

С.П. Мінеєв, Л.А. Новіков, П.М. Самопаленко, Р.В. Макаренко

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВИТОКІВ ПОВІТРЯ ЧЕРЕЗ ВИРОБЛЕНИЙ ПРОСТІР ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Анотація. У статті розглянуто закономірності руху витоків повітря через вироблений простір вугільних шахт. Наведено результати розрахунку результуючих швидкостей витоків повітря в лаві та траєкторій ліній струму у виробленому просторі при прямо-точній та поворотній схемах провітрювання виїмкової ділянки. При проведенні розрахунків використовувався лінійний та двочленний закони фільтрації газу з урахуванням зміни пористості та питомого аеродинамічного опору виробленого простору. Встановлено, що вплив сил інерції призводить до зниження результуючих швидкостей витоків повітря. Отримані результати дозволяють здійснити вибір раціональних схем та режимів провітрювання для зниження загазованості виробок.

Ключові слова: витoki повітря, лінії току, вироблений простір, фільтрація, пористість, градієнт тиску, схеми провітрювання, гірські породи

Постановка проблеми. Витoki повітря через вироблений простір (ВП) вугільних шахт виникають під дією градієнта тисків і становлять 40÷80 % від кількості повітря, що надходить на виїмкову ділянку. Інтенсивність витоків залежить від проникності ВП, величини депресії у виробках, які оконтурюють, використаної схеми провітрювання та інших факторів. При цьому ефективність провітрювання визначається сумарними втратами повітря, що надходить. Рух витоків через ВП призводить до розведення метану та його виносу на вентиляційний штрек у вигляді метаноповітряної суміші з концентрацією метану від 2,5 до 15 %. Це може призводити до загазованості вентиляційних виробок з формуванням шарових та місцевих скупчень, і як наслідок до вибухів метаноповітряних сумішей та шахтних пожеж [1]. Тому визначальним фактором є схема провітрювання, що використовується.

Процес руху витоків повітря через ВП є недостатньо вивченим питанням. Це зумовлено складністю проведення безпосередніх вимірів усередині ВП [2, 3]. Траєкторії ліній току витоків повітря, їх напрямки і швидкість руху визначаються характером зміни абсолютного тиску по довжині виробок, що оконтурюють, і проникністю ВП. У зв'язку з цим актуальним завданням є

отримання закономірностей руху витоків повітря через ВП з урахуванням його фільтраційних параметрів. Це дозволяє вибрати раціональні схеми та режими провітрювання, що забезпечує зниження загазованості виробок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню руху витоків повітря через ВП та розробці методів їх розрахунку присвячено велика кількість робіт. Зокрема у роботах [4, 5] при побудові ліній току витоків повітря використовувалися електричні та гідродинамічні моделі. Однак у цих роботах відсутні аналітичні залежності, які описують рух витоків та не наведено обґрунтування можливості їх регулювання. У роботі [2, 6] наведено аналітичний та графоаналітичний методи побудови ліній току витоків повітря. Методи базуються на законі фільтрації Дарсі. Недоліками методів є неточності при отриманні рівняння траєкторій ліній току. Крім того, не враховується відхилення від класичного закону фільтрації газу у ВП.

Мета роботи – дослідження закономірностей руху витоків повітря через вироблений простір з урахуванням його фільтраційних параметрів та діючої схеми провітрювання.

Викладення основного матеріалу дослідження. Проникність ВП визначається розмірами шматків гірських порід, ступенем їх ущільнення, тріщинуватістю та пористістю. У міру віддалення від лави відбувається ущільнення гірських порід, що призводить до зниження пористості ВП. Відповідно до [7] пористість ВП поблизу лави після обрушення покрівлі в середньому змінюється від 30 до 40 %. У міру віддалення від лави пористість знижується від 40 до 20 %. При цьому розглядають три режими руху витоків повітря: турбулентний, перехідний та ламінарний. Турбулентний режим спостерігається у зоні розпушених гірських порід на відстані до 30÷100 м від лави [4]. Зі збільшенням відстані турбулентний режим змінюється перехідним і далі ламінарним. Витоки повітря у ВП досягають максимуму на відстані до 50 м від лави, але на відстані понад 500 м прагнуть нулю.

Аеродинамічний опір виробленого простору визначається як

$$R = hQ_y^{-n}, \quad (1)$$

де h – депресія у виробці, Па; Q_y – витрата повітря у витоках, м³/с; n – показник ступеня, що залежить від режиму руху повітря ($n = 1$ – ламінарний, $1 < n < 2$ – перехідний, $n = 2$ – турбулентний).

