

УДК 622.031.1:622.3

<https://doi.org/10.31474/1999-981X-2024-2-19-28>

Ю.І. Чеберячко
 А.О. Хорольський
 І.А. Лісовицька
 О.Р. Мамайкін
 О.В. Беднюк

ОЦІНКА ВПЛИВУ ДИНАМІКИ ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ПОТОКУ НА ПИЛОУТВОРЕННЯ ПІД ЧАС РУЙНУВАННЯ ГІРНИЧИХ ПОРІД КОМБАЙНОМ

Мета. Дати оцінку впливу динамічних характеристик вентиляційного потоку на інтенсивність пилоутворення під час руйнування гірничих порід виконавчим органом комбайну, що дозволяє прогнозувати запиленість рудникової атмосфери у привибійному просторі тупикової виробки і розробляти ефективні засоби та заходи боротьби з пилом.

Методи дослідження. У роботі використано аналітичні методи - для розробки методу розрахунку інтенсивності пилоутворення з урахуванням особливостей роботи прохідницьких комбайнів зі стрілоподібним робочим органом та динамічних характеристик вентиляційного потоку.

Результати. Розроблено розрахункові схеми дослідження процесу пилоутворення в очисному вибої: схему аеродинамічних зон при русі пилогазової суміші із привибійного простору з урахуванням його захищеності гірничим обладнанням; схему аеродинамічних зон при русі пилогазової суміші із привибійного простору тупикової виробки при стаціонарному процесі утворення пилу і з дотриманням встановлених «Правилами безпеки» вимог по відставанню кінця повітровода від площини вибою. Проведене дослідження виявило значний вплив динамічних характеристик вентиляційного потоку на процес переходу пилу в зважений стан при руйнуванні гірського масиву. На основі аналізу механізму пилоутворення запропоновано емпіричну залежність для кількісної оцінки інтенсивності пилоутворення, що дозволяє прогнозувати пилоутворення в тупикових виробках та розробляти ефективні заходи боротьби з ним.

Наукова новизна. Розроблено та теоретично обґрунтовано метод розрахунку інтенсивності пилоутворення при руйнуванні масиву гірських порід виконавчим органом комбайна, який відрізняється від відомих тим, що враховує процес взаємодії спрямованих повітряних течій з потоком відбитої гірничої маси.

Практична значимість. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що рекомендована формула дозволяє прогнозувати інтенсивність пилоутворення для подальшої розробки ефективних засобів і заходів боротьби з пилом у привибійному просторі тупикових виробок. Запропоновано засоби, щодо мінімізації негативного впливу вугільного пилу на здоров'я працівників очисного вибою. Такими засобами можуть бути пиловідсмоктувальні установки, які видаляють пил безпосередньо в місцях її утворення, і з подальшою її обробкою в різних пилоосаджувальних системах (коагуляторах, інерційних камерах і т.п.). Крім того можна застосовувати системи, які пов'язують пил в осередках її утворення (системи пилопригнічення піною).

Ключові слова: інтенсивність пилоутворення, динамічні характеристики повітряного потоку, відбита гірнична маса, пилові домішки.

Вступ.

Оцінка впливу динаміки повітряних потоків на пилоутворення під час руйнування масиву гірничих порід комбайном базується на достовірному прогнозуванні питомого пиловиділення. Тобто, яка кількість пилу утворюється при руйнуванні певного обсягу гірського масиву. Так на основі виконаних досліджень [1] автори рекомендують розраховувати питоме пиловиділення при руйнуванні гірського масиву за емпіричною формулою:

$$q=150 \cdot a_{пл} \cdot K_v \cdot K_n \cdot K_m, \quad (1)$$

де K_v – коефіцієнт, що враховує середньозважене значення вологості вугілля;

K_n – коефіцієнт, що враховує середньозважене значення потужності пласта, що виймається;

K_m – коефіцієнт, що враховує температуру пласта;

$a_{пл}$ – вміст у зруйнованому вугіллі частинок, діаметром менше d ,

$$a_{пл}=100[1 - \exp(-\lambda d_m)], \quad (2)$$

де m – показник спроможності вугілля до подрібнення, визначається за даними ситового аналізу проб вугілля;

λ – показник ступеня подрібнення вугілля.

Рекомендовані методи розрахунку [2-4] запиленості повітря не враховують особливостей роботи комбайнів зі стрілоподібним робочим органом, яка пов'язана з постійною зміною основного джерела пилоутворення, як за висотою, так і за шириною виробки. При цьому відбита гірська маса падає з різної висоти, що призводить до зміни часу взаємодії її з повітряним потоком, який є основним фактором впливу на перехід пилу у зважений стан. Крім того, повітряні потоки, що мають різну швидкість по перерізу виробки в зоні пилоутворення та змішування, мають різну здатність виносити газопилові продукти з привибійної зони за рахунок турбулентних характеристик. У зв'язку з цим, визначення запиленості повітря з урахуванням динамічних характеристик вентиляційного потоку та процесів пилодинаміки у привибійному просторі є актуальним завданням.

