

Довгаль Д.О., бакалавр  
АДІ ДонНТУ, м. Горлівка

## ЗНИЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ШАХТНОГО ПОВІТРЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

*Робота присвячена розробці технології комплексного знепилювання шахтного повітря під час проведення горизонтальних гірничих виробок комбайновим способом. Визначені основні параметри технологічної схеми боротьби з пилом, розроблено методику розрахунку їх раціональних значень.*

### **Постановка проблеми**

У сучасних умовах однією з найважливіших проблем вуглевидобування підземним способом є високий рівень його впливу на екологічну обстановку та стан здоров'я робітників. Основними причинами цього негативного впливу є:

- недостатня екологічна чистота застосованих технологій та гірничого обладнання;
- недосконалість застосовуваних природоохоронних технологій та устаткування для очищення викидів, розташування та утилізації відходів;
- недостатній облік у розробці та реалізації науково-технічної політики у сфері екології нових умов господарювання.

Однією з основних причин забруднення атмосферного повітря гірничопромислових районів є підвищений рівень вмісту пилу у гірничих виробках шахт, а найближчим часом, із переходом гірничих робіт на глибини понад 1000 м, що особливо актуально для Центрального району Донбасу (ЦРД), питома пилоутворення й рівень пиловибухонебезпеки будуть збільшуватися.

У зв'язку з цим актуальну задачу в галузі екології та охорони праці в гірничій промисловості становить удосконалення технологічних процесів видобутку вугілля підземним способом з огляду на поліпшення їх екологічних показників, а саме удосконалення способів та засобів боротьби з пилом безпосередньо у місцях його утворення.

### **Аналіз останніх досліджень**

На сьогодні на більшості вугільних шахт ЦРД застосовується переважно буропідрильний спосіб проведення гірничих виробок, що є нерациональним з технологічної й «брудним» з екологічної точки зору, оскільки має цілий ряд істотних недоліків:

- велика витрата часу на підготовчі роботи;
- значна питома енергоємність процесу;
- складність забезпечення форми й розмірів поперечного перерізу виробки і рівномірного дроблення гірничої маси;
- мала швидкість проходки;
- виділення значної кількості токсичних газів (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> та ін.);
- значний вихід пилу (від 2 до 132 кг/м<sup>3</sup>), що вибуховою хвилею несеться на відстані до 50 м, частина його відкладається на ґрунті, боках і покрівлі виробки;
- висаджена гірнича маса продовжує виділяти оксид вуглецю після вибуху;
- висока небезпека вибуху пилогазової суміші тощо.

Ефективність пилоподавлення за допомогою водяних завіс, створюваних висадженням зарядів у поліетиленових мішках із водою (така технологія пилоподавлення переважно

застосовується при буропідривному способі проведення горизонтальних виробок), дорівнює в середньому 50%, що не дає можливості забезпечити допустиму концентрацію пилу.

Інша картина спостерігається при комбайновому способі проведення гірничих виробок та виїмки вугілля. Так, при проведенні виробок прохідницькими комбайнами питомий вихід пилу складає від 0,25 до 8,8 кг/м<sup>3</sup>, а при відбійці вугілля виїмочними комбайнами – 1,1 – 2,2 кг/м<sup>3</sup>. Крім цього, комбайновий спосіб має ряд інших переваг перед буропідривним:

- висока технічна продуктивність;
- навантаження гірничої маси;
- відсутність виділення токсичних речовин;
- можливість застосування різних схем і засобів пилоподавлення й пиловловлювання та їхній синтез.

У даний час, при проведенні горизонтальних гірничих виробок комбайновим способом на вугільних шахтах застосовують наступні способи боротьби з пилом: ефективно провітрювання, зрошування джерел пилоутворення, пневмогідрозрошування та пиловловлювання. Усі ці способи мають свої переваги та недоліки, однак застосування лише одного з них не дає необхідного ступеня зниження концентрації пилу до гранично допустимих значень. Отже, знепилювання при проведенні гірничих виробок повинне здійснюватися шляхом комплексного застосування в різних поєднаннях перерахованих способів. Але не кожна конструкція комбайна та схема руйнування, що на ньому застосовується, можуть забезпечити реалізацію того чи іншого способу боротьби з пилом.