Питомий аеродинамічний опір ВП можна визначити за формулою [8]

$$r_x = r_0 + ax^b \approx k_{en}^{-1} \mu, \quad (2)$$

де r_0 – питомий аеродинамічний опір неуцільнених порід ВП, Н·с/м⁵; x – відстань від лави по довжині ВП, м; a, b – числові коефіцієнти, що визначаються згідно [9]; $k_{\text{ен}}$ – коефіцієнт проникності ВП, м²; μ – динамічна в'язкість газу, Па·с.

Витоки повітря розглядаються як плоский потік газу, який описується рівнянням [3]

$$d\psi(x, y) = U_x dy - U_y dx, \quad (3)$$

де $\psi(x, y)$ – функція току; U_x, U_y – поздовжня та поперечна складові швидкості газу в точці з координатами (x, y) , м/с.

При описі плоскої течії газу через ВП використовується закон фільтрації Дарсі, який з урахуванням (3) можна уявити у вигляді [3, 6, 8]

$$U = -\frac{k_{\text{ен}}}{\mu} \frac{\Delta p}{\Delta l} = -\frac{1}{r_x} \frac{\Delta p}{\Delta l} = -\frac{1}{r_0 + ax^b} \frac{\Delta p}{\Delta l}, \quad (4)$$

де U – швидкість фільтрації, м/с; Δp – перепад тисків за довжиною Δl , Па.

У кускувато-пористому середовищі ВП течія газу характеризується більш високими швидкостями у порівнянні з непорушеними гірськими породами. Зміна прохідних перерізів каналів та їх різкі повороти призводять до виникнення сил інерції, і як наслідок, до відхилення від закону Дарсі. При цьому течія газу описується двочленним законом фільтрації Форхгеймера [10]

$$U = \frac{k_{\text{ен}}}{\mu} \left(\frac{\Delta p}{\Delta l} - AU^2 \right), \quad (5)$$

де A – числовий параметр, величина якого визначається згідно з [10].

$$A = 12 \cdot 10^{-5} k_{\text{нор}}^{-1} (\bar{d} \cdot k_{\text{ен}}^{-0,5})^2 \rho \cdot k_{\text{ен}}^{-0,5} = 384 \cdot 10^{-5} k_{\text{нор}}^{-2} \cdot \rho \cdot k_{\text{ен}}^{-0,5}, \quad (6)$$

де ρ – щільність газу, кг/м³; $\bar{d}$ – усереднений діаметр шматків порід, м; $k_{\text{нор}}$ – коефіцієнт пористості ВП, д.е.

З урахуванням (4) вираз (6) набуде вигляду

$$A = 384 \cdot 10^{-5} (k_{\text{нор}})^{-2} \rho [\mu \cdot (r_0 + ax^b)^{-1}]^{0,5}. \quad (7)$$

Вирішуючи рівняння (5), отримаємо співвідношення для поздовжньої та поперечної складових швидкості витоків повітря:

$$U_x = \frac{1}{2A} \left(\sqrt{\frac{\mu^2}{k_{\text{ен}}^2} + 4A \frac{\Delta p_x}{\Delta x}} - \frac{\mu}{k_{\text{ен}}} \right); \quad U_y = \frac{1}{2A} \left(\sqrt{\frac{\mu^2}{k_{\text{ен}}^2} + 4A \frac{\Delta p_y}{\Delta y}} - \frac{\mu}{k_{\text{ен}}} \right), \quad (8)$$

На рис. 1 представлено зміну абсолютного тиску повітря уздовж меж ВП при прямооточній схемі провітрювання 2-В-Н-в-пт (із підсвіженням) виїмковій ділянці 10-й західної лави по пласту l_1 шахти ім. О.Ф. Засядька (2003 р.) [8] і

зворотноточної схеми провітрювання 1-М-Н-в-вт виїмковій ділянці другий південний лави блоку № 7 ПАТ "Шахтоуправління" Покровське"