Дослідження процесів, пов'язаних з впливом аеродинамічних характеристик вентиляційного потоку на інтенсивність виділення пилу з джерел пилоутворення, є основним завданням при розробці ефективних засобів та заходів щодо поліпшення стану рудникової атмосфери на робочих місцях гірників у привибійному просторі тупикових виробок.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Теоретичним та експериментальним дослідженням з впливу динамічних параметрів повітряного потоку на процес утворення аерозолу присвячено багато робіт таких видатних учених як: О.О. Скочинський, Л.І. Барон, В.М. Воронін, Л.Д. Вороніна, В.І. Дремов, Б.Ф. Кірін, А.І. Ксенофонтowa, А.С. Бурчаков, В.В. Кудряшов, К.П. Медніков, П.І. Мустель, П.М. Петрухін, С.Б. Романченко, А.А. Трубіцин, Н.А. Фукс, В.Є. Колесник та багато інших.

Аналіз виконаних досліджень [5, 6] свідчить про те, що при виконанні робіт, пов'язаних з виділенням пилу в атмосферу

виробок, інтенсивність утворення аерозолів залежить від характеру виробничого процесу, фізико-механічних властивостей гірських порід, застосовуваних засобів пилопригнічення та обладнання. Частки, що утворилися при тому чи іншому процесі, взаємодіють з повітряним середовищем і переходять у зважений стан. При цьому збільшення інтенсивності пиловиділення прямо пропорційно середньому динамічному натиску ядра постійної маси у грудях забою.

Кількість пилу, що переходить у зважений стан, залежить як від впливу довкілля, так і від властивостей відбитої гірничої маси (подрібненості, вологості і т. д.) [7].

За певних умов інтенсивність винесення дрібних частинок може бути настільки значною, що збільшення витрати повітря призведе не до зниження, а зростання концентрації пилу у виробці [8].

Істотний вплив на пилоутворення при роботі прохідницьких комбайнів має міцність гірських порід. При збільшенні їх міцності, значна кількість енергії витрачається на додаткове подрібнення гірських порід та утворення тонкодисперсного пилу. Так, при виїмці вугілля комбайнами зі збільшенням коефіцієнта міцності вугілля від 0,3 до 1,5 інтенсивність пиловиділення зростає приблизно в 3 рази [9].

Найважливішим показником вентиляційного потоку при нагнітальному провітрюванні є його здатність виносити газопилові продукти з привибійної зони за рахунок турбулентних характеристик [10]. Тому врахування даного чинника є важливим завданням.

При виконанні теоретичних та експериментальних досліджень процесів взаємодії турбулентних повітряних потоків з джерелами пилоутворення в гірничих виробках велика увага, особливо в останні роки, приділяється вивченню цих процесів з використанням методу тривимірного комп'ютерного моделювання [11], що дозволяє з достатньою точністю прогнозувати рівень запиленості рудникової атмосфери на робочих місцях при руйнуванні гірського масиву виконавчим органом комбайна. При цьому, вихідними даними для застосування вказаного методу є знання

складного механізму утворення аерозолі під час руйнування гірських порід.

Дані з рухливості повітряних мас, а, отже, і параметрів вільного струменя, що провітрює тупикову частину виробки під час роботи комбайна, дозволяють розраховувати не тільки оптимальні вентиляційні режими, а й визначити раціональні місця встановлення вентиляційного та пиловловлюючого обладнання [12].

Постановка задачі.

Для забезпечення питомого обсягу комбайнової проходки виробок, який постійно зростає за рахунок змішаних і чисто породних забоїв, в даний час в Україні створюються прохідницькі комбайни та комплекси підвищеної енергоозброєності і продуктивності. Основну частину комбайнового парку на вугільних шахтах, складають комбайни вибіркової дії із стрілоподібним виконавчим органом. Для комбайнів цього типу характерно значне подрібнення відбиваної гірської маси, що супроводжується високою запиленістю повітря, яка без засобів боротьби з пилом може досягати 5000 мг/м^3 і більше [13].

Аналіз процесів утворення та поширення пилових домішок при руйнуванні гірського масиву комбайном [14] свідчить про те, що при виконанні основних технологічних процесів з проведення гірничих виробок, найбільший вміст пилу знаходиться у привибійному просторі на робочому місці машиніста комбайна, де концентрація вуглепородного пилу може перевищувати ГДК в 250...800 разів [15].

Інтенсивність виділення пилу в джерелах його утворення в основному залежить від динамічних характеристик вентиляційного струменя, його взаємодії з зонами руйнування, навантаження і транспортування гірничої маси, продуктивності та характеру виробничого процесу.

Одне і те ж джерело пилоутворення може мати різні інтенсивності виділення пилу, що істотно відрізняються в залежності від ряду факторів, з яких найбільше значення має швидкість вентиляційного струменя.

В зв'язку з вищевказаним в роботі поставлено завдання оцінити вплив динамічних характеристик вентиляційного

потoku на пилоутворення під час руйнування гірничих порід комбайном.

Методи дослідження.

При роботі комбайнів визначальними параметрами, що впливають на запиленість у забої, є:

- швидкість повітря в місці руйнування гірського масиву v м/с, значення якої змінюється за перерізом виробки та залежить від віддаленості нагнітального трубопроводу l_1 (м), діаметра повітропроводу D_0 (м), витрати повітря Q_0 ($\text{м}^3/\text{с}$); перерізу виробки S_s та місця розташування пиловловлюючого патрубку;

- ефективність пилопригнічення додатковими засобами (пилопридушення піною або зрошенням);

- поточна продуктивність комбайна A (т/с);

- схема обробки та напрямок фрезерування площини забою комбайном зі стрілоподібним робочим органом.

