

М.Ф. Кременчуцький, О.А. Муха, І.І. Пугач, С.І. Пугач, О.В. Столбченко

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТУПИКОВИХ ВИРОБОК

### DETERMINATION OF PARAMETERS OF VENTILATION OF DEAD-LOCKED MAKING

Розглядаються питання визначення основних характеристик системи вентиляції тупикових виробок, з урахуванням конкретних аеродинамічних характеристик вентиляторів місцевого провітрювання. Розроблено математичну модель даної системи в розгорненому вигляді. При вирішенні поставленої задачі розглянуто варіанти використання одиночної та парної роботи вентиляторів. Достовірність запропонованої методики підтверджується чисельними розрахунками. Практична цінність роботи полягає в розробленні універсальної моделі вентиляційної системи тупикової виробки, що дозволяє враховувати всі складові джерела тяги і повітропроводу при різних варіантах провітрювання.

**Ключові слова:** аерологія, тупикові виробки, параметри вентиляції.

**Вступ.** Своєчасна підготовка запасів вугілля до виймання в великій мірі залежить від швидкості пошування підготовчих вибоїв. У газових шахтах обмежувальними факторами є виділення метану в привибійний простір та значне пиловиділення при роботі гірничого обладнання. В зв'язку з цим виникає проблема якісного провітрювання підготовчих вибоїв, забезпечення санітарно-гігієнічних умов та безпеки праці на робочих місцях. Виходячи з вищенаведеного, питання розробки системи вентиляції тупикової виробки є актуальним.

**Постановка питання.** Метою цієї роботи є визначення параметрів вентиляції тупикових виробок при роботі одного та декількох вентиляторів місцевого провітрювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– скласти математичну модель вентиляційної системи тупикової виробки з жорстким трубопроводом;

– описати характеристику вентилятора місцевого провітрювання у вигляді емпіричної залежності;

– визначити залежність коефіцієнта витоків повітря від довжини жорсткого трубопроводу;

– розробити розрахункові формули для визначення витоків повітря, довжини і діаметра трубопроводу місцевого провітрювання при одному і двох вентиляторах, що працюють одночасно.

Математична модель вентиляційної системи провітрювання тупикової виробки при жорсткому (металевому) трубопроводі матиме вигляд:

$$r l p Q_3^2 = b_0 - b_2 p^2 Q_3^2, \quad (1)$$

де  $p$  – коефіцієнт витоків повітря у вентиляційному трубопроводі;  $r$  – питомий аеродинамічний опір щільного трубопроводу,  $\text{Нс}^2/\text{м}^9$ ;  $l$  – довжина трубопроводу, м;  $Q_3$  – витрата повітря, яке необхідно подавати у вибій підготовчої виробки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $b_0$ ,  $b_2$  – коефіцієнти апроксимаційного рівняння характеристики вентилятора місцевого провітрювання.

Характеристика вентилятора може описуватися рівнянням

$$h_e = b_0 - b_2 Q_B^2, \quad (2)$$

де  $b_0$ ,  $b_2$  – коефіцієнти в апроксимаційній формулі;  $Q_B$  – подача вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $h_e$  – напірна депресія вентилятора, даПа.

Для вентилятора ВМЦ-6, при куті нахилу лопаток напрямного апарата  $\theta = 30^\circ$ .

$$h_e = 750 - 9,375 Q_B^2.$$

Залежність коефіцієнта витоків повітря від довжини жорсткого трубопроводу [1]

$$p = 1 + \frac{f}{3} l + \frac{5f^2}{6} l^2,$$

де  $f$  – функція залежності питомих коефіцієнтів витоків повітря і опору трубопроводу, яка дорівнює

$$f = \sqrt[3]{\frac{r k^2}{2}}, \quad k \text{ – питомий коефіцієнт витоків повітря}$$

(витоки повітря на 1 м при різниці тиску  $10 \text{ Н}/\text{м}^2$ ),

$$k = k_y \frac{d_{mp}}{m}; \quad k_y \text{ – коефіцієнт питомої стикової повітро-}$$

проникності при оцінці металевого трубопроводу, що діє;  $d_{mp}$  – діаметр трубопроводу, м;  $m$  – довжина ланки трубопроводу, м

$$r = \frac{6,48\alpha}{d_{mp}^5},$$

$\alpha$  – коефіцієнт аеродинамічного опору трубопроводу,  $\text{Нс}^2/\text{м}^4$ .