На деяких прохідницьких комбайнах (типу “Караганда” та “Урал”), оснащених планетарними виконавчими органами, для ізоляції призабійного простору, де відбувається інтенсивний процес пилоутворення, передбачені огорожуючі щити. Однак, через наявність просівів між щитом і стінками виробки не досягається необхідний ступінь пилоізоляції. При цьому, в основному, відбувається винос тонкодисперсної (найбільш шкідливої) фракції пилу. У зв'язку з цим було запропоновано по периметру огорожуючого щита встановлювати диспергуючі зрошувачі, які б створювали так звану “завісу” та більш ефективно ізолювали призабійний простір [1, 2]. Однак, такий підхід є теж недосконалим та потребує доробки.

### ***Постановка завдання***

Метою даної роботи є удосконалення існуючої технології знепилювання шахтного повітря та розробка методики розрахунку її основних параметрів.

### ***Основна частина***

Як відомо, основна частина гірничих масивів у ЦРД представлена аргілітами й алевролітами, коефіцієнт міцності яких, за шкалою проф. М. М. Протод'яконова, складає  $f = 2,5-6$ . Тому для проведення гірничих виробок, застосування прохідницьких комбайнів, оснащених планетарними виконавчими органами, у більшості випадків цілком можливо.

Як було зазначено у роботі [1, 2], передбачена конструкцією комбайна технологічна схема боротьби з пилом не забезпечує допустиму концентрацію пилу в повітрі виробки і повинна бути удосконалена.

Істотно підвищити ефективність пиловловлення можна шляхом локалізації зон пилоутворення на комбайні за допомогою влаштування обгороджуваних укриттів.

Забезпечити вищий ступінь ефективності ізоляції призабійного простору можна, використовуючи водоповітряну завісу, улаштовану по периметру щитового огороження комбайна. Однак, для ефективного застосування даної схеми необхідні деякі конструктивні доробки щита огороження.

Розглянемо докладно запропоновану схему водоповітряної завіси і конструктивні зміни щита огороження.

З метою розділу призабійного повітряного простору на зони з різною концентрацією пилу та швидкостями руху повітря, замість одинарного щита, передбаченого конструкцією комбайна, пропонується використовувати здвоєне щитове огородження. Другий щит полегшеного типу монтується з таким розрахунком, щоб перекривалися бермові фрези (рис. 1). Основне призначення його полягає в тому, щоб водоповітряна завіса, створювана по периметру щита, перекривала весь повітряний потік і тим самим цілком перешкоджала виходу запиленого повітря за щитовий простір.

