\left(\sum_i^n A + \sum_i^n B \right) = U. \quad (18)$$

Теперь, заменив сумму утечек U на просто утечки и перенеся последнее слагаемое из левой в правую часть уравнения, получим

$$0,01 U (\text{утечек}) = 0,99 \int f(x, t) dx, \quad (19)$$

а это значит, что:

$$0,01 \text{ утечек} = 0,99 \text{ газовыделения}.$$

Из (19) следует, что для того, чтобы по длине тупиковой подготовительной выработки не создавались условия загазирования (концентрация метана не превышала 1 %), прежде всего необходимо, чтобы газоприток со стен выработки и транспортируемой горной массы не превышал сотую часть общих утечек воздуха из става вентиляционных труб на том же участке.

Расчет величин утечек воздуха из става вентиляционных труб для предупреждения скоплений метана

Ранее мы рассмотрели частные случаи определения необходимых величин утечек воздуха из става вентиляционных труб с целью предупреждения слоевых и местных скоплений метана на отдельных участках по длине тупиковой подготовительной выработки. Был рассмотрен тот случай, когда исходящая от забоя вентиляционная струя до предела насыщена метаном.

В тех же случаях, когда расчетное количество воздуха Q_{sp} , подаваемого в забой, определяется по максимальному числу людей или по количеству одновременно взрываемого ВВ, а также в тех случаях, когда исходящая из забоя воздушная струя имеет содержание метана

концентрацией менее 1 %, необходимый объем утечек воздуха из става вентиляционных труб U на один объем газа метана, поступающего со стен выработки и транспортируемой горной массы C_2 , определяется с учетом этой разницы:

$$U = 100 C_2 - Q_{sp} (1 - c1). \quad (20)$$

Выше указывалось, что C_2 определяется как интегральная сумма выделившегося метана на длине выработки от призабойной части до рассматриваемого сечения:

$$C_2 = \int f(x,t) dx. \quad (21)$$

Таким образом, с целью ликвидации условий слоевых и местных скоплений метана по длине выработки необходимо организовать и обеспечить утечки воздуха из става вентиляционных труб.

Следует отметить, что утечки из ткани вентиляционных труб имеют рассеянный характер, а с площадью трубы, расположенных ниже экватора трубы, мало влияют на слоевые и местные скопления и большей частью бесполезны, и с ними необходимо бороться. Рассеянные утечки из ткани трубы выше экватора и из швов, располагаемых вверху трубы, как-то влияют на разжижение метана в слоевых скоплениях, но их влияние малоэффективно. Это показал опыт, рассмотренный выше.

Утечки из соединений отрезков вентиляционных труб значительно превышают утечки из швов и из ткани (почти в 3 раза). Но при существующих соединениях они в основном происходят ниже экватора трубы и также мало влияют на разжижение слоевых скоплений. Из сказанного следует, что для борьбы со слоевыми скоплениями за счет выпуска свежего воздуха из става вентиляционных труб необходимо сконструировать такие соединения, при которых утечки в них ниже экватора были минимальными, а отвод воздушной струи производился в верхней части в сторону движения исходящей в виде пронзающих струй. Таким образом, создается острейшая необходимость изучить и проанализировать все конструкции соединений вентиляционных труб с целью разработки новых соединений с элементами и средствами отвода

свежего воздуха из вентиляционного става в верхней его части для борьбы со слоевыми и местными скоплениями метана в подготовительных выработках.

Вывод

1. Многочисленные наблюдения за слоевыми скоплениями метана в шахтах показывают, что они образуются как от сосредоточенных источников метана типа суфляров, повышенных газовыделений у мест геологических нарушений, так и от обыкновенного интенсивного газовыделения с обнаженных горных пород.

2. Технические и организационные средства, применяемые для борьбы со слоевыми скоплениями, направлены на повышение турбулизации и увеличение скорости воздушных потоков.

3. Условия и механизм возникновения слоевых и местных скоплений метана в подготовительной выработке, прежде всего, связаны с увеличением газовыделения в выработку, наличием сосредоточенных источников газовыделения, увеличением высоты выработки, уменьшением скорости движения воздушного потока, особенно у кровли, снижением скорости движения слоевого скопления относительно основного потока, общей загазованностью воздушного потока, наличием куполов в кровле и арочной формой поперечного сечения.

4. Условия слоевого и местного скопления метана с фатальной неизбежностью возникают в тех случаях, когда из забоя исходящая вентиляционная струя до предела насыщена метаном, а по длине выработки имеются дополнительные источники газовыделения, которые не разжижаются до допустимых пределов утечками из става вентиляционных труб.

