

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНОЙ СРЕДЫ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСАХ ПОРОДЫ, УГЛЯ И ГАЗА В ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Изложены результаты исследования формирования взрывоопасной среды при выбросе породы, угля и газа в тупиковых выработках угольной шахты. Приведены полученные формулы для определения концентрации метана при выбросах.

Выброс в тупиковой выработке представляет собой большую опасность образования взрывоопасной среды и превращения воздуха в непригодность для дыхания людей.

Различные аспекты внезапных выбросов рассматривались во многих работах, например [1, 2, 3]. Однако в известных работах не даны методические положения, позволяющие определять параметры загазирования выработок при внезапных выбросах. Это определило актуальность настоящих исследований.

Целью данной работы является разработка методологии оценки загазирования тупиковых выработок и установление аналитической зависимости концентрации метана от влияющих факторов при внезапных выбросах породы, угля и газа в таких выработках.

Основные результаты исследования

Обработка статистических данных, полученных МакНИИ, по выбросам угля и газа в тупиковых выработках за последние 15 лет с 1990 – 2005 гг. показала, что между ними существует некоторая связь с коэффициентом корреляции 0,5 (Рис.1, жирная линия).

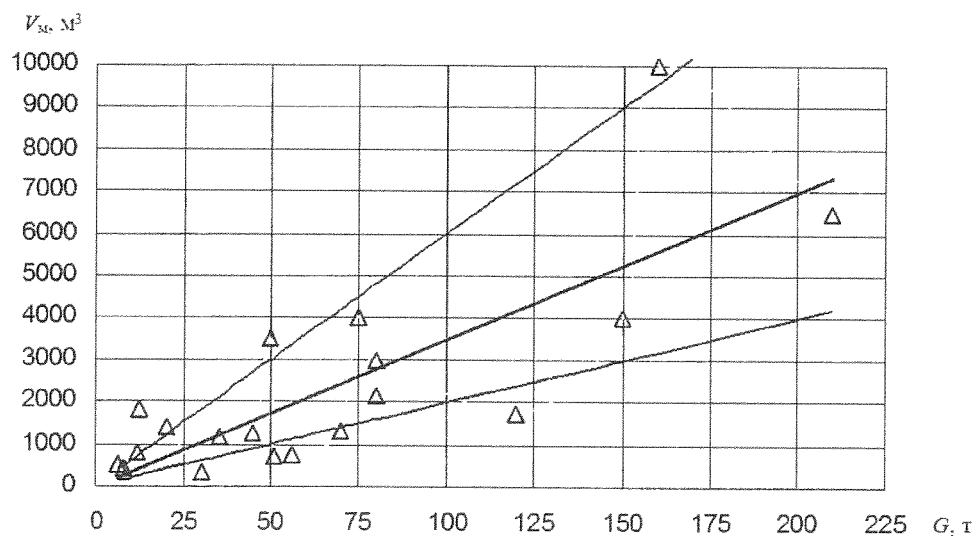


Рис. 1. Корреляционное соотношение между выброшенными углем и газом в тупиковых выработках (тонкими линиями указан диапазон разброса статистических данных)

Формула связи параметров выброшенных угля и газа имеет вид

$$V_m = qG, \quad (1)$$

где q – коэффициент пропорциональности (среднее значение – $35 \text{ м}^3/\text{т}$, крайние значения соответственно равны 20 и $60 \text{ м}^3/\text{т}$).

Под коэффициентом пропорциональности q можно понимать газоносность угля. Среднестатистическое количество угля, выброшенного в тупиковые выработки, в результате

обработки данных оказалось равным $G_{cp} = 67$ т. Это позволяет использовать полученные результаты как исходные данные для прогноза загазирования тупиковых выработок при выбросах породы, угля и газа.

Газодинамическое явление в тупиковой выработке приводит к заполнению её части породой и углем и к мгновенному загазированию определённого объёма выработки с высокой концентрацией метана. Концентрация метана зависит от многих факторов: интенсивности выброса, количества воздуха подаваемого для проветривания, параметров выработки, газоносности угля и пород и др.

