

19. Дрешпак Н.С. Облік електричної енергії в системах контролю енергоефективності її використання. Гірничая електромеханіка та автоматика / Н.С. Дрешпак, С.І. Випанасенко, О.С. Дрешпак // Гірничая електромеханіка та автоматика. – 2021. – №103. – С.20-25.

20. Випанасенко С.І., Сатрі А.А., Дрешпак Н.С. Електротехнологічні установки індукційного нагріву з несинусоїдальним струмом індуктора. Монографія // НТУ «ДП», 2018. – 102 с.

21. Дрешпак Н.С. Управління процесом індукційного нагріву із застосуванням несинусоїдального струму індуктора/ Н.С. Дрешпак, С.І. Випанасенко, Л.І. Мещеряков // Електромеханічні і енергозберігаючі процеси.– 2017. – №4. – С. 75-80.

УДК 331.45.001.85

С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Г.І. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук

Криворізький національний університет

О.М. КОСТЯНСЬКИЙ, канд. техн. наук, НДГРІ, Криворізький національний університет

Г.О. КОСТЯНСЬКА, адміністратор служби виробництва послуги інтернет

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗНИЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ ПИЛУ З АВТОДОРОГ В ОКОЛИЦЯХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ КРИВБАСУ**

**Мета** даної роботи спрямована на вирішення екологічних проблем в Кривбасі: захист робочого простору кар'єрів при відкритому видобутку руди від пилу з автомобільних доріг шляхом впровадження заходів по зменшенню викидів пилу при русі автосамоскидів. При цьому, під час перевезення гірничої маси автосамоскидами запропоновані заходи мають ефективно забезпечувати зниження забруднення повітря пилом навіть при несприятливих кліматичних умовах.

**Методи досліджень.** В роботі використовувалися методи статистично-логічного і компаративного аналізу й узагальнень щодо визначення основних параметрів викидів пилу з автодоріг кар'єру та причинних зв'язків і залежностей з урахуванням найбільш впливових факторів. Для пошуку рішення за допомогою аналітичного методу було вивчено та узагальнено існуючі заходи щодо знепилення автошляхів, інтерпретовано отриману інформацію і рекомендовано обґрунтовані рекомендації по знепиленню автошляхів.

**Наукова новизна.** Комплексний підхід щодо формування заходів по обробці водою автодоріг для зволоження здійснюється з урахуванням напрямку переносу пилу повітрям відносно доріг якими транспортують гірничу масу автосамоскиди. При цьому параметри зволоженості визначають з урахуванням окремих кліматичних умов, присутність пилопригнічуючих добавок підсилює ефект від зволоження, а для кращого очищення повітря навколо автодоріг пропонується використання гідроксид-іонів, які можуть створюватися за допомогою нових водяних систем.

**Практичне значення.** Для впровадження заходів по зниженню вмісту пилу у викидах в атмосферу, особливо з поверхонь автодоріг визначено питомий обсяг витрат води для зволоження поверхні автодоріг за подальшого поглиблення кар'єру, що дозволить отримати екологічний ефект.

**Результати.** Запропоновано заходи з пилопригнічення робочого простору кар'єру, визначено питомий обсяг води для зволоження поверхні автодоріг у кар'єрі. Для заходів пилопригнічення величина витрат води розраховується згідно з температурою поверхні автодороги, а також рекомендовано використання пилопригнічуючих добавок, що дозволяє визначати шляхи зниження вмісту пилу у викидах в атмосферу поблизу автодоріг для умов конкретного кар'єру.

**Ключові слова:** пил автомобільних доріг, пилопригнічення, забрудненість повітря, заходи щодо знепилення, витрати води для приборкання викидів пилу.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-110-116

**Проблема та її зв'язок з основними науковими і практичними завданнями.** Майже всі процеси в гірничій промисловості супроводжуються викидами пилу і обумовлюють інтенсивне забруднення атмосферного повітря.

Один з поширених видів пилу, який зустрічається в кар'єрі і негативно впливає на навколишнє середовище – це дорожній пил. Транспортування руди автосамоскидами в кар'єрі до перевантажувальних майданчиків або концентраційних горизонтів, а порожньої породи - на відвали в суху погоду неодмінно супроводжується виділенням великої кількості пилу. Збільшення обсягу гірничої маси, що перевозиться, відповідно сприяє зростанню обсягу виділенню пилу на кар'єрних автодорогах.

До складу дорожнього пилу входить велика кількість вихлопних газів, потрапляють крихітні частинки шин, гальмівних колодок та дорожніх матеріалів, що піднімаються у повітря від руху автомобіля.

