

**УДК 622. 522**

Токарев О.С.,  
(начальник департамента угольной промышленности г. Кемерово)  
Шевченко Л.А.  
(докт.техн.наук, профессор, зав.каф.аэрологии, охраны труда и природы  
ФГБОУ ВО КузГТУ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗГАЗИРОВАНИЯ  
АВАРИЙНЫХ УЧАСТКОВ**

Система мониторинга атмосферы локальных объектов (СМАЛО) предназначена для непрерывного мониторинга температуры, состава рудничного воздуха и контроля давления в местах, нуждающихся в комплексном исследовании состава атмосферы в предаварийные и аварийные периоды в случаях, когда невозможна или нецелесообразна установка стационарных систем аэрогазового контроля.

СМАЛО включает следующие стандартные функции:

- непрерывное изменение концентрации контролируемых газов в соответствии с типами подключаемых датчиков температуры окружающего воздуха и атмосферного давления;
- фиксация результатов измерения концентрации контролируемых компонентов в режиме реального времени;
- хранение зафиксированных значений концентрации контролируемых компонентов по дате и времени фиксации;
- преобразование измеренных значений в цифровой код;
- обеспечение возможности передачи зафиксированной информации по каналам цифровой связи стационарных информационных систем;
- обеспечение возможности передачи накопленной информации на автономный блок снятия и хранения информации через ИК-порт.

Предлагается расширить функции СМАЛО для оценки подвижности температурных и газовых полей в рудничной атмосфере аварийных участков, а также для определения времени и места безопасного доступа подразделений ВГСЧ на аварийный участок для спасения людей и ликвидации последствий аварии [1].

Исследование процесса разгазирования, определение времени и места безопасного доступа подразделений ВГСЧ проведено в аварийной подготовительной выработке, после выброса угля и газа, в результате которого произошло частичное забучивание выработки, разрушение датчика метана и частичное разрушение трубопровода. Возгорания не произошло.

Датчики системы мониторинга атмосферы локальных объектов (СМАЛО), через  $T_{\text{мин}}$  после аварии, показали концентрацию метана и скорость движения воздуха в устье выработки:  $C = C_B$ ,  $U = U_B$

Выделение метана из угля объема  $P_0$  т, согласно «Руководству по проектированию и организации проветривания подготовительных выработок действующих шахт угольных шахт», определяется по формуле:

$$I_{\text{ог}}(t) = P_0(x_B - x_0)a\sqrt[4]{t} \text{ м}^3, \quad (1)$$

где  $x_B, x_0$  – метаноносность угля в зоне выемки и остаточная,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;  
 $a$  – числовой коэффициент, зависящий от выхода летучих веществ (0,24 - 0,45 );  
 $t$  – время, после выброса угля, мин.

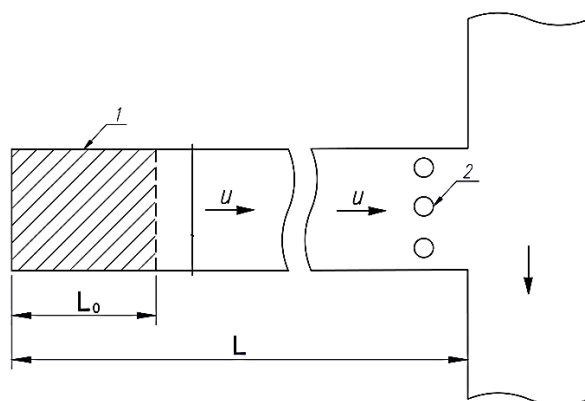
Дифференцируя функцию (1) находим интенсивность выделения метана из тонны угля

$$G(t) = \frac{G_0}{\sqrt[4]{(1+t)^3}}, \text{ м}^3/\text{т} \cdot \text{мин}, \quad (2)$$

где  $G_0$  – начальная интенсивность метановыделения из тонны угля, равная  $0,25 (x_B - x_0)$ ,  $\text{м}^3/\text{т}$ .

Коэффициент 1 в знаменателе формулы (2) принят для исключения бесконечности в этой формуле.

Составим дифференциальное уравнение разгазирования выработки после внезапного выброса. Для этого воспользуемся схемой разгазирования (рисунок 1).



1 – место выброса;  $L_0$  – зона отброса газов;  $L_1$  – длина выработки;  
 2 – место расположения датчиков СМАЛО

Рисунок 1 - Схема разгазирования подготовительной выработки после внезапного выброса угля и газа