Рівняння (1) дозволяє визначити витрату повітря, що поступає у вибій підготовчої виробки при відомій величині інших параметрів.

Математична модель вентиляційної системи в розгорнутому виді запишеться

$$rQ_3^2 l + rQ_3^2 a_1 l^2 + rQ_3^2 a_2 l^3 + b_2 Q_3^2 + b_2 Q_3^2 a_1^2 l^2 + b_2 Q_3^2 a_2^2 l^4 + 2b_2 Q_3^2 a_1 l + 2b_2 Q_3^2 a_2 l^2 + 2b_2 Q_3^2 a_1 a_2 l^3 - b_0 = 0. \quad (3)$$

Згідно з рівнянням (2) визначення довжини трубопроводу, на кінець якого подається задана витрата повітря, виражається рівнянням

$$A_1 l^4 + A_2 l^3 + A_3 l^2 + A_4 l + A_5 = 0,$$

де  $A_1 = b_2 Q_3^2 a_2^2$ ;  $A_2 = 2b_2 Q_3^2 a_1 a_2 + rQ_3^2 a_2$ ;  $A_3 = rQ_3^2 a_1 + b_2 Q_3^2 a_1^2$ ;  $A_4 = rQ_3^2 + 2b_2 Q_3^2 a_1$ ;  $A_5 = b_2 Q_3^2 - b_0$ .

При складанні рівняння (3) рівняння (2) записується у вигляді

$$p = 1 + a_1 l + a_2 l^2,$$

де  $a_1 = \frac{f}{3}$ ;  $a_2 = \frac{5f^2}{6}$ .

При початкових даних  $f = 0,062$ ;  $k_y = 0,006$ ;  $d_{mp} = 0,5$  м;  $m = 4$  м;  $a_1 = 0,00087$ ;  $a_2 = 5,6 \cdot 10^{-7}$ ;  $r = 0,062$  рівняння (3) запишеться у вигляді

$$10^{-9} \cdot l^4 + 1,8 \cdot 10^{-6} l^3 + 6,6 \cdot 10^{-4} \times l^2 + 0,313 \cdot l - 712,498 = 0.$$

Для визначення числа позитивного і негативного коріння алгебраїчного рівняння використовують правило Декарта. Якщо в рівнянні немає коефіцієнтів різних нулю, то воно називається «повним».

Якщо рівняння «повне», то число його позитивного коріння рівне числу змін знака або на парне число менше його, а число його негативного коріння рівне числу постійності знаків у ряді коефіцієнтів або менше його на парне число.

Довжина трубопроводу при початкових даних прийнятих раніше і  $Q_3 = 2$  м<sup>3</sup>/с,  $l = 541$  м.

Для визначення величини діаметра трубопроводу при заданій довжині трубопроводу і витраті повітря математична модель (3) набуває вигляду

$$\frac{6,48\alpha Q_3^2 l}{d_{mp}^5} + \frac{6,48\alpha Q_3^2 a_1 l^2}{d_{mp}^5} + \frac{6,48\alpha Q_3^2 a_2^1 l^3}{d_{mp}^5 \cdot d_{mp}^2} + b_2 Q_3^2 + b_2 Q_3^2 a_1^2 l^2 + b_2 Q_3^2 a_2^2 l^4 \frac{l^4}{d_{mp}^2} + 2b_2 Q_3^2 a_1 l + 2b_2 Q_3^2 \frac{a_2^1}{d_{mp}^2} l^2 + 2b_2 Q_3^2 a_1 \frac{a_2^1}{d_{mp}^2} l^3 - b_0 = 0.$$