Решение задачи определения концентрации метана для тупиковой выработки может быть представлено в следующем виде:

$$C(x,t) = C_1 + \frac{(C_a - C_1)}{2\sqrt{\pi D_x t}} \int_0^{l_a} \exp\left\{-\frac{[nQ_0 t - S(x - \xi)]^2}{4D_x S^2 t}\right\} d\xi + \frac{(C_a - C_1)}{2\sqrt{\pi D_x t}} \exp\left(\frac{nQ_0 x}{D_x S}\right) \int_0^{l_a} \exp\left\{-\frac{[nQ_0 t + S(x + \xi)]^2}{4D_x S^2 t}\right\} d\xi \quad (2)$$

где C_1 – начальное (фоновое) значение концентрации метана до выброса, %;

C_a – концентрация метана при выбросе, %;

D_x – коэффициент турбулентной диффузии, зависящий от скорости движения воздуха (u) и среднего диаметра выработок (d) и определяемый по выражению [4] $D_x = 4,43 (ud)^{2/3}$

Q_0 – расход воздуха в выработке, м³/мин;

S – сечение выработки, м;

x – координата длины выработки, м;

t – время от момента выброса, с;

n – эмпирический коэффициент неравномерности распределения по высоте выработки скорости воздуха и концентрации метана на период переходного процесса.

Полученное решение загазирования тупиковой выработки (2) можно представить в целях моделирования процесса загазирования тупиковой выработки в критериальном виде

$$\Delta C = 50 \left\{ \Phi \left[\frac{Ho + \lambda - x/l}{2\sqrt{Ho/Pe}} \right] - \Phi \left[\frac{Ho - x/l}{2\sqrt{Ho/Pe}} \right] \right\} + 50 \exp(Pe \cdot x/l) \left\{ \Phi \left[\frac{Ho + \lambda + x/l}{2\sqrt{Ho/Pe}} \right] - \Phi \left[\frac{Ho + x/l}{2\sqrt{Ho/Pe}} \right] \right\}, \quad (3)$$

где $\Delta C = 100[C - C_1]$ – отклонение концентрации метана в тупиковой выработке от её начального распределения или фона за счёт остаточного газовыделения из полости выброса, %;

Φ – интеграл вероятности [5];

$Ho = \frac{nkQ_0 t}{Sl}$ – критерий гомохронности или кратности обмена воздуха в выработке;

$Pe = \frac{nkQ_0 l}{SD_x}$ – число Пекле диффузионного переноса;

$\lambda = \frac{1}{1 + 0,47[x]}$ – параметр;

$k = Q/Q_0$ – коэффициент уменьшения расхода воздуха вследствие перекрытия сечения выработки выброшенной массой;

x/l – относительная координата по длине выработки (отнесенная к полной длине тупиковой выработки).

При моделировании принято, что $C_a - C_1 \approx 100\%$.

На рис. 2 представлены результаты математического моделирования загазирования проветриваемой тупиковой выработки при диффузионном числе Пекле $Pe = 100$ и различных значениях критерия гомохронности $Ho = 0,0001; 0,1; 0,3$ и $0,5$.

При длине тупиковой выработки $l = 1000$ м это будет означать, что в результате выброса породы, угля и газа быстро будет загазировано от забоя 200 м выработки ($Ho = 0,0001$), после чего начинает заполняться метаном вся остальная её часть. По расположению максимумов концентрации метана в тупиковой выработке видно, что они будут соответствовать времени 12, 36 и 60 мин, если общая кратность обмена воздуха на выемочном участке составляет, к примеру, 120 мин. Если длина тупиковой выработки равна $l = 1000$ м, то указанные максимумы будут находиться на расстояниях от забоя соответственно 200, 400 и 600 м.

При скорости движения воздуха $u = 0,2$ м/с и приведенном диаметре тупиковой выработки $d = 2,5$ м, получим $D_x = 2,8$ м²/с. В этом случае число Пекле $Pe = 100$, а время однократного обмена воздуха в тупиковой выработке будет равно $t_{об} = 120$ мин, что соответствует ранее принятому значению.

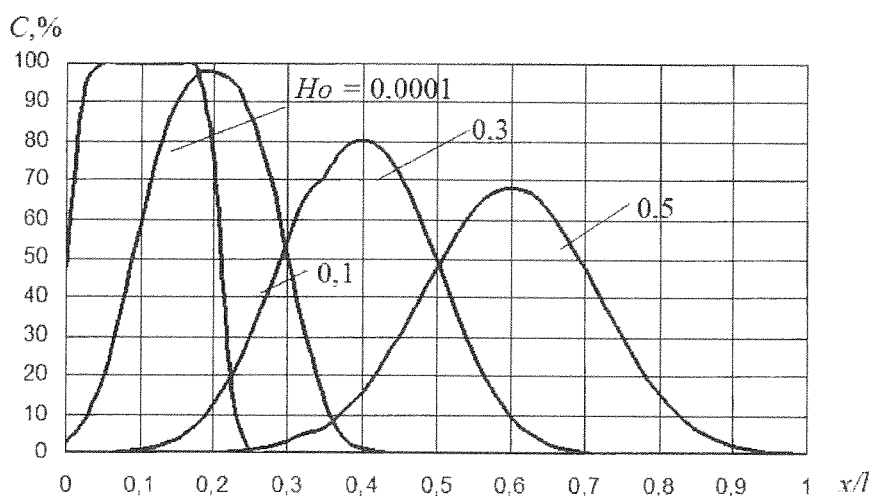


Рис. 2. Распределение концентрации метана в проветриваемой тупиковой выработке в различные промежутки времени после выброса газа