Відповідно до сучасних уявлень про механізм винесення шкідливих домішок з привибійного простору тупикової гірничої виробки, які були сформовані на підставі теорії турбулентних струменів, створеної Г.М. Абрамовичем, і що отримала свій розвиток у роботах вчених наступного покоління [16-18], винесення шкідливих домішок з тупикової виробки відбувається згідно зі схемою аеродинамічних зон, представленою на рис. 1.

В умовах стаціонарного процесу утворення пилу при руйнуванні масиву гірських порід виконавчим органом комбайна, у вибійний простір постійно виділяється пил із зруйнованої гірської маси з інтенсивністю I_0 .

Із рис. 1 видно, що в привибійному просторі одночасно рухаються два потоки у протилежних напрямках, що ускладнює його провітрювання. Потік свіжого повітря рухається у бік забою, а забруднена пилометаноповітряна суміш рухається у бік гирла виробки. Особливості поширення цих протилежних потоків, додатково залежатимуть від захащеності привибійного простору обладнанням, що сприяє формуванню застійних зон. На рисунку 1 наведено схему аеродинамічних зон при виносі пилогазоповітряної суміші із

привибійного простору без врахування його захищеності гірничим обладнанням.

Пилогазова суміш в I-й зоні рухається за рахунок кінетичної енергії струменя, що виходить з кінця повітровода. Механізмом її передачі є процеси тертя між шарами повітря на межі I-ої та II-ої зон. Енергія від першого вихору до другого і т.д., і від великих вихорів до дрібніших передається аналогічно.

Взаємодія між вільним струменем і першим вихором є слабкою, внаслідок малої внутрішньої в'язкості повітря, тому передача енергії від вільного струменя до вихору невелика. Це є основною причиною малої енергії наступних вихорів, що зменшується у міру віддалення від джерела енергії яким є вентиляційний струмінь, що виходить з кінця повітровода.

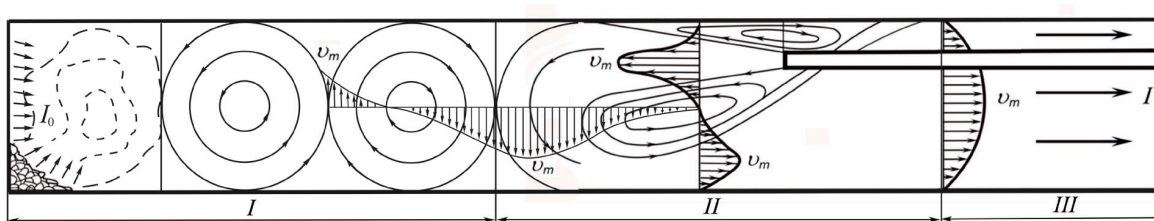


Рис. 1. Схема аеродинамічних зон при русі пилогазоповітряної суміші із привибійного простору тупикової виробки при значній відстані кінця повітровода від забою, тобто. у разі порушення вимог ПБ: I, II, III – аеродинамічні зони

Енергія вихорів по довжині привибійного простору в бік забою зменшується, що приводить до зменшення інтенсивності циркуляційного руху. Енергії останнього вихору, зрештою може бути недостатньою для створення організованого руху повітря за ним, в результаті чого простір між цим вихором та забоем заповниться нерухомим повітрям з утворенням застійної області (показана штриховими лініями).

Врахувати вплив захищеності привибійного простору на аеродинаміку, можливо на основі

досліджень в натурних умовах, або з використанням комп'ютерного моделювання.

Результати дослідження.

На підставі уяви про механізм винесення шкідливих домішок, що викладений вище, і з деякою вирогідністю, можна припустити, що схема аеродинамічних зон при виносі шкідливих домішок може виглядати як показано на рис. 2.

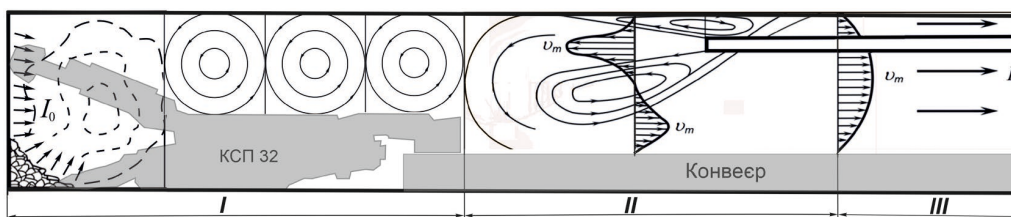


Рис. 2. Схема аеродинамічних зон при русі пилогазоповітряної суміші із привибійного простору з врахуванням його захищеності гірничим обладнанням

При дотриманні встановлених ПБ вимог, процес винесення газопилоповітряної

суміші з тупикової виробки відбувається за фізичною моделлю показаною на рис. 3.

