

УДК 622.411.33:622.831.322

Загазование тупиковых горных выработок после внезапных выбросов угля и газа

Выполнено математическое моделирование газовой выделения из частиц угля. Предложен метод расчета зоны формирования взрывоопасной среды при выбросах угля и газа в тупиковых горных выработках.

Загазованность горных выработок метаном после выбросов угля и газа представляет значительный интерес в связи с возможностью взрывов метановоздушной смеси при наличии источника воспламенения, что подтверждается неоднократно произошедшими авариями.

Чтобы получить полную картину о загазованности горных выработок после выбросов, обратимся к анализу материалов исследований выбросов угля и газа, зафиксированных в течение 10 лет на шахтах Донбасса, выполненному сотрудниками МакНИИ [1]. Анализ показал, что спустя 10 мин после выбросов концентрация метана в горных выработках с исходящей струей воздуха составляет 5 – 15 % и распространяется на расстояние 1700 м и более от очага. В отдельных случаях загазованными оказываются выработки вплоть до поверхности. При выбросах даже небольшого количества угля (40 – 60 т) взрывоопасная концентрация метана в забое сохраняется 6 – 7 ч.

Задача выделения газа при выбросах сводится к определению газовой выделения из кусков угля, отторгнутых от массива и выброшенных в горную выра-

ботку. Для решения такой задачи предложен ряд зависимостей [2 – 8], однако их нельзя использовать в расчете газовой выделения ни в процессе выброса, ни в начальный период после выброса. Объясняется это тем, что, применяя некоторые из них, можно рассчитать газовойделение только спустя несколько минут после начала разрушения угля, другие же требуют в каждом случае определить специальные параметры в натуральных или лабораторных условиях.

По мнению авторов книги [1], наиболее достоверным способом решения поставленной задачи является расчет газовой выделения с помощью автоматических пробоотборников газа. Известно, что десорбция метана из угля зависит от физико-химических свойств последнего, давления свободной фазы газа и температуры.

С возрастанием глубины разработки повышается температура пород, газовое давление и, как правило, газоносность пластов. Это приводит к увеличению составляющей свободного газа в угольных пластах, существенно влияющей на интенсивность роста концентраций метана в выработке во время протекания



В. Г. АГЕЕВ,
канд. техн. наук
(НИИГД «Респиратор»)



С. П. ГРЕКОВ,
доктор техн. наук
(НИИГД «Респиратор»)



И. Н. ЗИНЧЕНКО,
канд. техн. наук
(НИИГД «Респиратор»)

и после выброса. Поэтому для выполнения экспериментов авторы книги [1] выбрали шахты, в которых угольные пласты расположены в зонах, опасных по выбросам угля, породы и газа, высокометаносные, имеющие высокие температуру и газовое давление. Согласно этим требованиям эксперименты выполнялись на пластах h_7 Смоляниновский, q_2 Наталья, k_3 Дерезовка. Во время экспериментов использовались автоматические пробоотборники МакНИИ [9]. Пробы воздуха отбирали на расстоянии 0,5 – 9,5 м от забоя в разных точках выработок через 0,06 – 25 с после выброса.

В результате экспериментальных работ на указанных пластах при 18 сотрясательных взрывах, сопровождавшихся выбросами угля и газа, было отобрано 116 проб рудничного воздуха. В результате получена зависимость нарастания концентрации метана в выработках в 2 – 9,5 м от места выброса. Полученные данные представляют несомненный интерес для расчета параметров метановыделения из частиц угля.

Для теоретического описания процесса выделения метана из угля воспользуемся математической моделью, приведенной в статье [10]. Анализ представленного в этой модели решения помещен в статье [11]. Решение имеет вид

$$Q(t) = Q_0 \left[1 - (\delta e^{-\mu t} - \mu e^{-\delta t}) / (\delta - \mu) \right], \quad (1)$$

где $Q(t)$ – количество метана, моль/м³, выделяющегося из частиц угля к моменту времени t , с;
 Q_0 – газоносность угля, моль/м³;

$$\delta = 6D/R^2; \quad (2)$$

D – коэффициент внутренней диффузии, м²/с;
 R – радиус частиц углей, м;
 μ – интенсивность выделения метана, с⁻¹.