При критерии гомохронности $Ho \geq 0,1Pe\lambda^2$ вместо интегральной зависимости (3) можно использовать формулу

$$\Delta C = 50 \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\sqrt{\pi Ho / Pe}} \left[\exp\left(- \frac{[Ho + (\lambda_1 + \lambda_2) / 2 - x/l]^2}{4 Ho / Pe} \right) \right] \quad (4)$$

Расчёты по формулам (3) и (4) показывают, что отклонения расчётных данных друг от друга не превышают 10 – 15 %, причем максимальные значения совпадают и могут определяться в соответствии с зависимостью

$$\Delta C = 50 \frac{\lambda}{\sqrt{\pi Ho / Pe}} \quad x/l \quad (5)$$

В размерном виде формула (5) имеет вид

$$\Delta C_m = 50 \frac{l_s}{\sqrt{\pi D_x t_{кр}}}, \quad (6)$$

где $t_{кр}$ – время однократного обмена воздуха от места выброса до заданного расстояния от забоя тупиковой выработки, с.

Формула (6) может быть использована для оценки газовой ситуации в выработках за

пределами тупиковой выработки вплоть до поверхности шахты. В этом случае с учётом разбавления метана формула (6) для других выработок принимает вид

$$\Delta C_m = 50 \frac{l_a Q_m}{Q \sqrt{\pi D_x \sum_{i=1}^n l_i / u_i}}, \quad (7)$$

где Q_m – расход воздуха в тупиковой выработке после выброса, м³/с.

Большой практический интерес представляет рассмотрение загазирования тупиковой выработки после выброса породы, угля и газа и отключения вентилятора местного проветривания. В этом случае, поскольку критерий гомохронности равен нулю ($Ho = 0$), другим временным критерием является диффузионное число Фурье

$$Fo = Ho/Pe = D_x t / l^2 \quad (8)$$

Результаты моделирования загазирования тупиковой выработки после выброса породы, угля и газа и отключения ВМП при разных значениях числа Фурье $Fo = 0,0001; 0,01; 0,1$ показали, что вначале тупиковая выработка заполняется метаном до 100% на 0,2 её длины, после чего начинается медленное загазирование всего объёма выработки с неравномерным распределением концентрации метана по длине (Рис. 3).

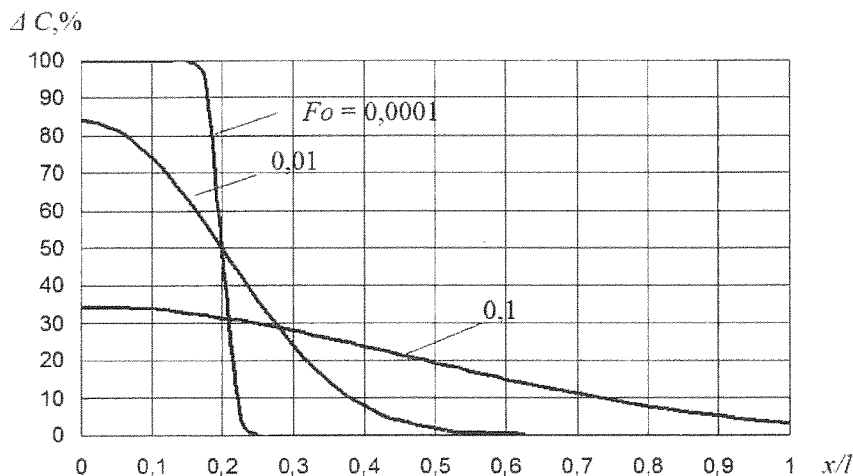


Рис. 3. Распределение концентрации метана в тупиковой выработке в различные промежутки времени после выброса породы, угля и газа и отключения ВМП

При отключённом вентиляторе местного проветривания движение воздуха носит хаотический характер за счёт перепадов температур, поэтому скорость воздуха в этом случае можно принять равной нулю, а при расчёте коэффициента диффузии входящую в него скорость считать равной 1 – 6 м/мин (среднее значение 3 мин) [6].