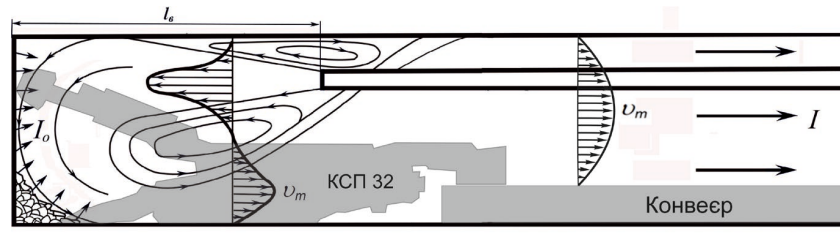


Рис. 3. Схема аеродинамічних зон при русі пилогазоповітряної суміші із привибійного простору тупикової виробки при стаціонарному процесі утворення пилу і з дотриманням встановлених ПБ вимог по відставанню кінця повітровада від площини забою

У привибійній частині тупикової виробки (див. рис. 3), в результаті взаємодії повітряного потоку, що виходить з трубопроводу, із зруйнованою гірською масою, утворюється пилогазоповітряна суміш, яка при подальшому її переміщені по гірничій виробці зазнає змін (змінюється концентрація пилу і його дисперсність) у зв'язку з пиледінамічними процесами, що відбуваються (седиментація, явище поперечної міграція дрібнодисперсної фази з подальшим турбулентно-інерційним осадженням, коагуляція дрібнодисперсної фази).

Кількість пилу, що переходить у зважений стан, залежить як від властивостей відбитої маси (подрібненості, вологості тощо), так і від динамічного напору повітряного потоку.

Залежність інтенсивності пиловиділення у тупиковій виробці від швидкості вентиляційного струменя біля забою можна виразити у вигляді рівняння [18]:

$$I = I_0(1 + \varphi v_{cp}^2), \text{ мг/с} \quad (3)$$

де v_{cp} – середня швидкість ядра постійної маси у грудях забою, м/с;

I_0 – інтенсивність пилоутворення при швидкості повітря близько до 0, мг/с;

φ – дослідний коефіцієнт пропорційності, $\text{с}^2/\text{м}^2$.

Відомо, що середня швидкість ядра постійної маси, в будь-якому перерізі струменя, пропорційна осьовій швидкості

$$v_{cp} = a v_m, \text{ м/с,}$$

де v_m – осьова швидкість вільного струменя, м/с;

a – коефіцієнт структури потоку; для круглого вільного струменя $a = 0,066$ [19].

Підставивши в (3) значення v_{cp} , отримаємо

$$I = I_0 [1 + \varphi (a v_m)^2], \text{ мг/с.} \quad (4)$$

Величина a є незалежною від зовнішніх чинників і тому завжди постійна [20]. Отже, можемо позначити, що $a^2 \varphi = \psi$, тоді вираз (4) матиме наступний вигляд:

$$I = I_0 [1 + \psi v_m^2] \text{ мг/с,} \quad (5)$$

Дослідження показали [21, 22], що в міру видалення кінця вентиляційної труби від забою в межах далекобійності вільного струменя значення ψ зростає (рис. 4).

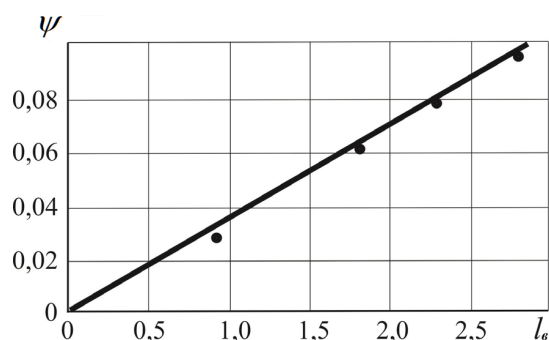


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта ψ від відстані вентиляційного трубопроводу до забою l_e

Залежність значення від відстані між кінцем вентиляційної труби і забоєм може бути виражена лінійним рівнянням виду [23]

$$\psi = k l_e \quad (6)$$

де k – дослідний коефіцієнт, що залежить від виду виробничого процесу, застосовуваних обладнання та засобів пилопригнічення та фізико-механічних властивостей гірських порід, c^2/m^2 ;

l_6 – відстань від грудей забою до кінця трубопроводу, м.

Зростання значення ψ з віддаленням труби від забою вказує на підвищення інтенсивності пиловиділення. Це пояснюється тим, що за інших рівних умов зі збільшенням відстані вільний струмінь отримує найбільший розвиток, і рухливість повітряних мас у забої підвищується, що сприяє переходу більшої кількості твердих частинок у зважений стан. Ця закономірність справедлива в межах далекобійності вільного струменя.

Значення осевої швидкості вільного струменя у грудях забою v_m залежить від швидкості виходу повітря з вихідного отвору вентиляційного трубопроводу v_{mp} , діаметра вихідного отвору D , віддалення кінця трубопроводу від забою l_6 , коефіцієнта структури вільного струменя a та коефіцієнта форми виробки K_ϕ (приймається для виробок арочної форми рівним 3,8). Взаємозв'язок між цими величинами виражається залежністю [23]

$$v_m = \frac{0,816 \cdot K_\phi v_{mp}}{0,417 + \frac{2al_6}{D}}, \text{ м/с} \quad (7)$$

Підставимо (6) і (7) в вираз (5) та враховуючи, що $a = 0,066$ а коефіцієнт k для вугільних шахт, при проведенні гірничих виробок прохідницькими комбайнами з відкритим виконавчим органом приймається рівним 0,33 [24], після нескладних перетворень отримаємо:

$$I = I_0 \left[1 + \frac{1,048 \cdot l_6 v_{mp}^2 D^2}{(0,417 \cdot D + 0,132 \cdot l_6)^2} \right], \text{ мг/с}, \quad (8)$$

або в розгорнутому виді:

$$I = I_0 \left(1 + \frac{l_6 v_{mp}^2 D^2}{0,16 \cdot D^2 + 0,11 \cdot D l_6 + 0,016 \cdot l_6^2} \right), \text{ мг/с}. \quad (9)$$

Величину I_0 можна визначити з виразу

$$I_0 = J_0 A, \text{ мг/с} \quad (10)$$

де A – продуктивність комбайна, т/с;

J_0 – питома пиловиділення під час роботи прохідницького комбайна, мг/т.