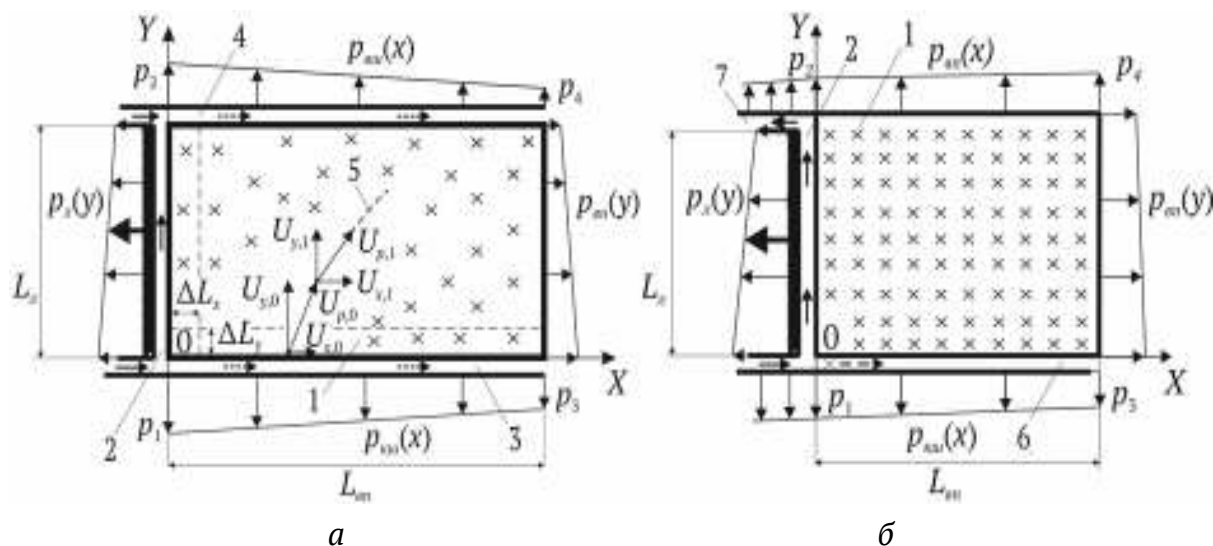


Рисунок 1 – Зміни абсолютного тиску повітря уздовж меж виробленого простору при прямооточній схемі провітрювання 2-В-Н-в-пт (а) і зворотноточної схеми провітрювання 1-М-Н-в-вт (б)

На рис. 1 наведені наступні позначення: 1 – ВП; 2 – лави; 3 – конвеєрний штрек; 4 – вентиляційний трек; 5 – лінія току; 6, 7 – перший і другий південні конвеєрні штреки, відповідно; $L_{\text{л}}$, $L_{\text{вп}}$ – довжина лави і ВП, відповідно, м; ΔL_x , ΔL_y – ширина вертикальної та горизонтальної смуг ВП, м; $p_{\text{кш}}(x)$, $p_{\text{вш}}(x)$, $p_{\text{л}}(y)$, $p_{\text{вп}}(x)$, $p_{\text{вп}}(y)$ – зміна абсолютних тисків повітря, відповідно по довжині конвеєрного та вентиляційного штреків, лави, ВП (уздовж осей OX и OY), Па; p_1 , p_2 , p_3 , p_4 – абсолютний тиск повітря на межах ВП, Па; $U_{x,0}$, $U_{x,1}$ – поздовжні складові швидкості витоків повітря, м/с; $U_{y,0}$, $U_{y,1}$ – поперечні складові швидкості витоків повітря, м/с; $U_{p,0}$, $U_{p,1}$ – результуючі швидкості витоків по, м/с.

Розглянемо прямооточну схему провітрювання 2-В-Н-в-пт з тристороннім примиканням до виробленого простору (рис. 1, а). Співвідношення для градієнтів тиску по ширині смуг ВП [3, 6]:

$$\frac{\Delta p_x}{\Delta L_x} = \frac{p_{\text{л}}(y) - p_{\text{вп}}(y)}{L_{\text{вп}}} = \frac{h_{\text{вп}} - h_{\text{л}}}{L_{\text{л}} L_{\text{вп}}} y + \frac{h_{\text{кш}}}{L_{\text{вп}}}; \quad \frac{\Delta p_y}{\Delta L_y} = \frac{p_{\text{кш}}(x) - p_{\text{вш}}(x)}{L_{\text{л}}} = \frac{h_{\text{вш}} - h_{\text{кш}}}{L_{\text{л}} L_{\text{вп}}} x + \frac{h_{\text{л}}}{L_{\text{л}}}, \quad (9)$$

де $h_{\text{л}}$, $h_{\text{вп}}$, $h_{\text{кш}}$, $h_{\text{вш}}$ – депресії, відповідно лави, усередині ВП, на вентиляційному та конвеєрному штреках, Па.

