

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕТАНА В ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКЕ ШАХТЫ

Гавриленко Б.В., канд. техн. наук, доц.,  
Новикова К.Е., магистрант,  
Донецкий национальный технический университет

*Предложена математическая модель распространения метана в тупиковой выработке шахты позволяющая проанализировать режимы работы проветривания и аппаратуры газовой защиты при внезапных газодинамических явлениях.*

*The mathematical model (MM) of distribution of methane is offered in the blind-alley making of mine allowing to analyse the modes of operations of ventilation.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Основная особенность тупиковых (подготовительных) выработок - повышенная вероятность их загазирования и, следовательно, образования взрывчатой метано-воздушной среды. В связи с повышением нагрузки на очистные забои в угольных шахтах увеличиваются темпы проведения и протяженность подготовительных выработок в условиях нарастающей метанообильности и запыленности горных выработок. А.А. Мясников указывает, что метанообильность подготовительных выработок в ряде бассейнов составляет 15 - 20 м<sup>3</sup>/мин [1]. Вместе с тем подготовительные выработки проветриваются не за счет общешахтной депрессии, создаваемой вентиляторами главного проветривания (ВГП) со 100%-ным резервом по вентиляторным установкам и системам их питания, а вентиляторами местного проветривания (ВМП) в большинстве случаев без такого резервирования. ВМП подвержены частым остановкам из-за срабатывания электрических защит в их системе электроснабжения, нарушений питания и др. Таким образом, вопрос оценки эффективной работы аппаратуры газовой защиты (АГЗ) является актуальным в настоящее время. Существующие методы не позволяют правильно оценить работоспособность АГЗ поскольку не учитывают динамику распространения метана по тупиковой выработке.

**Анализ исследований и публикаций.** Решение задачи моделирования распространения метана в тупиковой выработке шахты приведено в [1]. Однако данная методика обладает рядом существенных

недостатков. Во-первых, в данной методике предложено описывать нарастание метана в виде квадратичной зависимости. Такое представление обладает простотой математического описания, но, вместе с тем, имеет недостаточную точность (погрешность достигает 10%). Во-вторых, методика [1] не позволяет получить количественную оценку динамики концентрации метана в тупиковой выработке. Эта динамика необходима для оценки времени срабатывания АГЗ.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является разработка математической модели (ММ) распространения метана в тупиковой выработке шахты. Данная ММ должна адекватно учитывать динамику изменения концентрации метана в тупиковой выработке, а также определять параметры концентрации метана в любой точке выработки. Реализация такой ММ позволит провести анализ режимов работы аппаратуры газового контроля с точки зрения эффективности и надежности, выявлять особенности протекания опасных газодинамических процессов, приводящих к взрывам метановоздушной смеси.

**Изложение материала и результаты.** Исходным уравнением описывающим изменение концентрации метана в выработке является [1]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

где:  $C$  – концентрация метана, % ;  $U$  – средняя скорость движения воздуха по выработке, м/с ;  $D$  – коэффициент турбулентной диффузии ;  $t$  – время ;  $x$  - расстояние от груди забоя до соответствующей точки выработки.

Проветривание выработки происходит под действием турбулентной диффузии. При этом изменение концентрации происходит согласно выражению [2]

$$C = C_0 e^{-kUt} \quad (2)$$

где:  $C_0$  – начальная концентрация метана ;  $k$  – коэффициент полезного действия ( 0,1 ÷ 0,9) .

Начальным условием будет

$$C(0, x) = 0 \quad (3)$$

При положении граничного условия

$$C(t, 0) = C_0 e^{-kUt} \quad (4)$$

Для решения уравнения (1) методом замещения произведем замену :

$$C = Ze^{px+gt} \quad (5)$$

где:  $Z$  – искомая функция зависящая от  $t$  и  $x$ , а  $p$  и  $g$  некоторые постоянные величины.

Используя замену (5) определим частные производные  $\frac{\partial C}{\partial t}$ ,  $\frac{\partial C}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$  и подставив их в уравнение (1) после промежуточных преобразований получаем:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = D \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + (2Dp - U) \frac{\partial z}{\partial x} + (Dp^2 - gUp)t \quad (6)$$

Из уравнения (6) составим характеристические уравнения

$$\begin{cases} 2Dp - U = 0 \\ Dp^2 - gUp = 0 \end{cases}$$

Решением которого будет:

$$p = \frac{U}{2D}, \quad g = -\frac{U^2}{4D} \quad (7)$$

После подстановки (7) в (6) получаем

$$\frac{\partial z}{\partial t} = D \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \quad (8)$$

Используем замену (5) с учетом (7) получаем

$$z(t, x) = c(t, x) e^{-\frac{Ux}{2D} + \frac{U^2 t}{4D}} \quad (9)$$

Для функции (8) определяем начальные и граничные условия

$$z|_{t=0} = 0; \quad z|_{x=0} = c_0 e^{\left(\frac{U^2}{4D} - Uk\right)t}, \quad (10)$$

