УДК 622.45

Столбченко О.В., канд.техн. наук
(ДВНЗ «НГУ»)

ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНУ У ВИХІДНОМУ СТРУМЕНІ ТУПИКОВОЇ ВИРОБКИ

Столбченко. Е.В., канд. техн. наук
(ГВУЗ «НГУ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ИСХОДЯЩЕЙ СТРУЕ ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКИ

Stolbchenko Ye. V., Ph.D. (Tech.)
(SHEI «NMU»)

DETERMINATION OF METHANE CONCENTRATION IN THE STREAM OUTGOING FROM THE BLIND DRIFT

Анотація. Для забезпечення подачі повітря в підготовчий вибій тупикової виробки застосовується вентиляційна система місцевого провітрювання, основними складовими якої є вентилятор місцевого провітрювання (ВМП) і вентиляційний трубопровід. Основними розрахунковими технологічними параметрами при виборі устаткування є витрата повітря, діаметр і довжина трубопроводу.

У статті розглянуті питання визначення основних характеристик системи вентиляції тупикових виробок з урахуванням конкретних аеродинамічних характеристик вентиляторів місцевого провітрювання. Практична цінність роботи полягає в розробці універсальної моделі вентиляційної системи тупикової виробки, яка дозволяє використовувати всі складові джерела тяги і трубопровід при різних варіантах провітрювання. У статті визначається концентрація метану на вихідному струмені тупикової виробки шляхом вирішення диференціальних рівнянь.

Ключові слова: провітрювання, вентиляційний трубопровід, тупикова виробка.

Вступ. Безпека робіт у підготовчих вибоях безпосередньо залежить від ефективності їх провітрювання. В даний час розрахунок параметрів вентиляції тупикових виробок здійснюється відповідно до [1]. Особливість провітрювання цих виробок є , по-перше, необхідність застосовувати додатково до ГВУ (головної вентиляційної установки) вентиляторів місцевого провітрювання, а по-друге, виділення метану у виробки відбувається як зосереджено (безпосередньо в вибої), так і розосереджено (по всій довжині виробки пласта). Остання обставина призводить до того, що можливий розгляд завдання провітрювання тупикової виробки у двох варіантах: при виносі метаноповітряної суміші, яка виходить із виробки струменем, при зниженні концентрації CH_4 до допустимих норм згідно ПБ [2] без виносу струменя.

Темпи проведення підготовчих виробок на вугільних шахтах можуть обмежуватися газовим фактором. Інтенсивне метановиділення з вугільних і вміщаючих порід в гірничу виробку призводить до підвищення концентрації газу у

© Столбченко О.В., 2013

вихідному струмені, що становить загрозу виникнення вибухонебезпечної метаноповітряної суміші. Тому визначення концентрації метану в підготовчих виробках є актуальним завданням.

Метою статті є розробка методики визначення концентрації метану у вихідному струмені тупикової виробки. Витрата метану, в метаноповітряної суміші (МВС), що протікає по тупиковій виробці в напрямку від вибою виробки до її гирла можна описати рівнянням [1]

$$V = \frac{100SI_n dl}{Qk_{ут}},$$

де $I_п$ – метановиділення в тупикову виробку, яка стелиться по вугільному пласту, м^3/хв.; S – площа поперечного перерізу тупикової виробки, м^2; l – довжина тупикової виробки, м; Q – витрата повітря, що надходить в забій тупикової виробки, м^3/хв.; $к_{ут}$ – коефіцієнт витоків повітря в трубопроводі.

З іншого боку, витрата метану в поперечному перерізі тупикової виробки визначається рівнянням

$$V = ldc, \tag{1}$$

де c – концентрація метану в поперечному перерізі тупиковій виробки, %.

Рівність цих витрат описується диференціальним рівнянням

$$dc = \frac{100I_n dl}{SlQk_{ут}}. \tag{2}$$

Метановиділення

$$I_п = I_{пов} + I_{о.у.п.},$$

де $I_{пов}$ – метановиділення з нерухомих оголених поверхонь пласта м^3/хв.; $I_{о.у.п.}$ – метановиділення з відбитого вугілля, м^3/хв.

$$I_{пов} = 2{,}3 \cdot 10^{-2} m_п v_п (x - x_0) к_т,$$

де $m_п$ – повна потужність вугільних пачок пласта, м; $v_п$ – проектна швидкість посування вибою тупикової виробки, м/доб; x – природна метаноносность пласта, м^3/т; x_0 – залишкова метаноносность вугілля, м^3/т; $к_т$ – коефіцієнт, що враховує зміну метановиділення в часі, частки од.

Метановиділення з відбитого вугілля при виїмці вугілля комбайнами визначається за формулою

$$I_{о.у.п} = \gamma к_{м.у.} (x - x_0),$$

де γ – технічна продуктивність комбайна, т/мин; $к_{м.у.}$ – коефіцієнт, що враховує ступінь дегазації відбитого вугілля, частки од.