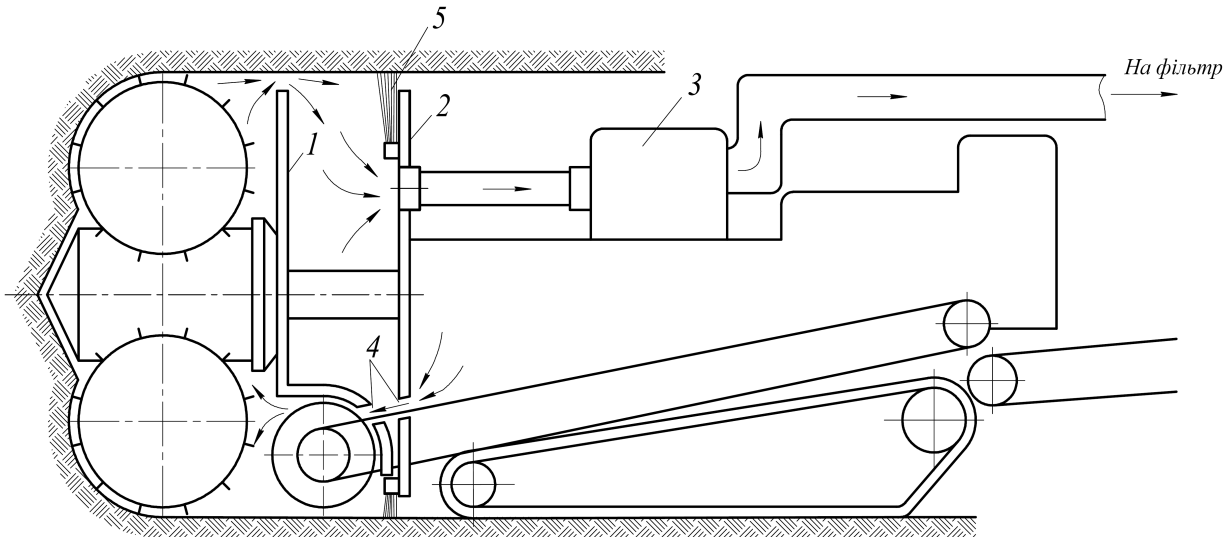


Рис. 1. Схема улаштування щитового огородження комбайна

Відповідно до схеми, приведеної на рис. 1, перший щит 1, передбачений конструкцією комбайна, не герметизується і не зазнає конструктивних змін. Свіже повітря, що нагнітається у забій (на схемі повітряні потоки показані стрілками), через проріз для конвеєра 4 у другому щиті 2 надходить у міжщитовий простір, а потім через конвеєрний проріз 4 першого щита і нещільності по його периметру – у призабійний простір, де відбувається його запылення. Потім через усмоктувальні патрубки, передбачені на другому щиті, запылене повітря, за допомогою усмоктувального вентилятора відсмоктується і подається на фільтр для подальшого очищення. Герметизація другого щита здійснюється за допомогою водоповітряної завіси, створюваною системою зрошувачів 5, встановлених по периметру щита, факели яких цілком перекривають пиловий потік. При цьому винос запыленого повітря через конвеєрний проріз виключається, оскільки в результаті підсмоктування свіжого повітря у цій зоні створюються невеликі вихори, що перешкоджають виносові запыленого повітря в захитовий простір виробки.

Конструкція щитів огородження та схема влаштування завіси представлена на рис. 2.

Відомо, що тонкодисперсна фракція пилу (розміри часток менше 10 мкм), яка є найбільш шкідливою й легко розповсюджуваною за межі робочої ділянки, не завжди може бути затримана за допомогою зрошувачів, що розпилюють водоповітряну суміш. Висока ефективність, у цьому випадку, досягається тільки по відношенню до крупного пилу [3,4].

Дослідження, проведені СхідНДІ у промислових умовах [5], показали можливість застосування аерозольного розпилення розчину NaCl для осадження тонкодисперсного пилу, що має розмір часток менше 3 мкм.

Дрібні крапельки аерозолю розчину NaCl, утворюючи агрегати з частками пилу, сприяють утворенню великих часток за рахунок злипання дрібних і поглинання водяної пари з повітря. При створенні туману великої щільності у випадку аерозольного розпилення гігроскопічних солей відносна вологість повітря підвищується. Підвищення відносної вологості

повітря збільшує парціальний тиск водяної пари в атмосфері і сприяє їхньому поглинанню крапельками розчину разом з частками пилу.