Приймаючи $\Delta x = \Delta L_x$, $\Delta y = \Delta L_y$, з урахуванням (7) и (9) представимо вираз (8) у вигляді:

$$U_x = \frac{\sqrt{r_x^2 + 4A \left(\frac{h_{\text{вн}} - h_{\text{л}}}{L_{\text{л}} L_{\text{вн}}} y + \frac{h_{\text{кш}}}{L_{\text{вн}}} \right)} - r_x}{2A}; \quad U_y = \frac{\sqrt{r_x^2 + 4A \left(\frac{h_{\text{вн}} - h_{\text{кш}}}{L_{\text{л}} L_{\text{вн}}} x + \frac{h_{\text{л}}}{L_{\text{л}}} \right)} - r_x}{2A}. \quad (10)$$

Результуюча швидкість руху витоків повітря

$$U_p = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}. \quad (11)$$

Початкові значення швидкостей витоків повітря визначаються на межі ВП уздовж лави та за довжиною ВП (по довжині конвеєрного штреку). Зв'язок між координатами та результуючими швидкостями витоків повітря має вигляд:

$$x_i = x_0 + \sum_{i=1}^{N_x} |U_{x,i-1}|; \quad y_j = y_0 + \sum_{j=1}^{N_y} |U_{y,j-1}|; \quad U_{p,j} = \sqrt{U_{x,j}^2 + U_{y,j}^2}, \quad (12)$$

де x_0, y_0 – початкові координати точки на межі ВП, м; x_j, y_j – поточні координати, м.

Для визначення швидкостей витоків повітря і побудови траєкторій ліній току приймемо наступні вихідні дані: управління покрівлею – повне обрушення; властивості гірських порід покрівлі – середньообрушені; $p_1 = 115000$ Па; $p_2 = 114780$ Па; $p_3 = 114890$ Па; $p_4 = 113640$ Па; режим руху витоків повітря – ламінарний; $r_0 = 60$ Н·с/м⁵; $a = 6 \cdot 10^{-8}$; $b = 4$; $\rho = 1,184$ кг/м³; $\mu = 1,72 \cdot 10^{-5}$ Па·с; $L_{\text{л}} = 240$ м; $L_{\text{вн}} = 390$ м; $k_{\text{нор}} = 0,3 \div 0,4$ (по довжині лави, рахуючи від центру); $k_{\text{нор}} = 0,2$ (на відстані $L_{\text{вн}}$ від лави); $x_0 = 0, 60, 120, 180$ и 210 м (по довжині лави); $y_0 = 0, x_0 = 90, 180, 270$ і 350 м (по довжині конвеєрного штреку).

Розрахунки проводились з використанням програми РТС Mathcad.

На рис. 2 наведено результати розрахунку результуючих швидкостей витоків повітря у ВП по довжині лави.

Аналіз рис. 2 показує, що при двочленному законі фільтрації (рис. 2, а) результуючі швидкості витоків повітря менше, ніж при лінійному законі (рис. 2, б), що обумовлено втратами тиску в результаті впливу інерційних сил. При двочленному законі (рис. 2, а) максимум швидкостей витоків розташований усередині ВП на відстані $78 \div 115$ м від лави, а при лінійному законі (рис. 2, б) – на відстані $82 \div 121$ м. Крім того, у міру наближення до вентиляційного штреку відбувається збільшення початкових значень результуючої швидкості витоків повітря по довжині лави уздовж межі ВП, що пояснюється відповідним збільшенням поздовжніх складових швидкості та постійними значеннями поперечних складових.