Для визначення діаметра трубопроводу вирішується рівняння

$$\frac{B_1}{d_{mp}^7} + \frac{B_2}{d_{mp}^5} + \frac{B_3}{d_{mp}^4} + \frac{B_4}{d_{mp}^2} + B_5 = 0, \quad (4)$$

де  $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$  – коефіцієнти математичної моделі, прийняті для спрощення обрахунку необхідних параметрів, які обчислюються як:

$$B_1 = 6,48\alpha Q_3^2 a_2^1 l^3; B_2 = 6,48\alpha Q_3^2 l + 6,48\alpha Q_3^2 a_1 l^2;$$

$$B_3 = b_2 Q_3^2 a_2^2 l^4; B_4 = 2b_2 Q_3^2 a_1^2 l^2 + 2b_2 Q_3^2 a_1 a_2 l^3;$$

$$B_5 = b_2 Q_3^2 + b_2 Q_3^2 a_1^2 l^2 + 2b_2 Q_3^2 a_1 l - b_0.$$

Рівняння (4) в чисельному вираженні буде

$$0,294d^{-7} + 2,941d^{-5} + 0,595 \times d^{-4} + 11,918d^{-2} - 690,37 = 0.$$

При тих же початкових даних і довжині трубопроводів  $l = 300$  м, для подачі в привибійний простір витрати повітря  $Q_3 = 2$  м<sup>3</sup>/с діаметр трубопроводу згідно з (4) дорівнює  $d_{mp} = 0,39$  м.

При роботі двох і більше однотипних вентиляторів методика розрахунку параметрів змінюється мало.

У низці випадків виникає необхідність використання одночасної роботи двох і більше ВМП різного типу.

При установленні на трубопровід двох різнотипних вентиляторів (або вентиляторів з різним кутом повороту лопаток колеса вентилятора) каскадом сумарна напірна депресія описується рівняннями апроксимацій

$$\left. \begin{aligned} h_{e1} &= a_0^1 - a_1^1 Q_{B1}^2 \\ h_{e2} &= b_0 - b_1^1 Q_{B2}^2 \end{aligned} \right\}$$

де  $h_{e1}, h_{e2}$  – напірні депресії двох вентиляторів, даПа;  $Q_{B1}, Q_{B2}$  – подача повітря першого і другого вентиляторів, м<sup>3</sup>/с;  $a_0, a_1, b_0, b_1$  – коефіцієнти рівняння.

При установленні вентиляторів каскадом результуюча напірна депресія рівна сумі парціальних депресій при рівності величин подачі повітря вентиляторів

$$\left. \begin{aligned} h_B &= h_{B1} + h_{B2} \\ Q_B &= Q_{B1} = Q_{B2} \end{aligned} \right\}$$

Вентиляційна система провітрювання тупикової виробки описується рівнянням

$$\frac{6,48\alpha l}{d_{mp}^5} p Q_3^2 = (a_0^1 + b_0^1) - (a_1^1 + b_1^1) p Q_3, \quad (5)$$

де характеристика вентилятора виражається за формулою

$$h_B = a_0 + a_1^1 Q_3.$$

Наприклад, характеристика вентилятора ВМ-5 при різних кутах повороту лопаток колеса вентилятора описується рівнянням

$$h_B = 357,76 - 55,55Q_B, \text{ при } \theta = 20^0$$

$$h_B = 467,12 - 25,71Q_B, \text{ при } \theta = 0^0.$$

Згідно з рівнянням (5) витрата повітря, що поступає в привибійний простір тупикової виробки, визначається при рішенні рівняння

$$Q_3 = \frac{-A_1 + \sqrt{A_1^2 + 4A_2(a_0^1 + b_0^1)}}{2A_2},$$

де  $A_1 = (a_1^1 + b_1^1)p$ ;  $A_2 = \frac{6,48\alpha lp}{d_{mp}^5}$ ;  $p = 1 + a_1l + a_2l^2$ .