Обозначим далее объем зоны загазирования через  $V \text{ м}^3$ , а расход воздуха в выработке –  $Q \text{ м}^3/\text{мин}$ . Пусть концентрация метана в зоне загазирования в момент времени  $t$  равна  $c(t)$ . За малый интервал времени  $dt$  в призабойное пространство выделится  $G(t)dt \text{ м}^3$  метана. За это же время вентиляционной струей будет вынесено примерно  $Qc(t)dt \text{ м}^3$  метана и концентрация станет равной  $c(t+dt)$ . Составим уравнение баланса метана [2]:

$$V[c(t+dt) - c(t)] = -Qc(t)dt + P_0G(t)dt.$$

Разделив обе части этого соотношения на  $dt$ , приходим к обыкновенному дифференциальному уравнению

$$V \frac{dc}{dt} = -Qc + P_0 G_0 / \sqrt[4]{1 + t^3}. \quad (3)$$

Это линейное дифференциальное уравнение первого порядка. Его решение при начальном условии  $c(0) = c_0$  имеет вид [3]

$$c(t) = c_0 e^{-K_3 \frac{Q}{V} t} \int_0^t e^{K_3 \frac{Q}{V} \tau} P_0 G_0 V \sqrt[4]{1 + \tau^3} d\tau. \quad (4)$$

Здесь  $K_3$  – коэффициент эффективности использования воздуха при разгазировании. Из-за вероятности повреждения труб при выбросе, коэффициент принимается равным 0,5.

Упростим это решение. Значение  $c_0$  равно  $P_0 G_0 / V$  – в долях единицы. Коэффициент  $Q/V$  в показателе степени равен  $u/L_0$  (рисунок 1).

Обозначив  $0,5Qt/v = 0,5ut/L_0 = v$ , получаем решение (4) в виде:

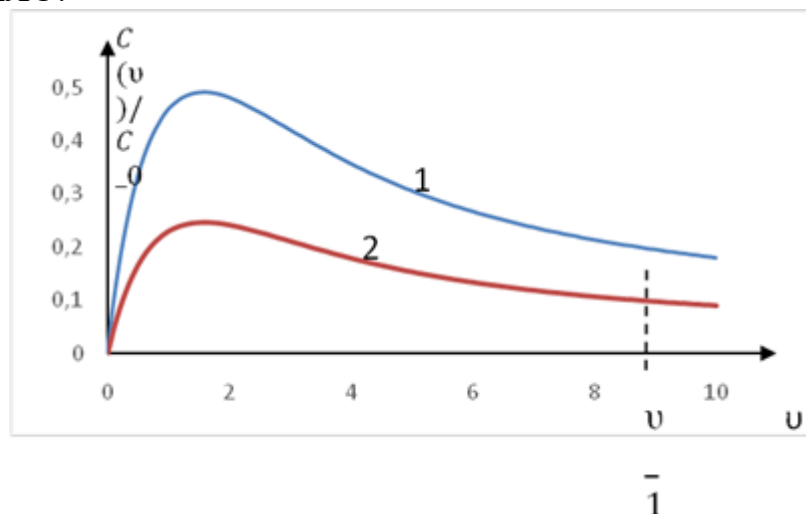
$$\frac{c(v)}{c_0} = e^{-v} \int_0^v \frac{c_0 e^{\tau}}{(1+\tau)^{3/4}} d\tau. \quad (5)$$

На рисунке 2 приведена динамика концентрации метана в призабойном пространстве во времени (зависимость  $c(v)/c_0$  от безразмерного параметра  $v$ ).

Значение концентрации метана в устье выработки через время  $t_l$  равно  $c_B$ . Получаем

$$t_1 = \Delta t - L_0 / u_0, \quad v_1 = 0,5 u t_1 / L_0, \quad (6)$$

где  $\Delta t$  – интервал времени от момента внезапного выброса до установки датчиков СМАЛО.



1 –  $c_0=1$ ; 2 –  $c_0=0,5$

Рисунок 2 - Динамика относительной концентрации метана в призабойном пространстве во времени

Значения  $c(v)/c_0$  может быть определено по кривым (рисунок 2) на их нисходящих ветвях.

Для определения времени доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии используется общий алгоритм, приведенный на рисунке 3.

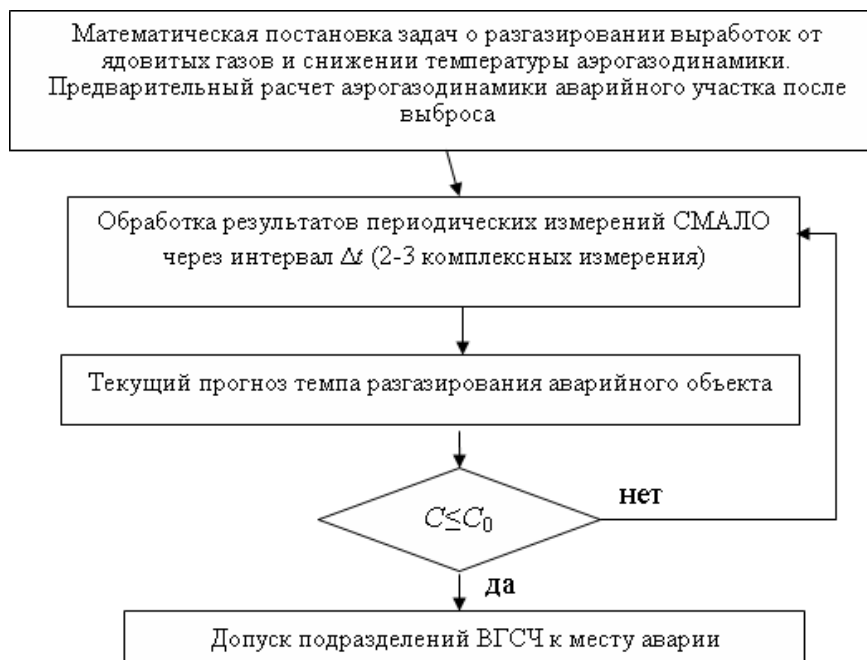


Рисунок 3 - Общий алгоритм определения времени доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии

В первом – третьем блоках алгоритма проводится расчет газовой обстановки в выработках по формулам, предложенным в работе, в предпоследнем блоке производится анализ результатов на предмет дальнейших расчетов. В предпоследний блок может быть введен повышающий коэффициент  $K_n$  с заменой  $c_d$  на  $K_n c_d$ . Это даст возможность ускорить процесс определения  $T_{дост}$  - времени доступа путем его прогноза.

В последнем блоке алгоритма определяется время доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии. Если бы параметры формирования начальной зоны загазирования были известны, задача сводилась бы к определению соответствующей точки  $v_l$  и достаточно одного комплекса показаний датчиков СМАЛО.

В реальности необходимы 2 - 4 измерения концентрации метана через интервал  $\Delta t_l$ , поскольку начальные параметры процесса выброса неизвестны (рисунок 4). Интервал определяется из условия визуализируемых различий  $c(t)$ . Кривая должна иметь вид  $c(t) = c_{max} e^{-\alpha t}$ .

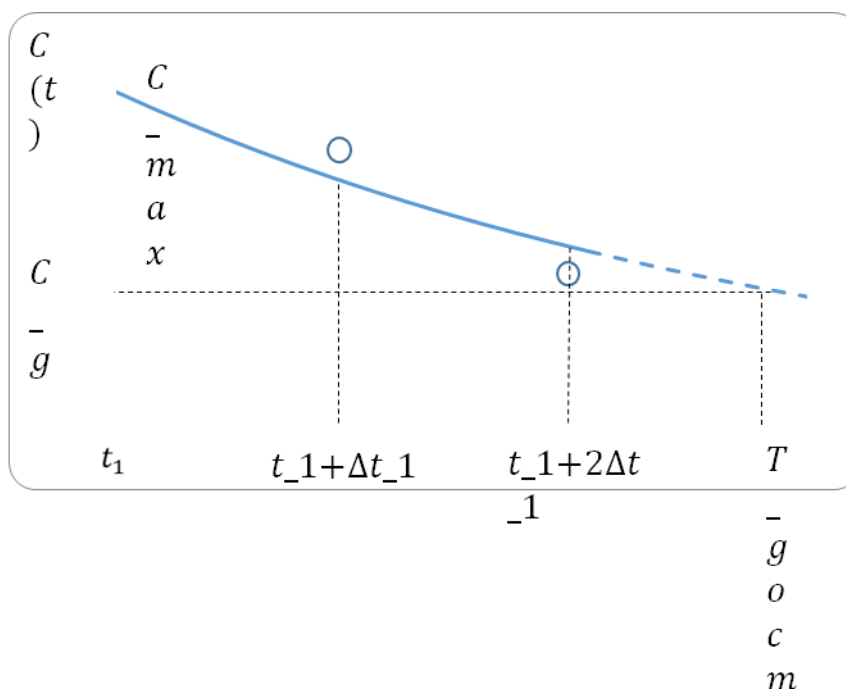


Рисунок 4 - Обработка результатов измерений  $c(t)$  через интервал  $\Delta t_l$ .

Параметр  $\alpha$  рассчитывается по формуле [4]

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\ln \frac{c_{max}}{c_i}}{t_i}, \quad (7)$$

где  $n$  – число измерений.

Пересечение построенной кривой с линией  $c = c_d$  – допустимой концентрацией метана дает значение  $T_{дост}$  – времени доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии через разгазируемую выработку.

#### Библиографический список

- 1 Голик, А.С. Система мониторинга атмосферы локальных объектов (СМАЛО) для газового контроля горноспасателями в аварийных условиях шахт/ А.С. Голик, О.С. Токарев. //, Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности – Кемерово - 2013, № 1.2, с. 69 – 72.
- 2 Казаков, С.П. Проветривание подготовительных выработок угольных шахт Кузбасса: монография / С.П. Казаков, А.М. Ермолаев, С.А. Прокопенко; Юргинский технологический институт. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. - 211с.
- 3 Кудрявцев, В.А. Краткий курс высшей математики / В.А, Кудрявцев, Б.П. Демидович. – М.: «Наука», 1989. – 656 с.
- 4 Казаков, С.П. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика: учебное пособие. -Томск: Издательство ТПУ, 2010. -108с.