С помощью этого решения можно описать процесс газовой выделения из частиц угля в широком диапазоне их свойств и времени истечения метана.

Выполненный в работе [11] анализ выражения (1) показал, что с достаточной для практических целей точностью можно пользоваться только первым членом в первых скобках. Это позволяет упростить выражение (1) до вида

$$Q(t) = Q_0 \left[1 - \delta e^{-\mu t} / (\delta - \mu) \right]. \quad (3)$$

В случае малых значений R (менее 0,002 м), что характерно для угля после выбросов, выражение (3) можно еще упростить и записать так:

$$Q(t) = Q_0 (1 - e^{-\mu t}). \quad (4)$$

Основная трудность в расчетах по формулам (3) и (4) состоит в том, чтобы экспериментально получить данные о параметре μ .

Лабораторные исследования истечения метана из частиц угля были выполнены в НИИГД и опубликованы в работе [11]. В проведенных опытах минимальное время начала замеров метановыделения из угля составляло 2,5 ч от момента его отторжения от массива, а радиус частиц – 0,002 м, что позволяло для диапазона от 2,5 ч до 6 сут и $R > 0,002$ м найти параметр, определяющий скорость выделения метана,

$$\mu = (4 \cdot 10^{-6} / R^{0,2}) e^{-2,4 \cdot 10^{-6} t}. \quad (5)$$

Однако пригодность зависимости (5) для начальных моментов времени (несколько секунд) газовой выделения из угля, что наиболее важно после внезапных выбросов, проверена не была, поэтому воспользуемся для этого приведенными данными авторов [1] для определения параметра μ . Учитывая, что в исследованиях газоносность пластов составляла 15 – 36 м³/т (900 – 2100 моль/м³), примем некоторое среднее значение газоносности – порядка 1500 моль/м³. Тогда, используя данные, представленные в работе [1] и теоретическую зависимость (4), найдем, что для периода 0 – 15 с после выброса $\mu = 9 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.

Используем приведенную в работе [11] зависимость μ от t и R в виде формулы (5). Приняв $\mu = 9 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ и подставив его значение в формулу (5), найдем: $R = 0,17 \cdot 10^{-6}$ м. Такой радиус частиц угля соответствует их значению при выбросе угля в виде «бешеной муки». Таким образом, $\mu = 9 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ можно использовать в дальнейшем при расчете зоны загазованности выработок после внезапных выбросов.

Для расчета распространения метана по тупиковым выработкам, начиная от забоя, используем уравнение

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_k \frac{\partial C}{\partial x} \right) + i(x, t), \quad (6)$$

где u – скорость потока газов, м/с;
 C – концентрация метана, кг/м³;
 x – расстояние от тупикового забоя, м;
 D_k – коэффициент конвективно-диффузионного переноса, диффузии, м²/с;
 $i(x, t)$ – интенсивность выделения метана, кг/(м³·с).

Дифференцируя формулу (4) по времени t , представим функцию интенсивности газовой выделения из угля на длине от x_1 до x_2 зоны выброса в виде

$$i(t) = \{ \mu Q_0 / [S(x_2 - x_1)] \} \exp(-\mu t). \quad (7)$$

ЛИТЕРАТУРА

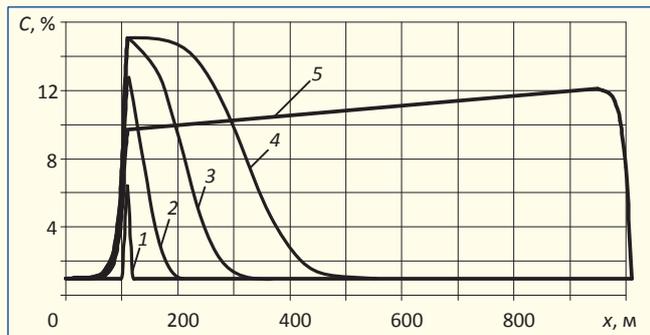


Рис. 1. Зависимость концентраций C метана в тупиковой выработке и за ее пределами от расстояния от тупикового забоя в разное время после выброса: (1 – $t = 7$ с; 2 – 1,2 мин; 3 – 3,7 мин; 4 – 7,3 мин; 5 – 61 мин).

