

6. Kolonja B., Stanic R., Hamovic J. Simulation of in-pit crushing system using AutoMod // 19th World Mining Congress – New Delhi (India), 2003. – P.517-531

7. Слободянюк В.К., Максимов И.И. Особенности оптимизации технологических схем циклично-поточной технологии // Збірник наукових праць НГУ № 34, Том 2 – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2010.–С. 42-53.

8. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин/Частина друга. Відкриті гірничі роботи. СОУ-Н МПП 73.020-078-2:2008. В двох томах./ Голячук М.Г., Квітка В.І., Воробйов А.І., Волошин П.І., Токарев Л.А., Демченко І.Т., Сиркіна Т.П.-Кривий Ріг: "Мінерал" 2008.-714с.

УДК 622.452

Н.Ф. Кременчуцкий, д.т.н., проф.,
О.А. Муха, к.т.н., доц.,
Е.В. Столбченко, асист.
(НГУ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ИСХОДЯЩЕЙ СТРУЕ ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКИ

Викладена методика визначення концентрації метану на вихідному струмені шляхом рішення диференціальних рівнянь.

ETERMINATION OF CONCENTRATION METHANE IS IN OUTGOING STREAM OF DEADLOCK MAKING

The method of determination concentration methane is expounded on an outgoing stream by the decision of differential equalizations.

Введение. В настоящее время проектирование систем вентиляции тупиковых выработок осуществляется согласно [1]. Расход воздуха для проветривания подготовительной выработки определяется: по газовому фактору; по газам, выделяющимся при взрывных работах; по числу людей; по тепловому фактору и минимально допустимой скорости движения воздуха. Согласно ПБ [1] концентрация метана в исходящей струе тупиковой выработки не должна превышать 1%.

После определения необходимого количества воздуха производится расчет потерь давления в вентиляционном трубопроводе и осуществляется выбор типа вентилятора местного проветривания и режима его работы.

В тех случаях, когда принимается расход воздуха не по газовому фактору, возникает необходимость определения концентрации метана в исходящей струе тупиковой выработки на этапе проектирования. Это обусловлено тем, что может возникнуть необходимость последовательного проветривания двух тупиковых выработок, проводимым по угольным пластам.

Целью данной работы является разработка методики определения концентрации метана в исходящей струе тупиковой выработки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Представить утечки воздуха в вентиляционном трубопроводе в виде линейной и квадратичной зависимости.

2. Разработать математическую модель по определению концентрации метана в исходящей струе тупиковой выработки при использовании гибкого и жесткого трубопроводов.

Расход метана, поступающего в тупиковую выработку на участке длиной dl определяется уравнением

$$V = \frac{100I_n dl}{K_{ym}Q}, \quad (1)$$

где I_n – метановыделение в тупиковую выработку, $\text{м}^3/\text{мин}$, dl – длина участка выработки на расстоянии $l + dl$, м , Q – расход воздуха, проходящего по выработке, $\text{м}^3/\text{мин}$, K_{ym} – коэффициент утечек воздуха в трубопроводе.

Коэффициент утечек воздуха в гибком трубопроводе можно с достаточной точностью выразить формулой [3].

$$K_{ym} = 1,04 + 0,0005l.$$

Расход воздуха, поступающего в призабойное пространство тупиковой выработки, определяется при решении уравнения

$$\frac{6,5\alpha K_{ym}Q_{zn}^2}{d_{mp}^5} = a_0 - a_1 K_{ym}Q_{zn}^2,$$

где α – коэффициент аэродинамического сопротивления трубопровода, $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$, d_{mp} – диаметр трубопровода, м , a_0 , a_1 – коэффициенты уравнения, описывающего характеристику вентилятора местного проветривания (ВМП)

$$Q_{zn} = \sqrt{\frac{a_0}{A_1 + A_2}}, \quad (2)$$

$$\text{где } A_1 = \frac{6,5\alpha(1,04 + 0,0005l)e}{d_{mp}^3}, \quad A_2 = a_1(1,04 + 0,0005l)^2.$$

Метановыделение в тупиковую выработку, проводимую по угольному пласту, определяется суммой [2]

$$I_n = I_{ноч} + I_{ошн}, \quad \text{м}^3/\text{мин},$$

где $I_{\text{поп}}$ — метановыделения с неподвижных обнаженных поверхностей угольного пласта, $\text{м}^3/\text{мин}$, $I_{\text{отп}}$ — метановыделение из отбитого угля, $\text{м}^3/\text{мин}$.

$$I_{\text{поп}} = 2,3 \cdot 10^{-2} m_n v_n (x - x_0) K_m,$$

где m_n — полная мощность угольного пласта, м ; V_n — проектная скорость подвигания тупиковой выработки, $\text{м}^3/\text{сут}$, x_n — природная метаносность пласта, $\text{м}^3/\text{т}$; x_0 — остаточная метаносность угля, $\text{м}^3/\text{т}$, K_r — коэффициент, учитывающий изменение метановыделения во времени, доли единицы.

$$I_{\text{отп}} = j K_{\text{дег}} (x - x_0),$$

где j — техническая производительность комбайна, бурового станка или суммарная производительность проходчиков по выемке угля, $\text{т}/\text{мин}$. Принимается для комбайна по табл. 3.3 [2]. $K_{\text{дег}}$ — коэффициент, учитывающий степень дегазации отбитого угля, доли ед.

$$K_{\text{дег}} = a T_y^b, \quad (3)$$

T_y — время нахождения (дегазации) угля в призабойном пространстве, мин ; a, b — коэффициенты уравнения (3).