Питома пиловиділення J_0 враховує пилоутворювальну здатність шахтопласту $J_{пг}$ (г/т), що виражає сумарний вміст у зруйнованому вугіллі частинок розміром менше 70 мкм, здатних переходити у зважений стан, для умов виїмки вугілля комбайном з еталонним виконавчим органом, постійним режимом руйнування гірничо-технічних умовах та швидкості руху повітряного струменя рівного 1 м/с; $J_{пг}$ приймається згідно з каталогом шахтопластів за пиловим фактором, наведеним у «Керівництві...» [24].

У загальному випадку питома пиловиділення при роботі прохідницького комбайна J_0 (г/т) без засобів пилопригнічення знаходиться в межах 30...90 г/т залежно від типу комбайна.

Продуктивність комбайна КСП - 32, згідно з технічною характеристикою дорівнює 0,4 т/хв або 0,0067 т/с.

Підставивши (10) в (9) отримаємо вираз для визначення інтенсивності пиловиділення при роботі комбайна в привибійній частині виробки з урахуванням впливу динамічних характеристик вентиляційного струменя

$$I = j_0 A \left(1 + \frac{l_6 v_{mp}^2 D^2}{0,16 \cdot D^2 + 0,11 \cdot D l_6 + 0,016 \cdot l_6^2} \right), \text{ мг/с}. \quad (11)$$

Вираз укладений у дужки показує, що завдяки динамічним характеристикам вентиляційного потоку, інтенсивність пилоутворення значно зростає.

Обговорення результатів.

Розрахунки зроблені за отриманим виразом (11), при значеннях параметрів: $j_0 = 50000$ мг/т; $A = 0,0067$ т/с; $l_6 = 8$ м; $v_{mp} = 8$ м/с; $D = 0,8$ м свідчать про те, що інтенсивність пиловиділення при роботі комбайна в привибійній частині виробки з урахуванням впливу динамічних характеристик

вентиляційного струменя сягає близько 61000 мг/с, а концентрація пилу 15000 мг/м³ при подачі повітря $Q = 4 \text{ м}^3/\text{с}$.

Дисперсний склад зваженого вугільного пилу в гірничих виробках вугільних шахт Донбасу за узагальненими даними [13] складає в забоях підготовчих виробок, в середньому: при розмірі частинок до 5 мкм - 7%; 5...10 мкм – 8%; 10 ... 30 мкм - 30%; понад 30 мкм – 55%.

Отже, при концентрації пилу 15000 мг на 1 м³ повітря міститься: частинок до 5 мкм – 1050 мг; 5...10 мкм – 1200 мг; 10...30 мкм - 4500 мг; більше 30 мкм - 8250 мг.

Підраховано, що в горизонтальній виробці при швидкості вентиляційного струменя більше 0,2 м/с осадження пилу з розмірами частинок менше 10 мкм під дією гравітаційних сил практично виключено [25]. Тобто, гравітаційні сили на переміщення дрібнодисперсних частинок майже не впливають, внаслідок чого ці частинки пилу повністю захоплюються вентиляційним потоком і поширюються по мережі гірничих виробок до поверхні.

Таким чином, нескладні обчислення свідчать про те, що приблизно 85 % від усього пилу, утвореного в результаті взаємодії вентиляційного потоку із зруйнованим гірським масивом, осідає в привибійному просторі за рахунок гравітаційних сил і застосування вискоелективних засобів пилопригнічення з використанням води, а 15% виноситься вентиляційним потоком з привибійного простору і розповсюджується по мережі гірничих виробок до поверхні. Тобто, концентрація дрібнодисперсного пилу в тупиковій гірничій виробці при роботі прохідницького комбайна може становити більше 2000 мг/м³.

У зв'язку з вищезгаданим, дуже актуальним є розробка заходів та засобів, що дозволяють ефективно знижувати саме дрібнодисперсну фракцію пилу (менше 10 мкм), яка є найбільш шкідливою для гірників. Такими засобами можуть бути пиловідсмоктувальні установки, які видаляють пил безпосередньо в місцях її утворення, і з подальшою її обробкою в різних пилоосаджувальних системах (коагуляторах, інерційних камерах і т.п.). Крім того можна застосовувати системи, які

пов'язують пил в осередках її утворення (системи пилопригнічення піною).

При ефективному придушенні дрібнодисперсного пилу вирішується два дуже важливі завдання:

- суттєве поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці гірників;
- зниження екологічних ризиків при виведенні вихідного струменя на поверхню.

Висновки.

На основі проведеного дослідження встановлено, що велику роль в переході пилу у зважений стан при падінні зруйнованої гірської маси грають динамічні характеристики вентиляційного потоку.