При  $a_1 = 8,7 \cdot 10^{-4}$ ,  $a_2 = 5,6 \cdot 10^{-6}$ ,  $l = 300$  м;  $a_1^1 = 55,55$ ;  $b_1^1 = 25,71$ ;  $p = 2,26$ ,  $d_{mp} = 0,5$  м, витрата повітря, що поступає у привибійний простір  $Q_3 = 4,3$  м<sup>3</sup>/с.

Для визначення довжини трубопроводу, на кінець якого поступатиме задана витрата повітря, рівняння (5) можна записати у вигляді

$$\frac{6,48\alpha Q_3^2}{d_{mp}^5} (l + a_1l^2 + a_2l^3) = (a_0^1 + b_0^1) - (a_1^1 + b_1^1)(1 + a_1l + a_2l^2)Q_3 \quad (6)$$

чи  $A_1^1l^3 + A_2^1l^2 + A_3^1l + A_4^1 = 0$ ,

де  $A_1^1 = \frac{6,48\alpha Q_3^2 a_2}{d_{mp}^5}$ ;  $A_2^1 = \frac{6,48\alpha Q_3^2 a_1}{d_{mp}^5} + (a_1^1 + b_1^1)Q_3 a_2$ ;

$A_3^1 = \frac{6,48\alpha Q_3^2}{d_{mp}^5} + (a_1^1 + b_1^1)Q_3 a_1$ ;

$A_4^1 = (a_1^1 + b_1^1)Q_3 - (a_0^1 + b_0^1)$ .

Або

$$1,4 \cdot 10^{-6} l^3 + 0,0204 \cdot l^2 + 0,532 \cdot l - 439,34 = 0.$$

При тих же вхідних даних і  $Q_3 = 2$  м<sup>3</sup>/с,  $l = 325$  м.

Для визначення величини діаметра трубопроводу, при якому на задану довжину два вентилятори, встановлені каскадом, подають необхідну кількість повітря, рівняння (6) запишеться у вигляді

$$\frac{6,48\alpha Q_3^2 l}{d_{mp}^5} + \frac{6,48\alpha Q_3^2 l^2 a_1}{d_{mp}^5} + \frac{6,48\alpha Q_3^2 l^3}{d_{mp}^5} \times$$

$$\times \frac{a_2^1}{d_{mp}^2} + (a_1^1 + b_1^1)Q_3 + (a_1^1 + b_1^1)Q_3 l a_1 +$$

$$+ (a_1^1 + b_1^1)l^2 Q_3 \frac{a_2^1}{d_{mp}^2} - (a_0^1 + b_0^1) = 0 \quad (7)$$

$$\text{або } \frac{B_1^1}{d_{mp}^7} + \frac{B_2^1}{d_{mp}^5} + \frac{B_3^1}{d_{mp}^2} + B_4 = 0,$$

де  $B_1^1 = 6,48\alpha Q_3^2 l^3 a_2^1$ ;

$B_2^1 = 6,48\alpha Q_3^2 l + 6,48\alpha Q_3^2 l^2 a_1$ ;  $B_3^1 = (a_1^1 + b_1^1)l^2 a_2^1 Q_3$ ;

$B_4 = (a_1^1 + b_1^1)Q_3 + (a_1^1 + b_1^1)Q_3 l a_1 - (a_0^1 + b_0^1) = 0$ .

Рівняння (7) запишеться у вигляді

$$\frac{0,00174}{d_{mp}^7} + \frac{4,192}{d_{mp}^5} + \frac{36,404}{d_{mp}^2} - 367,962 = 0.$$

При тих же вихідних даних і  $l = 400$  м необхідний діаметр буде рівним  $d_{mp} = 0,4$  м. Для визначення параметрів вентиляційної системи провітрювання тупикових виробок при роботі ВМП на два паралельні трубопроводи при діаметрах різної величини математична модель має вигляд

$$\frac{6,48\alpha l Q^2}{d_{mp1}^5 \left(1 + \sqrt{\frac{d_{mp2}^5}{d_{mp1}^5}}\right)^2} = a_0^1 - a_1 Q_3,$$