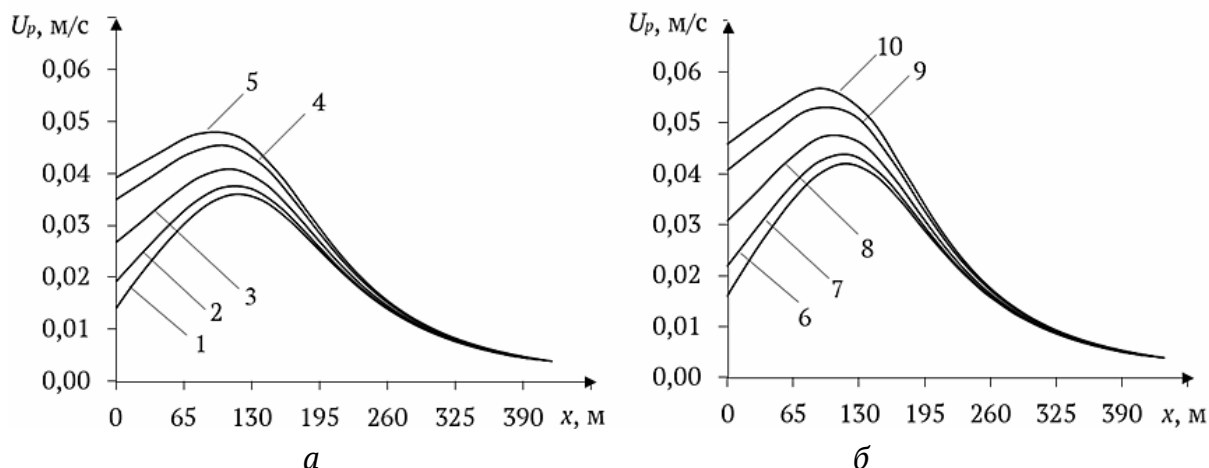


Рисунок 2 – Зміна результуючих швидкостей витоків повітря в виробленому просторі по довжині лави при двочленному (а) та лінійному (б) законах фільтрації: 1, 2, 3, 4, 5 – відповідно при $y_0 = 0, 60, 120, 180$ і 210 м; 6, 7, 8, 9, 10 – відповідно при $y_0 = 0, 60, 120, 180$ і 210 м

На рис. 3 представлено зміну початкової результуючої швидкості витоків повітря по довжині лави уздовж межі ВП у напрямку руху вентиляційного потоку та форма траєкторій ліній току при використанні двочленного закону фільтрації

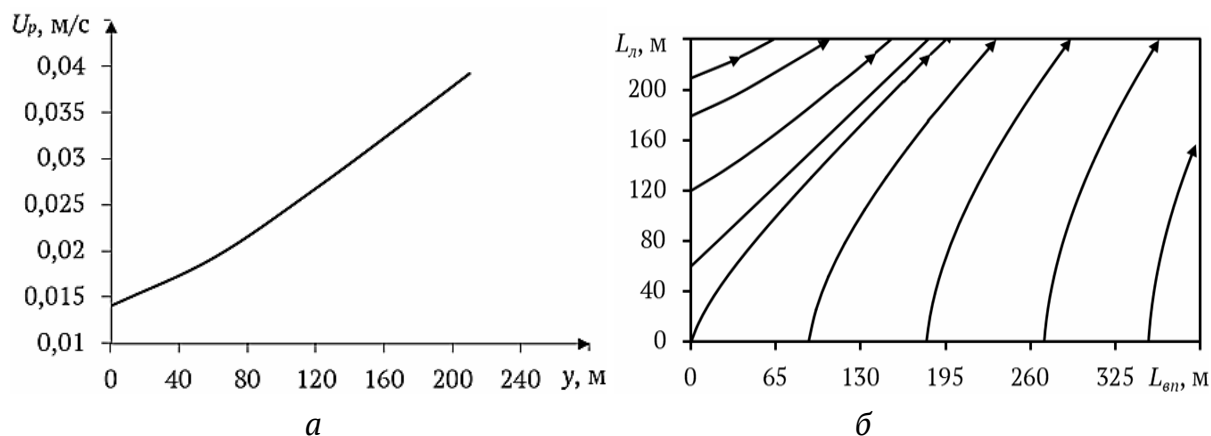


Рисунок 3 – Зміна початкової результуючої швидкості витоків повітря по довжині лави у напрямку руху вентиляційного потоку (а) та траєкторії ліній току у виробленому просторі (б)

З аналізу рис. 3, а випливає, що результуюча швидкість витоків повітря прямо пропорційна відстані від початку лави в напрямку вентиляційного потоку. З рис. 3, б слід, що при прямоточній схемі провітрювання 2-В-Н-в-пт ви- токи повітря рухаються у бік вентиляційного штреку, у якому величина депресії менше, ніж у конвеєрному.

Траєкторії ліній току при законі Дарсі мають аналогічний вигляд.

Розглянемо зворотноточну схему провітрювання 2-В-Н-в-пт з одностороннім примиканням до виробленого простору (рис. 1, б). Для градієнтів тиску отримаємо:

$$\frac{\Delta p_x}{\Delta L_x} = \frac{p_l(y) - p_{en}(y)}{L_{en}} = \frac{h_y - h_l}{L_l L_{en}} y + \frac{h_{ки}}{L_{en}}; \quad \frac{\Delta p_y}{\Delta L_y} = \frac{p_{ки}(x) - p_{en}(x)}{L_l} = \frac{h_x - h_{ки}}{L_l L_{en}} x + \frac{h_l}{L_l}, \quad (13)$$

де h_x, h_y – депресії ВП, відповідно уздовж осей OX і OY , Па; $h_{ки}$ – депресія підтримуваної ділянки другого південного конвеєрного штреку, Па.