В качестве граничных и начального условий для уравнения (6) примем

$$\frac{\partial C(0,t)}{\partial x} = 0; \quad C(\infty,t) = C_0; \quad C(x,0) = C_0. \quad (8)$$

Уравнение (6) решали численным методом. Примем для примера, что в результате выброса в тупиковом забое выделилось 2500 м^3 метана, уголь отбросило на 10 м, скорость воздуха по выработке 0,5 м/с. Результаты расчетов распределения концентраций метана по длине выработки и во времени показаны на рис. 1.

Выводы. Из представленных результатов следует, что взрывоопасные концентрации метана появляются сразу же после выброса и наблюдаются в течение 1 ч на всем протяжении выработки. Таким образом, взрывоопасная среда достигает значительных размеров, т. е. при наличии источника воспламенения объем взорвавшейся смеси может быть таким, что давление достигнет максимально возможного значения, полученного в экспериментальных условиях и равно $2,8 \text{ МПа}$.

1. Волошин Н. Е. Газовыделение при выбросах. К разработке малоинерционной аппаратуры противогазовой защиты / Н. Е. Волошин, А. Е. Ольховиченко, В. А. Воронин. – Донецк: Кассиопея, 2008. – 51 с.
2. Борисенко А. А. Диспергирование углей при внезапных выбросах / А. А. Борисенко. – М.: Наука, 1985. – 96 с.
3. Яновская М. Ф. Номограммы для расчета газовыделения при разрушении угля / М. Ф. Яновская, Ю. С. Премыслер // Науч. сообщения ИГД им. А. А. Скочинского. – М.: Недра, 1967. – С. 78 – 92.
4. Склярлов Л. А. Номограмма для расчета метановыделения из отбитого угля при взрывной отбойке / Л. А. Склярлов, О. А. Лопатов // Разработка месторождений полезных ископаемых: сб. тр. – К.: Тэхника, 1968. – № 14. – С. 36 – 43.
5. Мясников А. А. О зависимости между выделением метана и метаноносностью угольных пластов / А. А. Мясников, А. С. Рябченко // ВостНИИ: сб. тр. – М.: Недра, 1964. – Т. 5. – С. 43 – 51.
6. Божко В. Л. Метановыделение в забой подготовительных выработок при взрывных работах по углю / В. Л. Божко, А. Ф. Клишкань // МакНИИ: сб. тр. – М.: Недра, 1968. – Т. 23. – С. 82 – 91.
7. Никитченко В. Ф. Определение газовыделения из отторгнутого от массива угля / В. Ф. Никитченко // Уголь Украины. – 1964. – № 12.
8. Жупахина Е. С. Газовыделение из отбитого угля / Е. С. Жупахина, Н. И. Устинов // Рудничная аэрология и безопасность труда в шахтах: сб. тр. – М.: Недра, 1967. – С. 26 – 36.
9. Бобров И. В. Работы МакНИИ в области борьбы с внезапными выбросами угля и газа за 1956 – 1960 гг. / И. В. Бобров, Р. М. Кричевский // Борьба с внезапными выбросами в угольных шахтах: сб. тр. – М.: Госгортехиздат, 1962. – С. 68 – 74.
10. Березовский Н. А. Математические модели процессов диффузии, сопровождающиеся адсорбцией и химическими реакциями / Н. А. Березовский // Нелинейные краевые задачи математической физики и их приложения: сб. науч. тр. – К.: ИМ НАН Украины, 1998. – С. 29 – 31.
11. Греков С. П. Истечение метана из частиц угля / С. П. Греков, Б. И. Кошовский, М. В. Илык, И. Н. Смоланов // Горноспасательное дело. – 2002. – С. 74 – 88.