При $T_y \leq 6$ мин, $a = 0,052$, $b = 0,71$, при $T_y > 6$ мин, $a = 0,118$, $b = 0,25$.

Значение $(x - x_0)$ может определяться по фактическому метановыделению в тупиковой выработке по формуле

$$x - x_0 = \frac{43,5 I_{\text{пов.ф}}}{m_n v_{\text{нф}} K_{\text{м.ф}}},$$

где $I_{\text{пов.ф}}$ — фактическое метановыделение из обнаженных поверхностей пласта, $\text{м}^3/\text{мин}$, $v_{\text{нф}}$ — фактическая скорость подвигания пласта выработки, для которого определяется $I_{\text{пов.ф}}$, $K_{\text{м.ф}}$ — коэффициент, учитывающий изменение метаносности во времени, может определяться по табл. 3.2 [2].

Расход метана в тупиковой выработке можно описать уравнением

$$V = S l d c, \quad (4)$$

где $d c$ — концентрация метана на участке, %.

Согласно уравнений (1) и (4), баланс выделения метана в выработке будет

$$\frac{100 I_n d l}{K_{\text{ум}} Q} = S l d c. \quad (5)$$

Уравнение (5) – дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными

$$c = \frac{100I_n}{SQ} \int \frac{dL}{l(1,04 + 0,0005l)}.$$

Согласно [3], если интеграл содержит уравнение

$$X = ax + b,$$

$$\text{то } \int \frac{dx}{xX} = -\frac{1}{b} \ln\left(\frac{X}{x}\right),$$

где $x = l$.

Тогда концентрация метана на исходящей струе тупиковой выработки для гибкого трубопровода определяется

$$c = -\frac{100I_n}{SQb} \int_{l_0}^L \ln \frac{1,04 + 0,0005l}{l},$$

где L – длина тупиковой выработки, м, l_0 – расстояние от забоя до места, где концентрация метана известна, м.

При исходных данных, указанных в уравнении, концентрация метана на исходящей струе тупиковой выработки при гибком трубопроводе

$$\begin{aligned} c &= -\frac{100 \cdot 1,99}{10 \cdot 355,63 \cdot 1,04} \left(\ln \frac{1,04 + 0,0005 \cdot 500}{500} - \ln \frac{1,04 + 0,0005 \cdot 10}{10} \right) = \\ &= 0,054(5,56 - 2,26) = 0,18\% \end{aligned}$$

Определяется концентрация метана на исходящей струе тупиковой выработки при использовании жесткого трубопровода.

Коэффициент утечек воздуха в жестком трубопроводе можно описать уравнением

$$K_{ym} = al^2 + bl + c,$$

$$\text{где } a = \frac{5f^2}{6}; \quad b = \frac{f}{3}; \quad c = 1.$$

$$f = \sqrt[3]{\frac{rK^2}{2}}; K = K_y \frac{d_{mp}}{m}; r = \frac{6,5\alpha}{d_{mp}^5},$$

где r – удельное аэродинамическое сопротивление трубопровода, K_y – удельный коэффициент стыковой воздухопроницаемости жесткого трубопровода при фланцевом соединении звеньев.

Дифференциальное уравнение баланса метана при жестком трубопроводе будет в виде

$$c = \frac{100I_n}{SQ} \int \frac{dl}{l(al^2 + bl + c)},$$

Интегралы, содержащие уравнение вида [3]

$$X = ax^2 + bx + c,$$

при $\Delta = 4ac - b^2 > 0$ будут в виде

$$\int \frac{dx}{xX} = \frac{1}{2c} \ln \left(\frac{x^2}{X} \right) - \frac{b}{2c} \int \frac{dx}{X}, \quad (6)$$

$$\text{где } \int \frac{dx}{X} = \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \operatorname{arctg} \frac{2ax + b}{\sqrt{\Delta}},$$

тогда уравнение (6)

$$\int \frac{dx}{xX} = \frac{1}{2c} \ln \left(\frac{x^2}{X} \right) - \frac{b}{2c} \cdot \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \operatorname{arctg} \frac{2ax + b}{\sqrt{\Delta}}.$$