Для визначення швидкостей витоків повітря і побудови траєкторій ліній току приймемо наступні вихідні дані: управління покрівлею – повне обрушення; властивості гірських порід покрівлі – середньообрушені; $p_1 = 115500$ Па; $p_2 = 115250$ Па; $p_3 = 115450$ Па; $p_4 = 115300$ Па; режим руху витоків повітря – ламінарний; $r_0 = 60$ Н·с/м⁵; $a = 6 \cdot 10^{-8}$; $b = 4$; $\rho = 1,184$ кг/м³; $\mu = 1,72 \cdot 10^{-5}$ Па·с; $L_l = 250$ м; $L_{en} = 1069$ м; $k_{пор} = 0,3 \div 0,4$ (по довжині лави, рахуючи від центру); $k_{пор} = 0,2$ (на відстані L_{en} від лави); $x_0 = 0, y_0 = 0, 10, 30, 40$ и 60 м (по довжині лави); $y_0 = 0, x_0 = 10, 50, 100$ и 150 м (по довжині підтримуваної ділянки конвеєрного штреку).

На рис. 4 наведено результати розрахунку результуючих швидкостей витоків повітря в лаві та траєкторії ліній току у ВП, які отримані при використанні двочленного закону фільтрації.

Аналіз рис. 4 показує, що при віддаленні від лави вглиб ВП відбувається зниження швидкостей витоків повітря за лінійною залежністю (рис. 4, а). При цьому уздовж межі ВП у напрямку до центру лави відбувається зниження початкових значень результуючих швидкостей витоків повітря за квадратичною залежністю (рис. 4, б). З рис. 4, в випливає, що на початку лави виникають витoki повітря, які проникають у ВП на відстань до 3 м. Після цього відбувається рух витоків у бік верхньої частини лави, де вони виходять у вигляді метаноповітряної суміші. Тому на початку лави відбувається зниження кількості повітря, що подається, а в кінці лави ця кількість відновлюється.