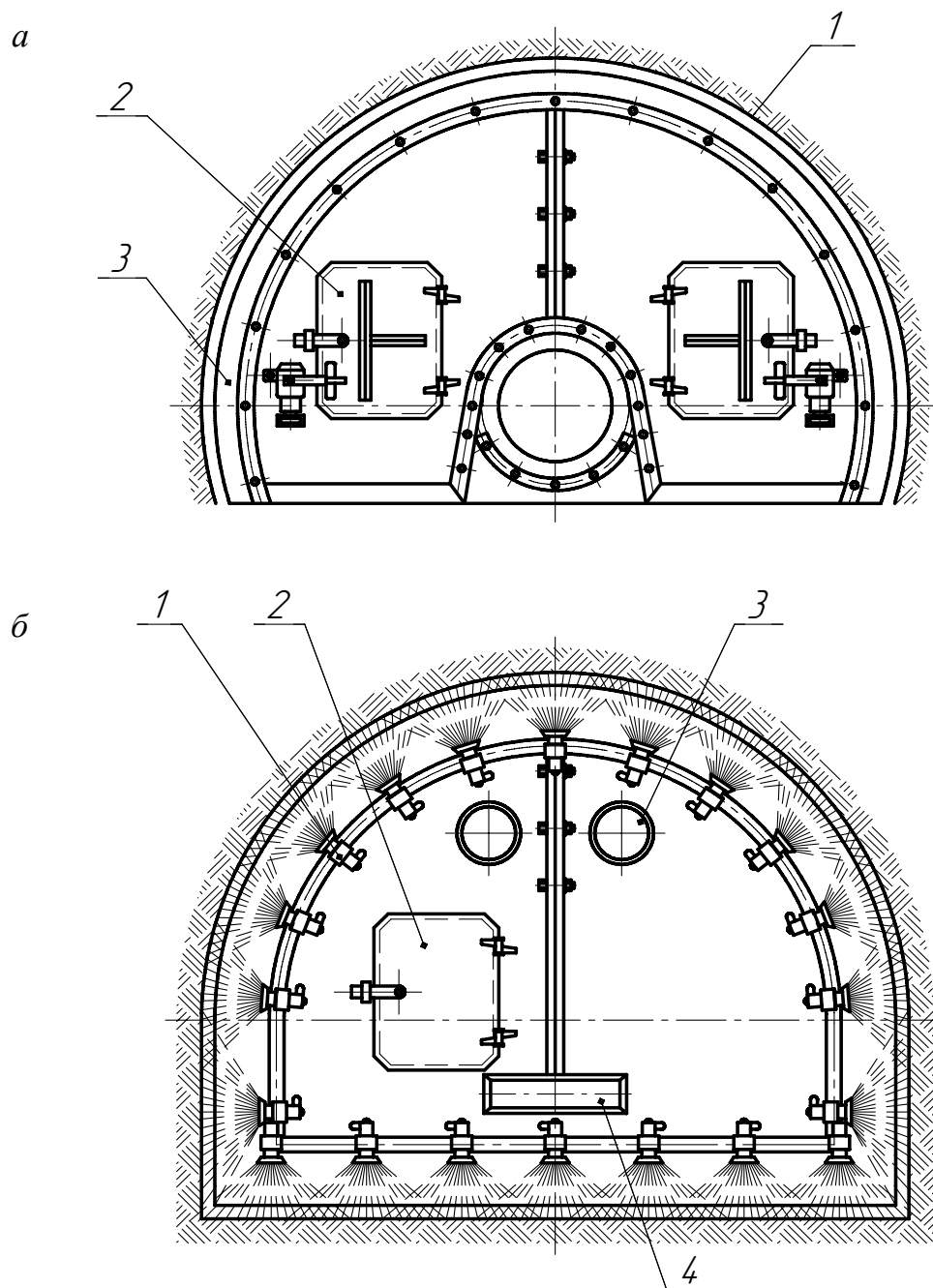


Рис. 2. Щити огородження:

*a* – щит, передбачений конструкцією комбайна: 1 – контур виробки; 2 – люк-лаз;  
 3 – еластичне окантування з конвеєрної стрічки; *б* – пропонувані додатковий щит з пневмогідрозавісою: 1 – пневмогідрозрошувач; 2 – люк доступу у міжщитовий простір; 3 – отвір для забору запиленого повітря; 4 – конвеєрний проріз

Таким чином, розпилення аерозолу NaCl по периметру огорожувального щита, сприяє більш швидкому випадінню із запиленого повітряного потоку тонкодисперсних фракцій пилу. Слід зазначити, що при розпилювальному зрошенні (розмір крапель води 1 – 2 мкм) без домішок гігроскопічних солей ефективність уловлювання тонкодисперсного пилу не підвищується внаслідок швидкого випаровування краплин води [5].

З механіки аерозолів відомо, що при осадженні пилу за допомогою розпиленої води відбуваються три види коагуляції: гравітаційна, кінематична і теплова.

Гравітаційна коагуляція відбувається в зоні загасання факелу розпиленої води і відіграє головну роль в осадженні великих часток пилу.

Ефективність кінематичної коагуляції визначається розмірами водяних крапель. Чим менше краплі, тим вище ефективність кінематичної коагуляції. При розпилювальному зрошенні застосуванню малих розмірів краплі перешкоджає їхнє швидке випаровування. Додатки гігроскопічних солей (NaCl) перешкоджають випаровуванню цих краплин. Крім того, кінематична коагуляція збільшується зі зростанням швидкості руху краплі в пиловому потоці.

Теплова коагуляція відбуваються при русі водяних крапельок і часток пилу під дією молекулярних сил, сюди можна віднести також коагуляцію під дією конвективних потоків повітря. Ефективність теплової коагуляції зростає зі збільшенням числа крапельок.

Для ефективного застосування даного способу пилоізоляції необхідно дотримуватися наступних умов:

- крапельки аерозолу розчину солі повинні бути менше, ніж розміри часток пилу, що підлягає вловлюванню;

- кількість крапельок розчину солі в атмосфері повинна бути значно більшою, ніж пилових часток;

- концентрація розчину солі, що розпилюється, повинна відповідати певному значенню відносної вологості шахтного повітря з таким розрахунком, щоб крапельки аерозолу більш концентрованого розчину в сильно вологій атмосфері передчасно не осаджувалися і, навпаки, у менш вологій атмосфері не викристалізувалися.

З викладеного випливає, що конструкція форсунки для розпилення аерозолу розчину гігроскопічних солей повинна мати наступні параметри:

за умов кінематичної коагуляції:

- швидкість виходу крапельок повинна бути по можливості найбільшою;

- розмір крапельок аерозолу повинний бути не більше 1 мкм;

за умов теплової коагуляції:

- питома щільність аерозолу туману повинна бути не менше 3 – 5 г/м<sup>3</sup> повітря, а число границь – не менше 10<sup>6</sup> на см<sup>3</sup>.