5. Для отсутствия условий загазирования слоевыми и местными скоплениями метана по длине тупиковой выработки необходимо, чтобы утечки воздуха из става вентиляционных труб совместно с газовыделением со стен выработки и транспортируемой по ней горной массы превышали газоприток в 100 раз.

6. Расчет необходимых величин утечек воздуха из става вентиляционных труб для предупреждения слоевых и местных скоплений метана по длине тупиковой выработки основан на аэрогазодинамике тупиковой выработки.

7. Существующие соединения вентиляционных труб с большими рассеянными утечками воздуха малопригодны для борьбы со слоевыми и местными скоплениями метана вдоль подготовительной выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолаев А.М. Слоевые и местные скопления метана в тупиковых подготовительных выработках // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. — Кемерово, 2017. — № 4. — С. 33–39.

2. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах»: приказ Ростехнадзора от 19 нояб. 2013 г. № 550 (ред. от 8 авг. 2017 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по разгазированию горных выработок, расследованию, учету и предупреждению загазований»: приказ Ростехнадзора от 6 нояб. 2012 г. № 636 (ред. от 8 авг. 2017 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по контролю состава рудничного воздуха, определению газообильности и установлению категорий шахт по метану и/или диоксиду углерода»: приказ Ростехнадзора от 6 дек. 2012 г. № 704 (ред. от 8 авг. 2017 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

UDC 622.83

© А.М. Ermolaev, 2018

A.M. Ermolaev

Doctor of Engineering Sciences,

Scientific Consultant

JSC «NC VostNII», Kemerovo

PREVENTION OF METHANE LAYERING AND LOCAL ACCUMULATIONS IN DEAD-END HEADINGS

The article describes inevitable conditions at gaseousness of dead-end development headings because of ventilation loss in fan pipes. The article presents particular cases of determining the required volume of air leaks in dead-end development headings ventilating by booster fans with collapsible air ducts through ventilation columns in order to methane layering and local accumulations prevention in particular areas of dead-end development headings. The necessity of the fan pipes connection with elements and means for removing fresh air from the vent in its upper part to prevent methane accumulations is proved.

Key words: LAYERING AND LOCAL METHANE ACCUMULATIONS DEADEND HEADINGS, VENTILATION LOSS, FAN PIPE.

REFERENCES

1. Ermolaev A.M. Sloevye i mestnye skopleniya metana v tupikovykh podgotovitelnykh vyrabotkakh (Layering and local methane accumulations in dead-end development headings). Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti = Bulletin of Scientific Centre VostNII for Industrial and Environmental Safety. 2017. № 4. pp. 33–39.

2. Ob utverzhdenii Federalnykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugolnykh shakhtakh»: prikaz Rostekhnadzora ot 19 noyab. 2013 g. № 550 (red. ot 8 avg. 2017 g.) (Safety Rules in the Coal Mines: Federal Norms and Regulations in the Field of Industrial Safety. Order of Federal Service for Environmental, Technological, and Nuclear Supervision № 550. November 19, 2013). Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy «KonsultantPlyus».

3. Ob utverzhdenii Federalnykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Instruktsiya po razgazirovaniyu gornyx vyrabotok, rassledovaniyu, uchetu i preduprezhdeniyu zagazirovaniyu»: prikaz Rostekhnadzora ot 6 noyab. 2012 g. № 636 (red. ot 8 avg. 2017 g.) (Instruction on degassing of mine workings, investigation, registration and prevention of mines gaseousness: Federal Norms and Regulations in the Field of Industrial Safety. Order of Federal Service for Environmental, Technological, and Nuclear Supervision № 636. November 06, 2012). Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy «KonsultantPlyus».

4. Ob utverzhdenii Federalnykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Instruktsiya po kontrolyu sostava rudnichnogo vozdukha, opredeleniyu gazoobil'nosti i ustanovleniyu kategoriy shakht po metanu i/ili dioukisdu ughleroda»: prikaz Rostekhnadzora ot 6 dek. 2012 g. № 704 (red. ot 8 avg. 2017 g.) (Instructions for controlling the mine air composition, estimation of volume of gas and establishing mines rating of methane and / or carbon dioxide hazard: Federal Norms and Regulations in the Field of Industrial Safety. Order of Federal Service for Environmental, Technological, and Nuclear Supervision № 704. December 06, 2012). Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy «KonsultantPlyus».