де  $d_{mp1}$  і  $d_{mp2}$  – відповідно діаметри першого і другого трубопроводів, м;  $Q_3$  – подача вентилятора.

$$Q = \frac{c_1 + \sqrt{c_1^2 + 4c_2 a_0^1}}{2c_2},$$

де  $c_1 = a_0^1$ ;  $c_2 = \frac{6,48\alpha \cdot l}{d_{mp1}^5 \left(1 + \sqrt{\frac{d_{mp2}^5}{d_{mp1}^5}}\right)^2}$  при тих же вихідних даних і  $l = 500$  м,  $Q_3 = 4,89$  м<sup>3</sup>/с.

Для визначення витрати повітря, що протікає по одному з паралельних трубопроводів, вирішується рівняння

$$c_1^1 Q_1^2 + c_2^1 Q_1 + c_3^1 = 0,$$

де  $c_1^1 = d_{mp2}^5 - d_{tp2}^5$ ;  $c_2^1 = 2Qd_{tp1}^5$ ;  $c_3^1 = -Q^2 d_{mp1}^5$ .

$$Q_1 = \frac{-l_2^1 + \sqrt{c_2^{12} + 4c_1^1 c_3^1}}{2c_1^1},$$

$Q_1$  – витрата повітря, що протікає по першому трубопроводу, м<sup>3</sup>/с.

Витрата повітря, що поступає по другому трубопроводу

$$Q_2 = Q - Q_1$$

при тих же вихідних даних і загальній витраті повітря  $Q = 4$  м<sup>3</sup>/с,  $Q_1 = 2,86$  м<sup>3</sup>/с;  $Q_2 = 1,14$  м<sup>3</sup>/с.

Витрата повітря, що поступає в привибійний простір тупикової виробки по першому паралельному трубопроводу

$$Q_{31} = \sqrt{Q_1}$$

і по другому трубопроводу

$$Q_{32} = \sqrt{Q_2} .$$

При тих же вихідних даних  $Q_{31} = 1,69 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $Q_{32} = 1,07 \text{ м}^3/\text{с}$ .

**Висновки.** Таким чином, наведені дані можуть бути використані для розрахунку параметрів тупикових виробок, наводиться методика розрахунку основних параметрів вентиляції тупикових виробок; визначаються довжина і діаметр трубопроводу місцевого провітрювання при одному і двох вентиляторах, що працюють одночасно; матеріали статті можуть бути використані при вентиляційних розрахунках в проектних організаціях і на шахтах.

#### Список літератури

1. Інструкція з розрахунку кількості повітря, необхідного для провітрювання вугільних шахт, що діють. – М.: Надра, 1975. – 79 с.
2. Жваво С.А., Кременчуцкий Н.Ф. Основи теорії розрахунку вентиляції шахт. – М.: Надра, 1978.

Рассматриваются вопросы определения основных характеристик системы вентиляции тупиковых выработок с учетом конкретных аэродинамических характеристик вентиляторов местного проветривания. Раз-

работана математическая модель рассматриваемой системы в развернутом виде. При решении поставленной задачи рассмотрены варианты использования одиночной и парной работы вентиляторов. Достоверность предлагаемой методики подтверждается численными расчетами. Практическая ценность работы заключается в разработке универсальной модели вентиляционной системы тупиковой выработки, позволяющей учитывать все составляющие источника тяги и воздуховода при различных вариантах проветривания.

**Ключевые слова:** аерологія, тупикові виробки, параметри вентиляції.

The questions of determination basic descriptions of the system ventilation making of deadlocks are examined taking into account concrete aerodynamic descriptions ventilators of local ventilation. The mathematical model the examined system is developed in the unfolded kind. At a decision set the problem the variants of the use single and pair work of ventilators are considered. Authenticity of the offered method is confirmed numeral calculations. The practical value of work consists in development universal model a vent system deadlock making, allowing to take into account all constituents source of traction and vozdukhovoda at the different variants of ventilation.

**Key words:** aerology, dead-end mine workings, ventilation parameters.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Голінком 02.02.10