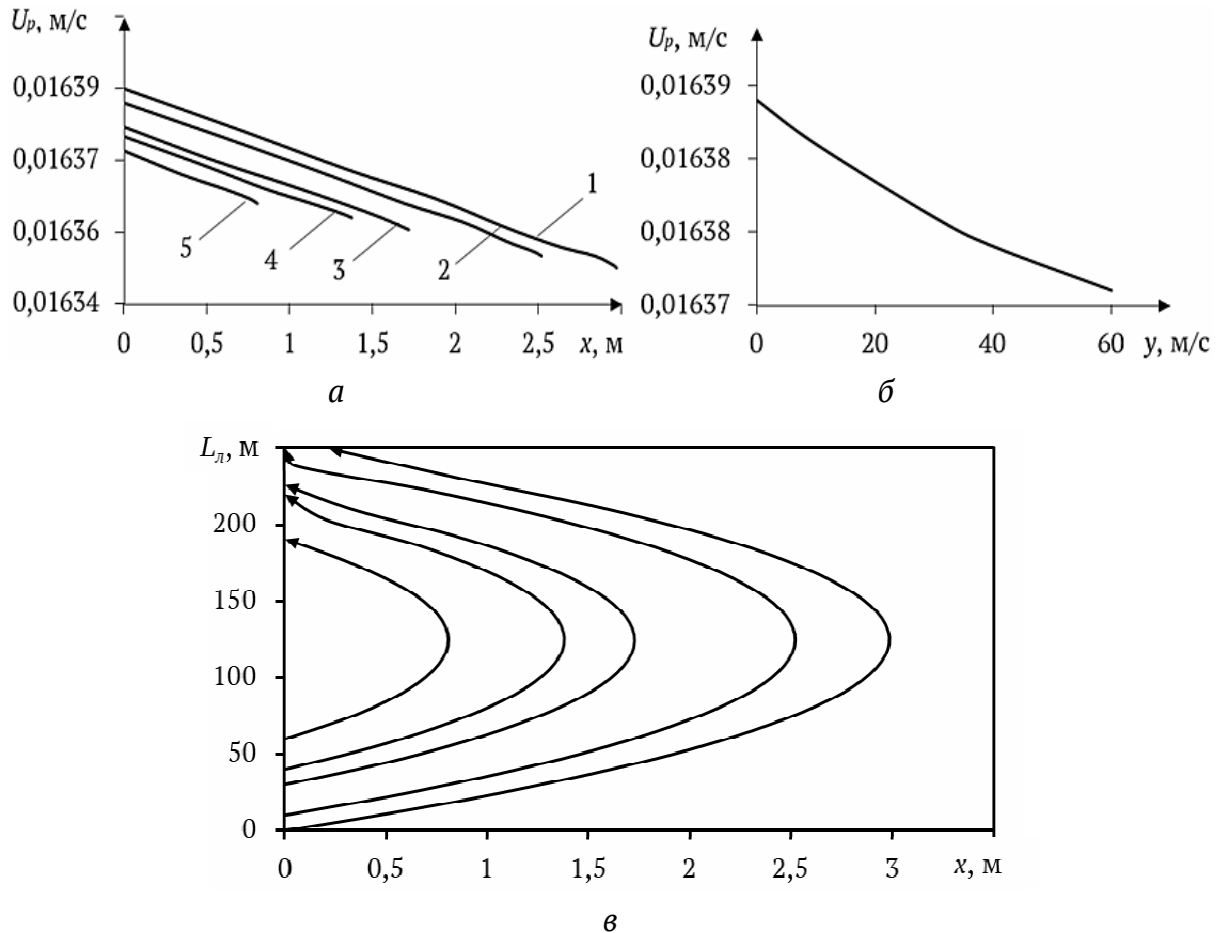


Рисунок 4 – Зміна результуючих швидкостей витоків повітря в виробленому просторі при віддаленні від лави (а), їх початкових значень по довжині лави (б) і траєкторії ліній току в виробленому просторі (в):
1, 2, 3, 4, 5 – відповідно при $x_0 = 0, 10, 30, 40$ і 60 м

Висновки. При прямоточній схемі провітрювання з тристороннім примиканням к ВП, швидкості витоків повітря в лаві експоненційно зростають вздовж межі ВП у напрямку руху вентиляційного потоку і квадратично збільшуються вглиб ВП до деякого максимуму, розташованого на відстані близько половини довжини лави. При цьому у разі зворотноточної схеми провітрювання з одностороннім примиканням, швидкості витоків повітря в лаві мають максимуми на межі ВП і лінійно знижуються до центру лави, причому у ВП на відстані до трьох метрів від лави відбувається їх квадратичне зниження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пожары в горных выработках. Изоляция аварийных участков / А.Ф. Булат, С.П. Минеев, С.Н. Смоланов, И.Б. Беликов. – Харьков: В деле, 2021. – 709 с.

2. Абрамов Ф.А. Рудничная аэрогазодинамика / Ф.А. Абрамов. – М.: Недра, 1972. – 274 с.
3. Торопчин О.С. Аналитический метод определения линий тока утечек воздуха через выработанное пространство / О.С. Торопчин, С.А. Головкин, Н.В. Безкровный // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 69. – С. 277-287.
4. Милетич А.Ф. Утечки воздуха и их расчет при проветривании шахт / А.Ф. Милетич. – М.: Недра, 1968. – 146 с.
5. Пучков Л.А. Аэродинамика подземных выработанных пространств / Л.А.Пучков. – М.: МГУ, 1993. – 267 с.
6. Торопчин О.С. Графоаналитический метод определения линий тока утечек воздуха через выработанное пространство / О.С. Торопчин // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 68. – С. 245-258.
7. Венгеров И.Р. Теплофизика шахт и рудников. Математические модели / И.Р. Венгеров // Анализ парадигмы. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – Т. 1. – С. 58.
8. Бунько Т.В. Обобщенный алгоритм расчета утечек воздуха через выработанное пространство для различных схем проветривания выемочных участков / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, С.А. Головкин // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 108. – С. 143-151.
9. Милетич А.Ф. Утечки воздуха в шахтах / А.Ф. Милетич. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 132 с.
10. Гасанов И.Р. Об изучении влияния инерционных сил при двучленном законе фильтрации / И.Р. Гасанов // Молодой ученый. – 2017. – № 48 (182). – С. 20-24. – URL: <https://moluch.ru/archive/182/46219/>.