Необхідно відзначити, що розмір краплин аерозолу залежить від швидкості виходу струменя. Розрахунком було встановлено, що для одержання краплин розчину солі необхідного розміру швидкість струменя повинна бути порядку 500 м/с. Зазначена швидкість виходу струменя не може бути забезпечена застосуванням стандартних зрошувачів, використовуваних для пневмогідрозрошення. Для одержання необхідних параметрів струменя аерозолу може бути використана розроблена СхідНДІ спеціальна пневмогідрофорсунка ПФ-1, загальний вид якої представлений на рис. 3, а її технічна характеристика в табл. 1.

Таблиця 1

Технічна характеристика пневматичної форсунки ПФ-1

Показник	Значення (тип)
Витрата стислого повітря, м <sup>3</sup> /хв	0,4
Витрата розчину NaCl, л/хв	0,8 – 1,0
Тиск стислого повітря, кг/см <sup>2</sup>	4 – 6
Кут розкриття факела, град	9 – 100
Далекобійність струменя, м	2,0 – 2,5
Початкова швидкість польоту краплин, м/с	480
Форма факела	Суцільний конус

Результати випробувань аерозольного розпилення розчину NaCl форсункою ПФ-1 показали, що найбільша ефективність пилоподавлення виявляється при розпиленні 3%-го розчину NaCl і відносної вологості повітря 86,2%. Аналіз експериментальних даних показує, що у випадку застосування аерозолі повареної солі число часток пилу в  $1 \text{ см}^3$  повітря розміром менш 1 мкм знижується на 32%; число часток розміром 1 – 2 мкм знижується на 41%. У той же час число великих часток пилу розміром 2 – 10 мкм, що, як було зазначено, є менш небезпечними, залишається приблизно на тому ж рівні, що і при зрошенні водою.

Однією з основних умов ефективної роботи ізолюючої пневмогідрозавіси, створюваної на щиті комбайна, є оптимальне розташування форсунок, що виключає неперекриті зони, через які запилене повітря, минаючи аерозольний струмінь, може виноситися турбулентним потоком за межі щитового простору, тим самим знижуючи ефективність завіси.

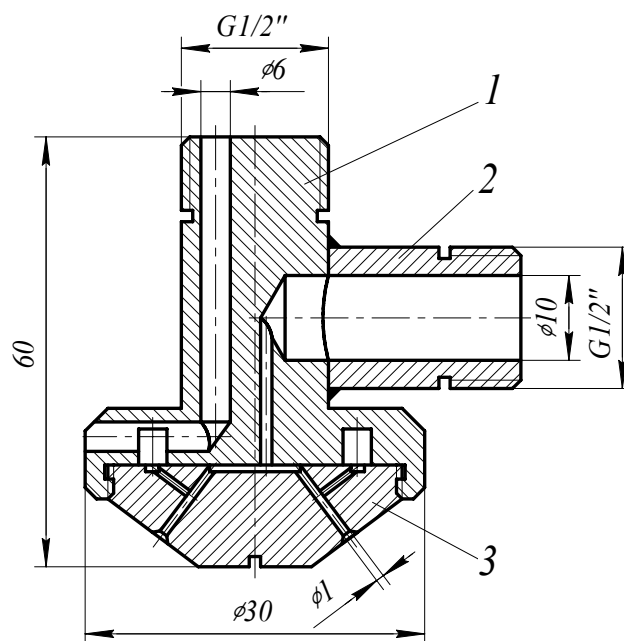


Рис. 3. Пневматична форсунка для аерозольного розпилювання розчинів гігроскопічних солей ПФ-1:

1 – корпус; 2 – штуцер для підведення стислого повітря; 3 – розпилювальна голівка

Розглянемо схему розміщення форсунок на округлій ділянці огорожуючого щита (рис. 4). Відповідно до наведеної схеми розглядаються дві сусідні форсунки, позначені точками  $B_1$  і  $B_2$ , розташовані на однаковій відстані  $R$  від центра огорожуючого щита – точки  $O$ . Положення кожної форсунки на колі радіуса  $R$  визначається настановним кутом  $\gamma$ , який дорівнює  $\angle B_1OB_2$ , що, у свою чергу, визначає кількість установлюваних форсунок. Кут розкриття факелу зрошення дорівнює куту  $\varphi$ . Для визначення загального співвідношення між перерахованими параметрами, що дозволяє робити розрахунки схем розміщення форсунок незалежно від значень цих параметрів, необхідно визначити точку перетину факелів зрошення сусідніх форсунок, позначену на схемі точкою  $A$ . Положення точки  $A$ , у даному випадку, визначається довжиною відрізка  $OA = m_1$ .