На підставі аналізу механізму пилоутворення при руйнуванні гірського масиву комбайном рекомендована формула для визначення інтенсивності пилоутворення, що дозволяє прогнозувати інтенсивність пилоутворення для подальшої розробки ефективних засобів і заходів боротьби з пилом у привибійному просторі тупикових виробок.

Проведені авторами обчислення свідчать про те, що приблизно 85 % від усього пилу, утвореного в результаті взаємодії вентиляційного потоку із зруйнованим гірським масивом, осідає в привибійному просторі за рахунок гравітаційних сил і застосування вискоелективних засобів пилопригнічення з використанням води, а 15% виноситься вентиляційним потоком з привибійного простору і розповсюджується по мережі гірничих виробок до поверхні. Тобто, концентрація дрібнодисперсного пилу в тупиковій гірничій виробці при роботі прохідницького комбайна може становити більше 2000 мг/м³. Для мінімізації шкідливого впливу вугільного пилу слід розробити заходи та засоби, що дозволяють ефективно знижувати саме дрібнодисперсну фракцію пилу (менше 10 мкм), яка є найбільш шкідливою для гірників.

Список літератури

1. A Guide to Spray Technology for Dust Control. Spraying Systems Co. 2008. *Bulletin* 652. 20 P.
2. Soboliev, V., Rudakov, D., Stefanovych, L. I., Jach, K. Physical and mathematical modelling of the conditions of coal and gas outbursts. *Mining of Mineral Deposits*. 2017. Vol. 11 (3). P. 40-49.

<https://doi.org/10.15407/mining11.03.040>

3. Ocheretna L., Lukáš D. Computer Simulation of a Fluid Flow through the Declined Porous Structure. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 746. P. 271-276. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.746.271>
4. Ma Y.K., Nie B.S., He X.Q., Li X.C., Meng J.Q., Song D.Z. Mechanism investigation on coal and gas outburst: an overview. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2020. Vol. 27(7). P. 872-887. <https://doi.org/10.1007/s12613-019-1956-9>
5. Jin K. et al. Experimental investigation on the formation and transport mechanism of outburst coal-gas flow: Implications for the role of gas desorption in the development stage of outburst. *International Journal of Coal Geology*. 2018. Vol. 194. P. 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2018.05.012>
6. Zhou B. et al. Effects of gas pressure on dynamic response of two-phase flow for coal-gas outburst. *Powder Technology*. 2021. Vol. 377. P. 55-69. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.08.065>
7. Rudakov D., Sobolev V. A mathematical model of gas flow during coal outburst initiation. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29(5). P. 791-796. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.02.002>
8. Fan C. et al. Coal and gas outburst dynamic system. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017. Vol. 27 (1). P. 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.11.003>
9. Xu T. et al. Numerical investigation of coal and gas outbursts in underground collieries. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2006. Vol. 43 (6). P. 905-919. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2006.01.001>
10. Feldman E., Kalugina N., Chesnokova O. Evolution of cracks in selvage of the coal bed during its stationary working. *Mining of Mineral Deposits*. 2017. Vol. 11 (2) P. 41-45. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.041>
11. Vasilkovskiy V., Miniciev S., Kaluhina N. Bonding energy and methane amount at the open surface of metamorphic coal. *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*, 2019. Vol. 109. P. 00108. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900108>
12. Alexeev A. D. *Physics of coal and mining processes*. CRC Press, 2011. 350 P.
13. Хорольський А. О., Косенко А. В. Розробка та реалізація моделі для обґрунтування оптимальних технологічних схем відпрацювання викидонебезпечних вугільних пластів. *Науковий вісник ДонНТУ*, 2022. №1(8)-2(9). С. 193-205. [https://www.doi.org/10.31474/2415-7902-2022-1\(8\)-2\(9\)-193-205](https://www.doi.org/10.31474/2415-7902-2022-1(8)-2(9)-193-205)
14. Kwinta A., Gradka, R. Analysis of the damage influence range generated by underground mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2020. Vol. 128. P. 104263. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104263>
15. Vayenas N., Peng, S. Reliability analysis of underground mining equipment using genetic algorithms: A case study of two mine hoists. *Journal of Quality in maintenance Engineering*. 2014. Vol. 20(1). P. 32-50. <https://doi.org/10.1108/JQME-02-2013-0006>
16. Muppidi S., Mahesh K. Two-dimensional model problem to explain counter-rotating vortex pair formation in a transverse jet. *Physics of Fluids*. 2006. Vol. 18. P. 8. <https://doi.org/10.1063/1.2236304>
17. Shahzad, K., Fleck, B. A., Wilson, D. J. Small scale modeling of vertical surface jets in cross-flow: Reynolds number and downwash effects. *Journal of Fluids Engineering*. 2007. Vol. 129(3). P. 311-320. <https://doi.org/10.1115/1.2427084>
18. Krothapalli, A., Lourenco, L., Buchlin, J. M. Separated flow upstream of a jet in a crossflow. *AIAA Journal*. 1990. Vol. 28(4). P. 414-420.
19. *Правила безпеки у вугільних шахтах*. 2000. 398 с.
20. Столбченко О. В. Визначення концентрації метану у вихідному струмені тупикової виробки. *Геотехнічна механіка*. 2013. №110. С. 110-115.
21. Cheberyachko S., Cheberyachko Y., Naumov M., Deryugin, O. Development of an algorithm for effective design of respirator half-masks and encapsulated particle filters. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2022. Vol. 28(2). P. 1145-1159. <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1869429>
22. Mukha O., Cheberiyachko Y., Sotskov, V., Kamulin A. Studying aerodynamic resistance of a stope involving CAD packages modeling. In *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 123. P. 01048. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301048>
23. Cheberiyachko, S., Yavors'ka, O., Radchuk, D., Yavorskyi, A. Respiratory protection provided by negative pressure half mask filtering respirators in coal mines. *Solid State Phenomena*, 2019. Vol. 277. P. 232-240. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.277.232>
24. НПАОП 10.0-7.08-93 Керівництво щодо проектування вентиляції вугільних шахт. Київ, 1993.
25. Bazaluk O., et. al. Improvement of the occupational risk management process in the work safety system of the enterprise. *Frontiers in public health*. 2023. Vol. 11. P. 1330430. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1330430>