REFERENCES

1. Pozhary v gornyh vyrabotkakh. Izoljacija avarijnyh uchastkov / A.F. Bulat, S.P. Mineev, S.N. Smolanov, I.B. Belikov. – Kharkov: В деле, 2021. – 709 с.
2. Abramov F.A. Rudnichnaja ajerogazodinamika / F.A. Abramov. – М.: Nedra, 1972. – 274 p.
3. Toropchin O.S. Analytical method of determination lines of current air through the produced space / O.S. Toropchin, S.A. Golovko, N.V. Bezкровnyj // Geo-Technical Mechanics: Interdepartmental collection of scientific papers / Institute of Geotech-

- nical Mechanics named by N. Poliakov of NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2007. – no. 69. – P. 277-287.
4. Miletich A.F. Utechki vozduha i ih raschet pri provetrivanii shaht / A.F. Miletich. – M.: Nedra, 1968. – 146 p.
5. Puchkov L.A. Ajerodinamika podzemnyh vyrabotannyh prostranstv / L.A. Puchkov. – M.: MSU, 1993. – 267 p.
6. Toropchin O.S. Graph-analytical method of determination lines of current air through the produced space / O.S. Toropchin // Geo-Technical Mechanics: Interdepartmental collection of scientific papers / Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2007. – no. 68. – P. 245-258.
7. Vengerov I.R. Teplofizika shaht i rudnikov. Matematicheskie modeli / I.R. Vengerov // Paradigm analysis. – Donetsk: Nord-Press, 2008. – Vol. 1. – P. 58.
8. Bunko T.V. The generalized algorithm of calculation losses of air through the worked out space for different ventilation plans of mining areas / T.V. Bunko, I.Ye. Kokoulin, S.A. Golovko // Geo-Technical Mechanics: Interdepartmental collection of scientific papers / Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2013. – no. 108. – P. 143-151.
9. Miletich A.F. Utechki vozduha v shahtah / A.F. Miletich. – M.: Gosgortehizdat, 1962. – 132 p.
10. Gasanov I.R. Ob izuchenii vlijanija inercionnyh sil pri dvuchlennom zakone fil'tracii / I.R. Gasanov // The young scientist. – 2017. – no. 48 (182). – P. 20-24. URL: <https://moluch.ru/archive/182/46219/>.

Received 16.02.2022.

Accepted 18.02.2022.

***Features of the calculation of air leaks through the mined-out space
of coal mines***

The movement of air leaks through the goaf of coal mines can lead to gas contamination of workings with the formation of local and layer accumulations of methane. This increases the likelihood of explosive situations. Therefore, an important factor is the ventilation scheme used in the excavation area. The process of gas flow through a goaf is an understudied issue. This is due to the difficulty of conducting direct measurements inside the object under study. In many works, when studying the movement of air leaks through the mined-out space, the linear Darcy filtration law is used. However, the influence of inertia forces can lead to additional gas pressure losses and, accordingly, to deviations from the classical law. Therefore, it is advisable to use the law of two-term filtration. The purpose of the work is to study the patterns of movement of air leaks through the mined-out space, taking into account its filtration parameters and the current

ventilation scheme. The article presents the results of calculating the speeds of air leaks and the trajectories of streamlines in the mined-out space with direct-flow and return ventilation schemes. The Darcy formula and the Forchheimer formula were used in the calculations. It has been established that with a two-term filtration law, the values of the resulting air leakage rates are less than with a linear law. This is due to pressure losses as a result of inertial forces. It has been established that with a direct-flow ventilation scheme, the rates of air leakage in the longwall increase exponentially along the goaf boundary in the direction of the ventilation flow and quadratic ally increase deep into the goaf to a certain maximum located at a distance of about half the length of the longwall. At the same time, in the case of the return-flow ventilation scheme, the rates of air leaks in the longwall have maxima at the boundary of the goaf and decrease linearly towards the center of the longwall, and in the goaf at a distance of up to three meters from the longwall, their quadratic decrease occurs. The results obtained make it possible to reduce the gas contamination of workings by choosing rational schemes and ventilation modes.

Мінєєв Сергій Павлович – д.т.н., професор, зав. відділу керування динамічними проявами гірського тиску Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

Новіков Леонід Андрійович – к.т.н., науковий співробітник відділу геомеханічних основ відкритої розробки родовищ Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

Самопаленко Петро Михайлович – начальник 10 загону ДВГРС (м. Покровськ).

Макаренко Роман Володимирович – зам. головного інженера «Шахтоуправління ім. Героїв космосу» ПрАТ "ДТЕК Павлоградвугілля".

Minieiev Serhii Pavlovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Pressure Dynamics Control in Rocks of the Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine.

Novikov Leonid Andriiovych – Candidate of Technical Sciences, Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine.

Samopalenko Petro Mykhailovych – Head of the 10th Detachment of the State Militarized Mountain Rescue Service (Pokrovsk).

Makarenko Roman Volodymyrovych – Deputy Chief Engineer "Mining Management name after Space heroes" PJSC "DTEK Pavlogradugol".