Отримане співвідношення між перерахованими параметрами розташування форсунок має такий вигляд:

$$m_1 = \frac{R \sin \frac{\varphi}{2}}{\sin \left( \frac{\varphi}{2} - \frac{\gamma}{2} \right)}. \quad (1)$$

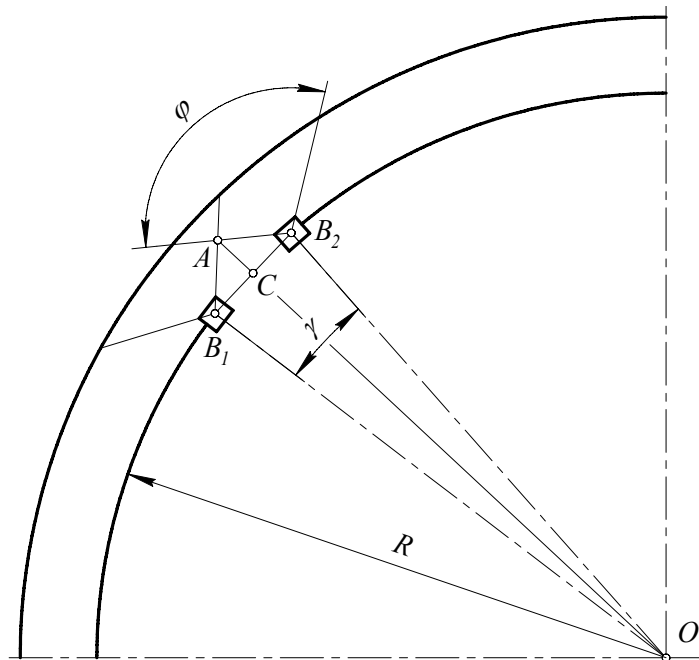


Рис. 4. Схема до визначення параметрів розташування форсунок на округлій ділянці щитового огородження

Отже, розв'язавши тригонометричне рівняння (1) відносно  $\gamma$ , отримаємо

$$\gamma = \varphi - 2 \arcsin \left( \frac{R}{m_1} \sin \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2)$$

та відносно  $\varphi$

$$\varphi = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{m_1 \sin \frac{\gamma}{2}}{m_1 \cos \frac{\gamma}{2} - R} \right). \quad (3)$$

Таким чином, отримані залежності (1) – (3) дають змогу розраховувати три основні параметри схеми розташування пневмофорсунок на округлих ділянках щита огородження, задавшись двома іншими параметрами.

Далі розглянемо визначення параметрів розташування форсунок на прямих ділянках щита огородження (рис. 5).

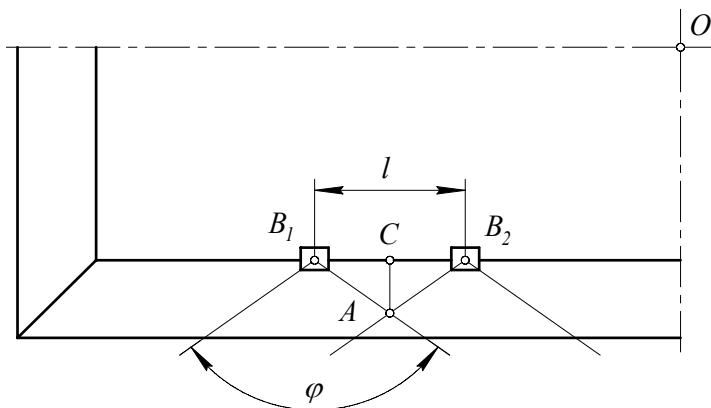


Рис. 5. Схема до визначення параметрів розташування форсунок на прямих ділянках щита

Як і у попередній схемі розглядаються дві сусідні форсунки  $B_1$  і  $B_2$ , розташовані на прямій ділянці щита огороження. Необхідно знайти точку перетину їхніх факелів, тобто, згідно зі схемою (рис. 5), відстань  $AC = m_2$ . Отримане співвідношення має вигляд:

$$m_2 = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}. \quad (4)$$

З рівняння (4), кут розкриття факелу  $\varphi$ , та відстань між сусідніми форсунками  $l$  буде визначатися відповідно

$$\varphi = 2 \operatorname{arccctg} \frac{2m_2}{l}, \quad (5)$$

$$l = \frac{2m_2}{\operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}}. \quad (6)$$

Отримані залежності (4) – (6) дають змогу розраховувати основні параметри розташування форсунок на прямих ділянках огорожуючого щита.

При практичному застосуванні ефективність роботи пневмогідрозавіси значною мірою залежить від правильного розрахунку параметрів розпилення аерозолію.