Аеродинамічна характеристика ВМП, використовуваного для провітрювання

тупикової виробки, може бути представлена у вигляді лінійної залежності

$$h_в = a_0 - a_1 Q_в,$$

де $h_в$ – напірна депресія вентилятора, даПа; $Q_в$ – подача вентилятора м^3/с; a_0, a_1 – коефіцієнти рівняння.

Витрата повітря, що надходить в призабійний простір тупикової виробки

$$Q = Q_в / \kappa_{ут}.$$

Характеристика вентилятора ВМ-5 при куті повороту лопаток $\theta = 20^º$, описується рівнянням

$$h = 492{,}39 - 95{,}24Q.$$

При використанні текстовінітових трубопроводів коефіцієнт витоків повітря в трубопроводі визначається відповідно до табл. 23.4 [3].

Коефіцієнт витоків з достатньою точністю описується емпіричною формулою

$$\kappa_{ут} = \frac{1}{a + bl}.$$

При трубопроводі діаметром 0,6 м ця формула має вигляд

$$\kappa_{ут} = \frac{1}{1{,}026 + 0{,}000325l}.$$

При l = 500 м, $\kappa_{ут}$ = 1,19.

Математична модель вентиляційної системи тупикової виробки буде у вигляді

$$\frac{6{,}48\alpha l k_{ут} \theta_{зп}^2}{d_{тр}^5} = a_0 - a_1 \kappa_{ут.тр} Q_{зп},$$

де α – коефіцієнт аеродинамічного опору трубопроводу, даПа·с^2/м^4; $d_{тр}$ – діаметр трубопроводу; l – довжина трубопроводу, м.

Витрата повітря, що надходить в призабійний простір тупикової виробки визначається при вирішенні рівняння

$$Q = \frac{-A_2 \pm \sqrt{A_2^2 - 4A_1 a_0}}{2A_1},$$

де $A_1 = \dfrac{6{,}48\alpha l k_{ут}}{d_{тр}^5}$; $A_2 = a_1 \kappa_{ут.}$

При α = 0,00047, l = 500 м.

$\kappa_{ут}$ = 1,19, $d_{тр}$ = 0,6, a_1 = 95,2, a_0 = 492,39. $Q_{зп}$ = 2,77 м^3/хв.

Концентрація метану на вихідному струмені тупикової виробки визначається при квадратуванні диференціального рівняння (2)

$$c = \frac{100I}{SQ}\int_{l_0}^{L_n}\frac{dc}{k_{ут}l} = \frac{100I}{SQ}\int_{l_0}^{L_n}\frac{(a+bl)}{l}dc = \frac{100I}{SQ}\left(\int_{l_0}^{L_n}\frac{a}{l}dc + \int_{l_0}^{L_n} bdc\right) =$$

$$= \frac{100I}{SQ_{зп}}\left(a(\ln L_n \ln l_0) + b(L_n - l_0)\right).$$

При $I_{пов}$ = 1,09 м^3/хв, $Q_{зп}$ = 166,2 м^3/хв, S = 10 м^2, $L_п$ = 500 м, l_0 = 10 м, a = 1,026, b = 0,000325, с = 0, 28 %.

Коефіцієнт витоків повітря для жорстких вентиляційних труб визначається за формулою [1]

$$\kappa_{ут.тр} = \left(\frac{1}{3}\kappa_{ут.ст} d_{тр}\frac{l_{тр}}{l_{зв}}\sqrt{R_{тр.ж}} + 1\right)^2,$$

де $\kappa_{ут.ст}$ – коефіцієнт питомої стикової повітряпроникливості при фланцевому з'єднанні трубопроводу; $l_{зв}$ – довжина ланки трубопроводу, м; $R_{тр.ж}$ – аеродинамічний опір жорсткого трубопроводу без витоків повітря, Па·с^2/м^6.

$$R_{тржс} = 1{,}2R_{тр},$$

де 1,2 – коефіцієнт, що враховує нелінійність трубопроводу і невідповідність стиків

$$R_{тр} = \frac{6{,}5\alpha l}{d_{тр}^5}.$$

При використанні жорсткого трубопроводу концентрація метану на вихідному струмені трубопроводу визначається при квадратуванні інтеграла

$$c = \frac{100I}{SQ}\int_{l_0}^{L_n}\frac{dc}{l\left(\frac{1}{3}k_{ут.тр}d_{тр}\frac{l}{l_{зв}}\sqrt{R_{тр.ж}} + 1\right)^2}, \qquad (3)$$

Квадратування інтеграла (2) можна виконати з використанням теореми про середнє інтегральне числення [4], згідно з якою певний інтеграл дорівнює добутку довжини проміжку інтегрування (a,b) на значення підінтегральної функції в деякій точці ξ в проміжку (a,b):

$$\int_a^b f(x)dx = (b-a)f(\xi),$$

$$a \le \xi < b,$$

приймаємо $\xi = \dfrac{a+b}{2}$.