Для сопоставления результатов моделирования загазирования и результатов экспериментов использованы данные ИГТМ [7], полученные при выбросах песчаника и газа после сотрясательного взрывания. Исследования ИГТМ проводились в тупиковых выработках шахты «Петровская-Глубокая» ПО «Донецкуголь». Процентное содержание метана регистрировалось непрерывно метанометрами МУВ-1, после чего полученные данные изображались графически в виде функции $f(t)$. За начало отсчёта принимался момент взрывания.

В результате математической обработки экспериментальных данных установлено, что время инерционности $t_{ин}$ находится в пределах 0 – 2 мин и в среднем может быть принято равным 1 мин.

Результаты расчёта по формуле (6) динамики концентрации метана во времени на расстояниях от забоя выработки соответственно 61 и 66 м, расходах воздуха 217 м³/мин и 186 м³/мин и количестве выброшенного газа 21 и 73 м³ (Рис. 4) показали, что среднеквадратичные отклонения расчётных и экспериментальных данных находятся в пределах 10 – 15%. Это позволяет положить предлагаемый метод расчёта загазирования тупиковых выработок при выбросах породы, угля и газа в основу прогноза формирования взрывоопасной среды.

В заключении подчеркнем, что полученные результаты позволяют производить оценку загазирования тупиковых выработок и устанавливать закономерности формирования взрывоопасной среды в тупиковых выработках при внезапных выбросах породы, угля и газа.

Полученные выражения рекомендуются для определения величины концентрации метана в воздухе выработки. Они могут быть использованы для прогнозных расчетов персоналом шахт, а также компьютерных расчетов параметров загазирования горных выработок и формирования взрывоопасной среды при таких газодинамических явлениях.

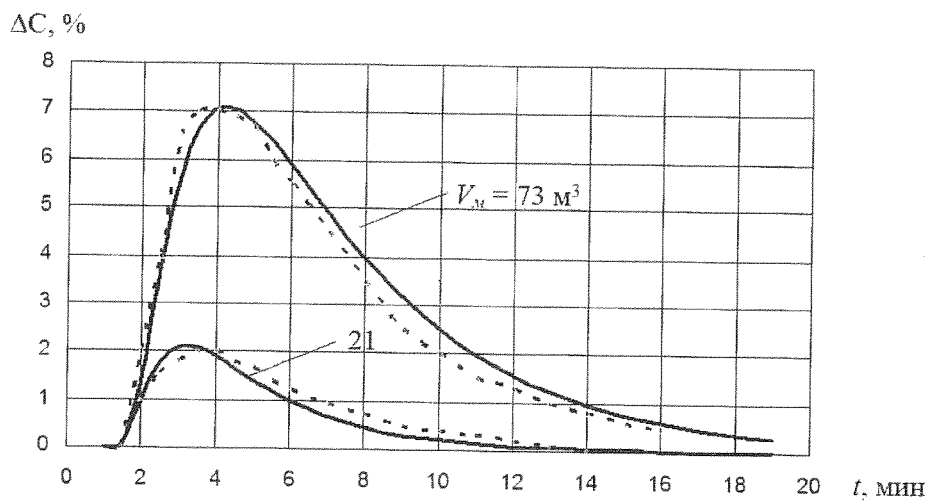


Рис. 4. Появление газовой волны в тупиковых выработках на расстояниях от забоя 61 и 66 м при выбросах песчаника и газа (сплошные линии – расчётные данные, штриховые линии – экспериментальные данные)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ:

1. Бобров И.В., Кричевский Р.М. Борьба с внезапными выбросами угля и газа. – К.: Техніка, 1964. – 112 с.
2. Агафонов А.В. Способы и средства обеспечения безопасности проведения подготовительных выработок по выбросоопасным пластам. – Донецк: Донбасс, 1998. – 238 с.
3. Елен Б., Коласа И., Медведев Б.И., Осокин В.В. Борьба с внезапными выбросами угля и газа на шахтах ЧССР. – «Безопасность труда в промышленности», 1973, №4. – С. 14–15.
4. Греков С.П., Калюсский А.Е. Газодинамика инертных сред и разгазирование горных выработок при авариях. – М.: Недра, 1975. – 120 с.
5. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1972. – 735 с.
6. Осипов С.Н. Борьба со взрывами газа в горных выработках – М.: Недра, 1972. – 160 с.
7. О безопасности работ в период выбросов песчаника и газа / Ф.А.Абрамов, Г.А.Шевелев, Ю.А.Герасименко и др. / «Шахтное строительство», 1973, №9. – С. 1 – 3.