Розрахунок оптимальних параметрів зрошення пневмогідрозавісою слід здійснювати, виходячи із двох основних критеріїв – максимальної ефективності перекриття запиленого повітряного потоку з призабіяного простору і максимально допустимої питомої витрати зрошувальної рідини.

Очевидно, що максимальна ефективність ізоляції запиленого повітря досягається при відсутності його виносу через завісу. Домогтися цього можна лише у випадку, коли факели зрошення не розмиваються і не зносяться вентиляційним потоком.

Встановлено [4], що при оптимальній швидкості вентиляційного потоку (0,4-0,6 м/с) розмивання факелу не відбувається при швидкості потоку пневмогідроструменя порядку 100 м/с. Виходячи із цього, визначимо ефективну довжину факелу зрошення.

Швидкість руху краплини, що вилітає з форсунки відносно повітря описується як функція від пройденого шляху [4]

$$v_{s(x)} = v_0 e^{-\frac{k}{R}x}, \quad (7)$$

де  $v_0$  – початкова швидкість польоту краплини, м/с (для форсунки ПФ-1  $v_0 = 480$  м/с);

$R$  – середній радіус краплини, м ( $R = 0,5 \cdot 10^{-6}$  м);

$x$  – відстань, що пройдена краплиною, м;

$k$  – коефіцієнт, визначається як

$$k = \frac{3 \rho_n}{8 \rho_p},$$

де  $\rho_n$  – щільність повітря, г/см<sup>3</sup> ( $\rho_n = 0,001$  г/см<sup>3</sup>);

$\rho_p$  – щільність рідини, г/см<sup>3</sup> (для 3%-го розчину NaCl,  $\rho_p = 2,126$  г/см<sup>3</sup>).

На рис. 6 графічно представлена залежність швидкості руху краплин аерозолію від пройденого шляху, тобто від відстані пройденної краплиною.

Таким чином, швидкість краплини аерозолію експонційно убуває з відстанню. Отже, відповідно до графіка, ефективна довжина факелу, створюваного форсункою ПФ-1, складає 0,45 м.



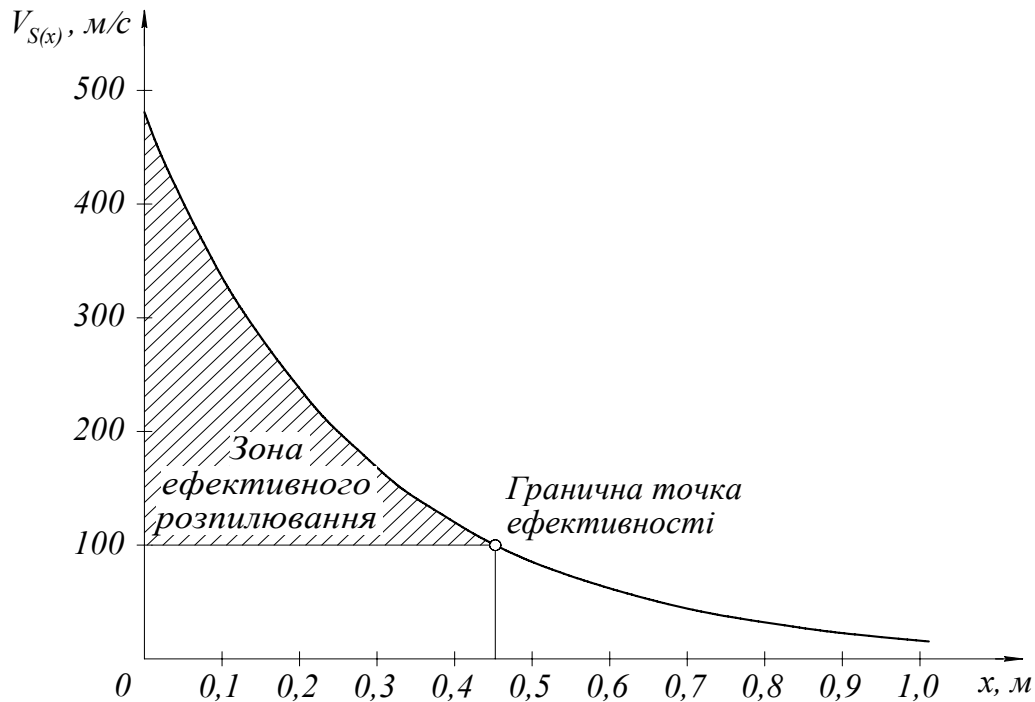


Рис. 6. Графік залежності швидкості польоту краплин аерозолі від пройденого шляху

Виходячи з критерію допустимої витрати зрошувальної рідини, яка для прохідницьких комбайнів складає 15 – 20 л/хв, можна розрахувати максимальну кількість форсунок, що слід використати для створення пневмогідрозавіси. Вона розраховується за формулою

$$N_{\max} = \frac{Q_{\text{доп}}}{Q_{\phi}}, \quad (8)$$

де  $N_{\max}$  – максимальна кількість форсунок пневмогідрозавіси;

$Q_{\text{доп}}$  – максимально допустима витрата рідини;

$Q_{\phi}$  – витрата рідини однією форсункою.