Формулу (3) можна записати у вигляді

$$k_{ут} = \left(0{,}93к_{ут.ст}d_{тр}^{-1,5}l^{1,5}\alpha^{0,5}l_{зв}^{-1}+1\right)^2.$$

Середнє значення коефіцієнта витоків буде у вигляді

$$k_{ут.ср} = \left(0{,}93к_{ут.ст}d_{тр}^{-1,5}\alpha^{0,5}l_{зв}^{-1}\left(\frac{L_п - l_0}{2}\right)^{1,5}+1\right)^2.$$

Концентрація метану на вихідному струмені тупикової виробки при жорсткому трубопроводі визначається виразом

$$c = \frac{100I_п}{SQ_{зп}(L_п + L_0)k_{ут.ср}},$$

при $I_п = 1{,}09$ м^3/хв; $S = 10$ м^2, $Q_{зп} = 145{,}36$, $L_п = 500$ м, $l_0 = 10$ м, $\alpha = 0{,}0003$ Н·с^2/м^4.

Концентрація метану на вихідному струмені жорсткого трубопроводу при роботі ВМП ВМ-5 буде $c = 0{,}24$ %.

Висновки. Описано метод визначення концентрації метану на вихідних струменях тупикових виробок при використанні поліхлорвінілового і жорсткого трубопроводів. Рішення задач створено при складанні та вирішенні диференціальних рівнянь. Використовується ВМП з лінійною характеристикою (у чисельних прикладах ВМП ВМ-5).

При використанні жорсткого трубопроводу квадратування вироблено з використанням теореми про середню інтегрального числення. Розроблені методи перевірені при вирішенні численних прикладів. Матеріали статті можуть бути використані при вентиляційних розрахунках на діючих шахтах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. НПАОП 10.0-7.08-93 Керівництво щодо проектування вентиляції вугільних шахт. – Київ, Держнаглядохоронпраці України, 1994. – 311 с.

2. Правила безпеки у вугільних шахтах. – К., 2000. – 398 с.
3. Аэрология горных предприятий/ К. З. Ушаков , А. С. Бурчаков , Л. А.Пучков [и др.].– М.: – Недра, 1987. – 421 с.
4. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике/ М.Я. Выгодский– М.: Наука, 1977. – 241 с.

REFERENCES

1. State committee of ukraine for control of labour protection (1994), LAGA 10.0-7.08-93. Kerivnytstvo shchodo proektuvannya ventylyatsii vugilnykh shakht [LAGA 10.0-7.08-93. Design Manual ventilation of coal mines], State committee of ukraine for control of labour protection, Kiev, Ukraine.
2. *Pravila bezpeky u vugilnykh shakhtakh* (2000), Safety in Coal Mines, Kiev, Ukraine.
3. Ushakov, K.Z., Burchakov, A.S., Puchkov, L.A. and Medvedev, I.I. (1987) *Aerologiya shakht* [Aerology of mines], Nedra, Moscow, USSR.
4. Vygodskiy, M.Ia. (1977), *Spravochnik po vysshey matematike* [Handbook of higher mathematics], Nauka, Moscow, USSR.

Про авторів

Столбченко Олена Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри Аерології та охорони праці, Державний вищій навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВУЗ «НГУ»), Дніпропетровськ, Україна, elena_aot@ukr.net

About the authors

Stolbchenko Elena Vladimirovna, Candidate of Technikal Sciences (Ph.D), Associate Professor of Department Aerology and Protection Of Labour, State Higher Educational Institution “National Mining University” (SHEI “NMU”), Dnepropetrovsk, Ukraine, elena_aot@ukr.net

---

Аннотация. Для обеспечения подачи воздуха в подготовительный забой тупиковой выработки применяется вентиляционная система местного проветривания, основными составляющими которой является вентилятор местного проветривания (ВМП) и вентиляционный трубопровод. Основными расчетными технологическими параметрами при выборе оборудования являются расход воздуха, диаметр и длина трубопровода**.**

В статье рассмотрены вопросы определения основных характеристик системы вентиляции тупиковых выработок с учетом конкретных аэродинамических характеристик вентиляторов местного проветривания. Практическая ценность работы заключается в разработке универсальной модели ве-нтиляционной системы тупиковой выработки, которая позволяет использовать все составные источники тяги и трубопровод при разных вариантах проветривания. В статье определяется концентрация метана на исходной струе тупиковой выработки путем решения дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: проветривание, вентиляционный трубопровод, тупиковая выработка.

Annotation. In order to feed air into preparatory roadway of the blind drift a vent system of local ventilation is used, basic elements of which are booster fan (BF) and vent pipeline. Basic calculated technological parameters for choosing proper equipment are air consumption and pipeline diameter and length.

In this article, issues on specifying basic characteristics for the ventilation systems in the blind drifts are considered with taking into account concrete aerodynamic characteristics of the booster fans. Practical value of the work lies in designing of an universal model of ventilating system in the blind drift, which allows using of all compound sources of the draft and pipeline at various modes of airing. In the article, methane concentration of the outgoing stream in the blind drift is defined with the help of differential equations.

Keywords: airing, ventilating pipeline, deadlock development.

Статья поступила в редакцию 05.09.2013
Рекомендовано к публикации д.т.н., проф. В.И. Голинько