References

1. A Guide to Spray Technology for Dust Control (2008). *Spraying Systems Co.* Bulletin B, 20 p.
2. Soboliev, V., Rudakov, D., Stefanovych, L. I., & Jach, K. (2017). Physical and mathematical modelling of the conditions of coal and gas outbursts. *Mining of Mineral Deposits*, 11 (3), 40-49. <https://doi.org/10.15407/mining11.03.040>
3. Ocheretna, L., & Lukáš, D. (2013). Computer Simulation of a Fluid Flow through the Declined Porous Structure. *Advanced Materials Research*, 746, 271-276. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.746.271>
4. Ma, Y. K., Nie, B. S., He, X. Q., Li, X. C., Meng, J. Q., & Song, D. Z. (2020). Mechanism investigation on coal and gas outburst: an overview. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 27, 872-887. <https://doi.org/10.1007/s12613-019-1956-9>
5. Jin, K., Cheng, Y., Ren, T., Zhao, W., Tu, Q., Dong, J., ... & Hu, B. (2018). Experimental investigation on the formation and transport mechanism of outburst coal-gas flow: Implications for the role of gas desorption in the development stage of outburst. *International Journal of Coal Geology*, 194, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2018.05.012>

6. Zhou, B., Xu, J., Yan, F., Peng, S., Gao, Y., Li, Q., & Cheng, L. (2021). Effects of gas pressure on dynamic response of two-phase flow for coal-gas outburst. *Powder Technology*, 377, 55-69. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.08.065>
7. Rudakov, D., & Sobolev, V. (2019). A mathematical model of gas flow during coal outburst initiation. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(5), 791-796. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.02.002>
8. Fan, C., Li, S., Luo, M., Du, W., & Yang, Z. (2017). Coal and gas outburst dynamic system. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(1), 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.11.003>
9. Xu, T., Tang, C. A., Yang, T. H., Zhu, W. C., & Liu, J. (2006). Numerical investigation of coal and gas outbursts in underground collieries. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(6), 905-919. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2006.01.001>
10. Feldman, E., Kalugina, N., & Chesnokova, O. (2017). Evolution of cracks in selvedge of the coal bed during its stationary working. *Mining of Mineral Deposits*, 11(2), 41-45. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.041>
11. Vasilkovskiy, V., Minieiev, S., & Kaluhina, N. (2019). Bonding energy and methane amount at the open surface of metamorphic coal. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 109, p. 00108). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900108>
12. Alexeev, A. D. (2011). *Physics of coal and mining processes*. CRC Press.
13. Khorolskiy, A. O., & Kosenko, A. V. (2022). Rozrobka ta realizatsiya modeli dlya obgruntuvannya optimal'nykh tekhnolohichnykh skhem vidpratsyuvannya vykydonebezpechnykh vuhil'nykh plastiv. *Scientific Bulletin of DonNTU*, 1 (8)-2 (9), 193-205. [https://www.doi.org/10.31474/2415-7902-2022-1\(8\)-2\(9\)-193-205](https://www.doi.org/10.31474/2415-7902-2022-1(8)-2(9)-193-205) (in Ukrainian).
14. Kwinta, A., & Gradka, R. (2020). Analysis of the damage influence range generated by underground mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 128, 104263. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104263>
15. Vayenas, N., & Peng, S. (2014). Reliability analysis of underground mining equipment using genetic algorithms: A case study of two mine hoists. *Journal of Quality in maintenance Engineering*, 20(1), 32-50. <https://doi.org/10.1108/JQME-02-2013-0006>
16. Muppidi, S., & Mahesh, K. (2006). Two-dimensional model problem to explain counter-rotating vortex pair formation in a transverse jet. *Physics of Fluids*, 18(8). <https://doi.org/10.1063/1.2236304>
17. Shahzad, K., Fleck, B. A. & Wilson, D. J. (2007). Small scale modeling of vertical surface jets in cross-flow: Reynolds number and downwash effects. *Journal of Fluids Engineering*, 129(3), 311-320. <https://doi.org/10.1115/1.2427084>
18. Krothapalli, A., Lourenco, L. & Buchlin, J. M. (1990). Separated flow upstream of a jet in a crossflow. *AIAA Journal*, 28(4), 414-420.
19. *Pravila bezpeky u vuhilnykh shakhtakh* (2000), Safety in Coal Mines, Kiev, Ukraine (in Ukrainian).
20. Stolbchenko O. V. (2013). Vyznachennya kontsentratsiyi metanu u vykhidnomu strumeni tupykovoyi vyrobky. *Heotekhnichna mekhanika*. 2013, (110), 110-115.
21. Cheberyachko, S., Cheberyachko, Y., Naumov, M., & Deryugin, O. (2022). Development of an algorithm for effective design of respirator half-masks and encapsulated particle filters. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 28(2), 1145-1159. <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1869429>
22. Mukha, O., Cheberiyachko, Y., Sotskov, V., & Kamulin, A. (2019). Studying aerodynamic resistance of a stope involving CAD packages modeling. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 123, p. 01048). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301048>
23. Cheberiyachko, S., Yavors'ka, O., Radchuk, D., & Yavorskiy, A. (2018). Respiratory protection provided by negative pressure half mask filtering respirators in coal mines. *Solid State Phenomena*, 277, 232-240. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.277.232>
24. NPAOP 10.0-7.08-93 *Kerivnytstvo shchodo proektuvannya ventylyatsiyi vuhil'nykh shakht*. Kyiv, 1993. (in Ukrainian)
25. Bazaluk, O., Tsopa, V., Okrasa, M., Pavlychenko, A., Cheberiyachko, S., Yavorska, O., ... & Lozynskiy, V. (2024). Improvement of the occupational risk management process in the work safety system of the enterprise. *Frontiers in public health*, 11, 1330430. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1330430>