Отже, при витраті однією форсункою розчину NaCl 0,8 – 1,0 л/хв максимальна кількість форсунок, яку можна розташувати на огорожувальному щиті комбайна для створення завіси, складає 20 шт.

Таким чином, використовуючи дану методику визначення оптимальних параметрів розпилювання аерозолі NaCl, можна домогтися максимальної ефективності роботи пневмогідрозавіси, улаштованої на огорожувальному щиті прохідницького комбайна.

Пропонована пневмогідрозавіса, крім ізолювання призабійного простору, також виконує функцію пилоподавлення. Також для пилоподавлення у призабійному просторі використовується передбачена конструкцією комбайна система зрошення. При цьому ефективність пневмогідрозрошення водоповітряними сумішами складає 90 – 98%, а при використанні аерозолі NaCl ефективність збільшується в середньому на 28% [5]. Ефективність системи зрошення комбайна складає 70 – 92%. Таким чином, залишкова запиленість у міжщитовому просторі складатиме порядку 40 мг/м<sup>3</sup>. Отже, для отримання допустимої концентрації пилу у повітрі (ГДК зваженого у повітрі пилу складає від 2 до 10 мг/м<sup>3</sup> в залежності від вмісту вільного двоокису вуглецю), перед випуском у вентиляційний потік його необхідно додатково очищати.

Передбачений конструкцією комбайнів пиловловлювач П14М1 забезпечує ефективність пилозатримання порядку 95%. Отже, при його використанні для очищення запиленого повітря, що відсмоктується з міжщитового простору, залишкова запиленість повітря на виході з пиловловлювача буде складати 1,8 мг/м<sup>3</sup>, що цілком відповідає ГДК.

Таким чином, для знепилювання повітря, що відсмоктується із міжщитового простору, немає потреби застосовувати тканеві фільтри з високим ступенем ефективності, адже ефективність пиловловлювання передбаченого на комбайні пиловловлювача, за умови застосування запропонованої схеми пилоподавлення, цілком забезпечує необхідну залишкову концентрацію пилу в очищуваному повітрі.

### ***Висновки***

Застосування запропонованої схеми знепилення процесу проведення гірничих виробок дає можливість підвищити ступінь ефективності заходів щодо пилоподавлення й пиловловлювання при проведенні горизонтальних гірничих виробок, знизити концентрацію пилу до допустимої та поліпшити екологічну ситуацію регіону. Отримані залежності між основними параметрами розташування пневмофорсунок на огорожуючому щиті дають змогу мінімізувати витрати рідини та знизити енергоспоживання на процес боротьби з пилом.

### ***Список літератури***

1. Довгаль Д.О., Ніколенко М.О. Підвищення ефективності заходів щодо зниження запиленості атмосфери гірничих виробок шахт // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: Збірка доповідей IV Міжнародної наукової конференції аспірантів та студентів. — Т. 1. — Донецьк: ДонНТУ, 2005. — С. 209 – 210.
2. Довгаль Д.О., Ніколенко М.О. До питання щодо розробки екологічно чистої технології проведення горизонтальних гірничих виробок шахт ЦРД // Збірка тез доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції студентів та аспірантів “Екологія. Людина. Суспільство” (11–13 травня 2005 р., м. Київ). — К.: 2005. — С. 74.
3. Кирич Б.Ф., Журавлев В.П., Рыжих Л.И. Борьба с пылевыделением в шахтах. — М.: Недра, 1983. — 213 с.
4. Новые способы борьбы с пылью в угольных шахтах / Ф.М. Гельфанд, В.П. Журавлев, А.П. Поелуев, Л.И. Рыжих. — М.: Недра, 1975. — 288 с.
5. Ксенофонтова А.И., Бурчаков А.С. Теория и практика борьбы с пылью в угольных шахтах. — М.: Недра, 1965. — 230 с.

Стаття надійшла до редакції 12.09.06

© Довгаль Д.О., 2006