При этом решение уравнения (8) имеет вид [3]

$$z(t, x) = \frac{x}{2\sqrt{\pi D}} \int_0^t \frac{\varphi(\tau)}{(t-\tau)^{3/2}} e^{-\frac{x^2}{4D(t-\tau)}} d\tau \quad (11)$$

Для начальных условий (10) получаем:

$$\varphi(\tau) = c_0 e^{\left(\frac{U^2}{4D} - Uk\right)\tau}$$

Тогда уравнение (11) окончательно примет вид

$$z(t, x) = \frac{C_0 x}{2\sqrt{\pi D}} \int_0^t e^{-\frac{x^2}{4D(t-\tau)} + \left(\frac{U^2}{4D} - Uk\right)\tau} \cdot \frac{d\tau}{(t-\tau)^{3/2}} \quad (12)$$

Для перехода от функции  $z(t,x)$  к  $c(t,x)$  используя (9) получаем изменение концентрации потока в пространстве и времени :

$$c(t,x) = \frac{z(t,x)}{e^{-\frac{Ux}{2D} + \frac{U^2 t}{4D}}} \quad (13)$$

Численное решение уравнения (12) произведем в среде MathCad. Для исходных данных :  $S = 10 \text{ м}^2$  – сечение тупиковой выработки,  $\Pi = 6\text{м}$  – периметр выработки,  $U = 1 \div 4 \text{ м/с}$  – скорость воздуха в выработке,  $k = 0,3$  коэффициент полезного действия воздушной струи .

Результаты расчета изменения концентрации метана приведены на рис. 1.

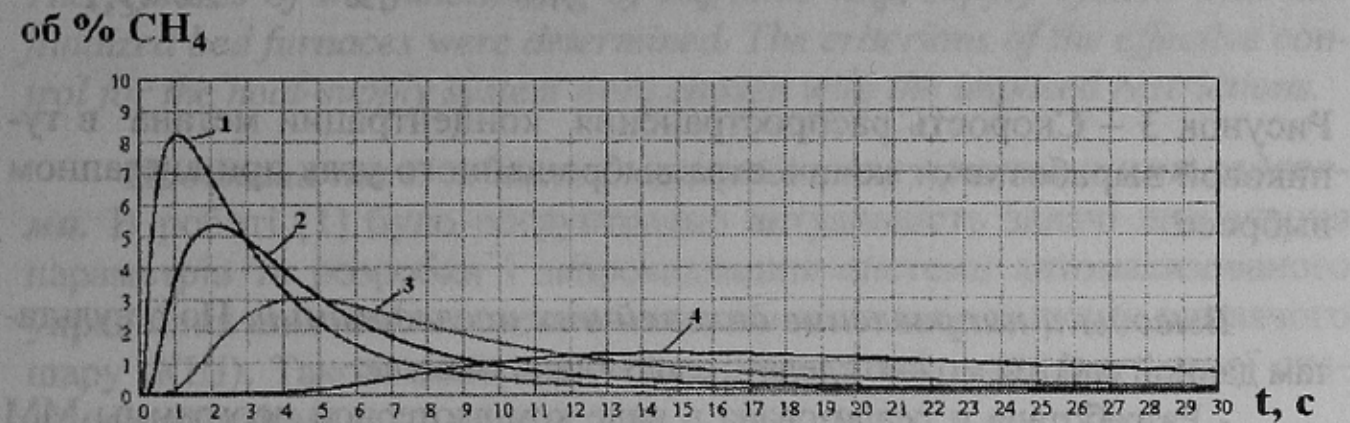


Рисунок 1 – Динамика концентрации метана в тупиковой выработке. 1 -  $C(t)$ , при  $x = 5\text{м}$ ; 2 -  $C(t)$ , при  $x = 10\text{м}$ ; 3 -  $C(t)$ , при  $x = 20\text{м}$ ; 4-  $C(t)$ , при  $x = 50\text{м}$ ;

Из полученных расчетов зависимости скорости нарастания и распространения концентрации метана (рис.2 и рис.3)