Надійшла до редакції 21.10.2024

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Олександр МОЛЧАНОВ

Чеберячко Юрій Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (НТУ «ДП»), Дніпро, Україна, cheberiyachko.yu.i@nmu.one.

Хорольський Андрій Олександрович, кандидат технічних наук, завідувач лабораторії проблем розробки родовищ, Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ВФГП ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, andreykh918@gmail.com.

Лісовицька Ірина Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (НТУ «ДП»), Дніпро, Україна, lisovytska.i.a@nmu.one.

Мамайкін Олександр Рюрікович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (НТУ «ДП»), Дніпро, Україна, mamaykin@yahoo.com.

Беднюк Олександр Вікторович, аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (НТУ «ДП»), alexander.bednyuk@gmail.com.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE DYNAMICS OF VENTILATION FLOW ON DUST FORMATION DURING THE DESTRUCTION OF MINING ROCKS WITH A HARVESTER

Purpose. To evaluate the influence of the dynamic characteristics of the ventilation flow on the intensity of dust formation during the destruction of mining rocks by the executive body of the combine, which makes it possible to predict the dustiness of the mine atmosphere in the near-excavation space of the dead-end mine and to develop effective means and measures for dust control.

Methods. Analytical methods are used in the work - to develop a method for calculating the intensity of dust formation, taking into account the peculiarities of the work of combine harvesters with an arrow-shaped working body and the dynamic characteristics of the ventilation flow.

Findings. Calculation schemes for the study of the process of dust generation in the cleaning pit have been developed: a scheme of aerodynamic zones during the movement of the dust-gas-air mixture from the pit space, taking into account its clutter with mining equipment; scheme of aerodynamic zones during the movement of the dust-gas-air mixture from the inflow space of the dead-end production during the stationary process of dust generation and in compliance with the requirements established by the "Safety Rules" regarding the distance of the end of the air duct from the plane of the excavation. The study revealed a significant influence of the dynamic characteristics of the ventilation flow on the transition of dust into a suspended state during the destruction of a rock mass. Based on the analysis of the mechanism of dust generation, an empirical dependence is proposed for the quantitative assessment of the intensity of dust generation, which allows to predict dust generation in dead-end mining and to develop effective measures to combat it.

Originality. A method of calculating the intensity of dust formation during the destruction of a mass of rock by the executive body of the combine has been developed and theoretically substantiated, which differs from existing methods by accounting for the interaction of directed air currents with the flow of reflected mining mass.

Practical implication. The practical significance of the obtained results is that the recommended formula makes it possible to predict the intensity of dust generation for the further development of effective means and measures to combat dust in the near-excavation space of dead-end workings. Proposed means and measures aim to minimize the negative impact of coal dust on the health of mine workers. Such means can be dust extraction units that remove dust directly at the places of its formation, and with its further processing in various dust settling systems (coagulators, inertial chambers, etc.). In addition, you can use systems that bind dust in the centers of its formation (foam dust suppression systems).

Keywords: intensity of dust formation, dynamic characteristics of air flow, reflected mining mass, dust impurities.

Cheberiyachko Yurii, Doctor of Technical Sciences, Professor of Labor protection and civil safety Department, Dnipro University of Technology (NTU DP), Dnipro, Ukraine

cheberiyachko.yu.i@nmu.one.

Khorolskyi Andrii, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Head of the Department of Field Development Problems, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics the National Academy of Sciences of Ukraine (BPMP IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine

andreykh918@gmail.com.

Lisovytska Iryna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Labor protection and civil safety Department, Dnipro University of Technology (NTU DP), Dnipro, Ukraine, lisovytska.i.a@nmu.one.

Mamaikin Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining and Education Department, Dnipro University of Technology (NTU DP), Dnipro, Ukraine

mamaykin@yahoo.com.

Bedniuk Oleksandr, postgraduate, Dnipro University of Technology (NTU DP), Dnipro, Ukraine

alexander.bednyuk@gmail.com.