При исходных данных, приведенных в уравнениях, величина необходимых параметров равна

$$\begin{aligned} r &= \frac{6,5 \cdot 0,0003}{0,5^5} = 0,0624, K = 0,006 \frac{0,5}{4} = 0,00075, \\ f &= \sqrt[3]{\frac{0,0624 \cdot 0,00075^2}{2}} = 0,0026, a = \frac{5 \cdot 0,00075^2}{2} = 0,0000056, \\ b &= \frac{0,0026}{3} = 0,00087. \end{aligned}$$

При $l = 500$ м.

$$X = 0,0000056 \cdot 500^2 + 0,00087 \cdot 500 + 1 = 1,4 + 0,435 + 1 = 2,835$$

$$\Delta = 4 \cdot 0,0000056 \cdot 1 - 0,00087^2 = 0,0000216$$

$$\sqrt{\Delta} = 0,0047.$$

$Q_{\text{зп}}$ определяется по формуле (2)

$$\text{где } A_1 = \frac{6,5 \alpha l p}{d_{\text{мп}}^5}; A_2 = a_l p^2.$$

При $\alpha = 0,0003$, $l = 500$ м, $p = 2,835$, $d = 0,5$ м, $a_0 = 750$, $a_1 = 9,375$.
 $Q_{\text{зп}} = 2,14 \text{ м}^3/\text{с} = 128,4 \text{ м}^3/\text{мин}.$

$$\int \frac{dx}{x} = \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \operatorname{arctg} \frac{2 \cdot 0,0000056 \cdot 500 + 0,00087}{0,0047} = \frac{2}{0,0047} \operatorname{arctg} 1,376.$$

$$\operatorname{arctg} 1 = \frac{\pi}{4} \Big|_{x=1,08}^{1,376-x}$$

$$c = \frac{100 \cdot 1,99}{10 \cdot 128,4} \left(\frac{1}{2 \cdot 1} \ln \left(\frac{500^2}{2,835} \right) - \frac{0,00087}{2 \cdot 1} 425,53 \cdot 1,08 \right) = 0,15(5,78 - 0,2) = 0,84\%.$$

При $l = 10$ м.

$$X = 0,0000056 \cdot 10^2 + 0,00087 \cdot 10 + 1 = 1,00926.$$

$$r = 0,0624; K = 0,00075, f = 0,00087, c = 1.$$

При $l = 500$.

$$X = ax^2 + bx + 1 = 2,835, \Delta = 0,000026, \sqrt{\Delta} = 0,0047.$$

$$\frac{b}{2c} \int \frac{dx}{X} = \frac{b}{2c} \cdot \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \operatorname{arctg} \frac{2ax+b}{\sqrt{\Delta}} = \frac{0,00087}{2 \cdot 1} 425,53 \cdot 1,08 = 0,2$$

$$\frac{1}{2 \cdot 1} \ln \left(\frac{x^2}{X} \right) = 5,69.$$

$$c = \int \frac{dx}{xX} = \frac{1}{2c} \ln \left(\frac{x^2}{X} \right) - \frac{b}{2c} \cdot \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \operatorname{arctg} \frac{2ax+b}{\sqrt{\Delta}} + c_1.$$

$$\Delta = 4ac - b^2, a = 0,0000056, b = 0,00087, c = 1, \Delta = 0,000026, \sqrt{\Delta} = 0,0047.$$

$$- \int \frac{0,00087}{2} \cdot \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \arctg \frac{2 \cdot 0,0000056 \cdot 10 + 0,00087}{0,0047}$$

$$\frac{1}{2c} \ln \frac{100}{1,009} = 2,30$$

$$\left. \begin{aligned} \arctg 1 &= \frac{\pi}{4} \\ \arctg 0,21 &- x \end{aligned} \right| x = 0,16$$

При $l = 10, c = 0,37$.

При $L_n = 500, c = 0,84$.

$$C_n = 0,84 - 0,37 = 0,47.$$

$$C_n = \frac{100 I_n}{SQ} \int_{l_0}^L \left(\frac{1}{2c} \ln \left(\frac{x^2}{X} \right) - \frac{b}{2c} \cdot \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \arctg \frac{2aX + b}{\sqrt{\Delta}} \right).$$

При $L_n = 500 \text{ м}, l_0 = 10 \text{ м}^2$.

$$Q_n = 0,15((5,78 - 0,2) - (2,30 - 0,03)) = 0,45\%.$$

Выводы:

Разработана методика определения концентрации метана в исходящей струе тупиковой выработки при гибком и жестком трубопроводах путём составления и решения дифференциальных уравнений с учетом различного описания коэффициентов утечек воздуха в трубопроводе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. – К., 2000 р.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К.: Основа, 1994. – 311 с.
3. А.Г. Цыпкия, Г.Г. Цыпкия. Математические формулы. – М.: Наука, 1985
4. Бойко В.А., Кременчуцкий Н.Ф. Основы теории расчета вентиляции шахт. – М.: Недра, 1978. – 280 с.
5. Инструкция по количеству воздуха, необходимого для проветривания действующих угольных шахт. – М.: Недра, 1975. – 79 с.