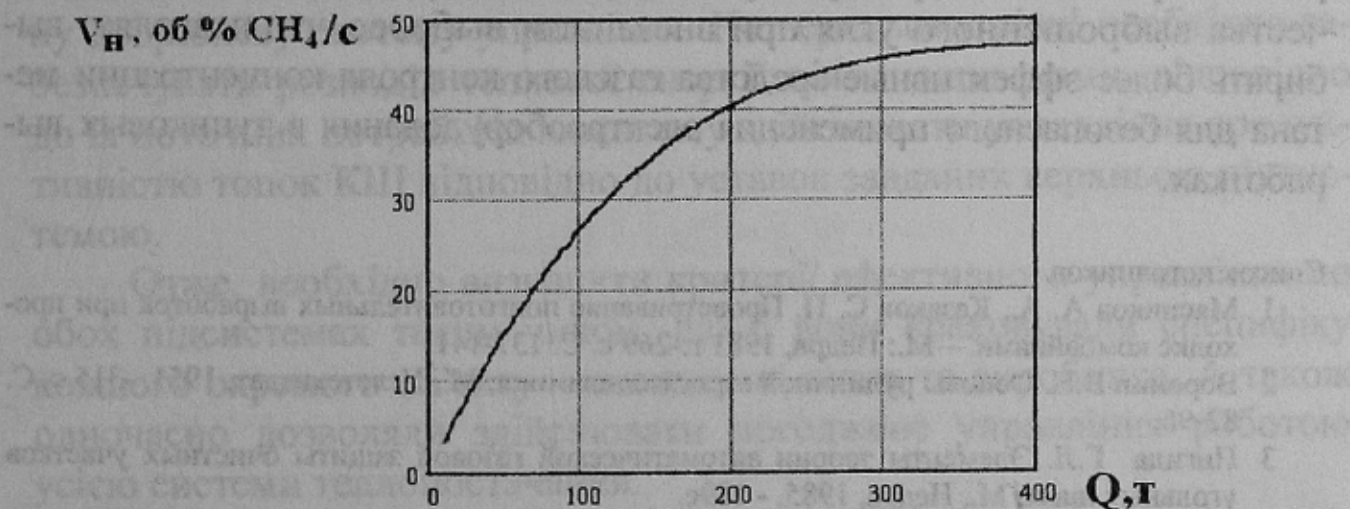


Рисунок 2 – Скорость нарастания концентрации метана в тупиковой выработке.

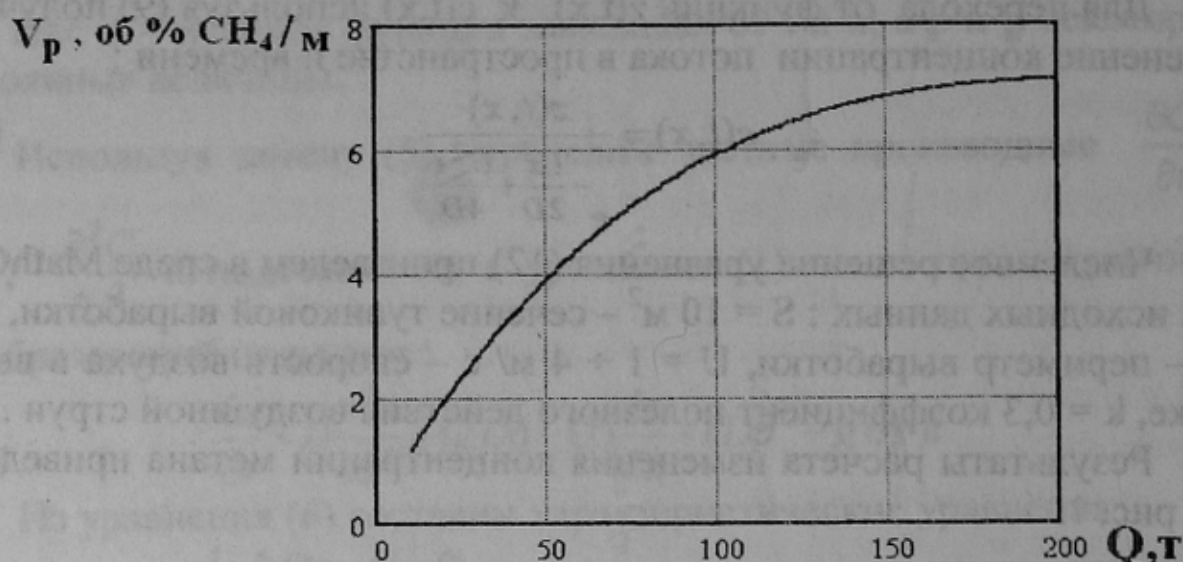


Рисунок 3 – Швидкість поширення концентрації метану в тупиковій вироботці від кількості виброшеного угля при випадковому вибросі

**Висновки і напрямлення подальших досліджень.** По результатах даної роботи можна зробити наступні висновки:

- Розроблена і реалізована в формі комп'ютерної програми ММ поширення метану в тупиковій вироботці шахти, що дозволяє визначати розподіл концентрації метану по довжині вироботки, її зміну в часі, швидкості наростання і поширення концентрації метану.

- З допомогою розробленої програми отримані залежності швидкості наростання і поширення концентрації метану від кількості виброшеного угля при випадковому вибросі, що дозволяє вибирати більш ефективні засоби газового контролю концентрації метану для безпечної застосування електрообладнання в тупикових вироботках.

Список джерел.

- 1 Мясников А. А., Казаков С. П. Провітрювання підготовчих вироботок при проходці комбайнами. – М.: Недра, 1981 г.-269 с. С. 137-141.
- 2 Воронин В.Н. Основи рудничної аерогазодинаміки. М., Углетехиздат, 1951. -315 с. С. 82-96.
- 3 Пігіда Г.Л. Елементи теорії автоматичної газової захисти очистних ділянок вугільних шахт, М., Недра, 1985, - 189с.

Дата отримання статті в редакцію: 01.11.06