Пил погіршує санітарно-гігієнічні умови праці. При цьому, один з найбільш небезпечних забруднювачів- це мілко-дисперсний пил. Розміри частинок пилу можуть варіювати від часток мікрона до 0,1мм. Дослідження вчених показали, що шкоду здоров'ю людини завдають дрібно-дисперсні частинки з аеродинамічним діаметром менш 2,5мкм (PM2.5). Середньорічний ліміт для PM2.5 частинок, розроблений ВОЗ, становить 10 мг/куб. м [1]. Частки пилу діаметром 2,5 мікрметра або менші (PM2.5), що продукуються при русі транспортних засобів відносяться до респірабельних, тобто їх діаметр настільки незначний, що вони здатні проникнути в відділ дихальної системи людини і в кровеносне русло. Дорожній пил (має в своєму складі найдрібніші частинки кварцу) проникає у легені та діє на слизові оболонки очей, носа та горла. Забруднене повітря провокує появу серцево-судинних та інших важких захворювань у робітників кар'єра.

Висока запиленість повітря ускладнює видимість на автошляхах, особливо у темну пору доби і, як наслідок, знижує безпеку виконання транспортних робіт, що створює умови для аварійних ситуацій під час руху технологічного автотранспорту. Тому не можна ігнорувати необхідність ефективного контролю запиленості. Крім того, частина пилу виноситься з кар'єрного простору, що призводить до забруднення атмосферного повітря прилеглих територій.

Тому, не випадково однією з екологічних цілей гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) Кривбаса, в тому числі «АМКР», є зниження вмісту пилу у викидах в атмосферу, запобігання пилоутворенню на територіях прилеглих до кар'єрів та інших пилонебезпечних об'єктів ГЗК. У зв'язку з цим проблема пилоподавлення на кар'єрних автошляхах є актуальною.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Слід зазначити, що у вирішенні екологічних завдань з пилоподавлення на залізрудних кар'єрах може стати в нагоді досвід боротьби з забрудненням атмосфери на тотожних гірничорудних підприємствах. Так, експериментальні дослідження пилоподавлення на кар'єрних транспортних комунікаціях проводилися на двох кар'єрах в Узбекистані, що знаходяться у спекотному поясі. Вивчалася частота пиловиділення у часі та після нанесення пилоподавляючих засобів. Надходження пилу в атмосферу спостерігалось на кар'єрних автомобільних дорогах та вантажно-розвантажувальних пунктах [2].

Серед факторів забруднення довкілля за останні роки автотранспорт розглядається як найбільш потужне джерело забруднення атмосферного повітря великих міст і впливу на стан здоров'я населення. Значення індексу забруднення атмосферного повітря (ІЗА) у 2021 році в порівнянні серед міст України, де проводились спостереження, становило зокрема для Кривого Рогу- 12,1. При тому, що рівень вважається низький при ІЗА менше 5,0; підвищений – при ІЗА від 5,0 до 7,0; високий – при ІЗА від 7,0 до 14,0; дуже високий – при ІЗА від 14,0 та вище [3].

Викиди пилу за 2021 р. у Кривому Розі склали 31,8 тис.т [4].

Спостереження за забрудненням повітря в Кривому Розі ведуться на 5 стаціонарних постах (ПСЗ). Згідно щомісячного бюлетеня забруднення атмосферного повітря у Кривому Розі за жовтень 2023р. протягом місяця спостерігалось перевищення гранично допустимих максимально разових концентрацій по пилу. Середньомісячна концентрація пилу перевищувала на всіх п'яти ПСЗ і становила 2,00 ГДК сер. доб. [5].

Загальні вимоги щодо охорони атмосферного повітря викладені в матеріалах посібника [6].

Зрозуміло, що несприятливі умови для довкілля пов'язані з забрудненням атмосферного повітря найбільше торкаються тих місць, які знаходяться в безпосередній близькості до ГЗК.

Задля вирішення екологічних програм в Кривбасі було прийняте рішення міської ради про затвердження екологічної програми 2016-2025 р.р. [7], де одним із важливих питань було пилопригнічення і передбачено здійснення заходів щодо зниження викидів твердих суспензованих частинок (пилу), що спричиняють забруднення атмосферного повітря,

Як правило, на кар'єрах Кривбаса з метою зменшення пилоутворення здійснюється зволоження поверхні технологічних автодоріг. Щодо цього заходу представник японської компанії-виробника спецтехніки Komatsu Греєм Армстронг (Graeme Armstrong) згоден з тим, що без зволоження кар'єрних доріг може виникнути надмірна запиленість. Крім впливу на довкілля, особливо там, де кар'єри розташовані неподалік міських районів, погана видимість знижує безпеку дорожнього руху. Крім того, запиленість може призвести до збільшення витрат на техніч-

не обслуговування, оскільки повітряні фільтри або оливи автотранспорту необхідно буде міняти частіше [8].

Однак, з'ясувалося, що пилоподавлення водою на кар'єрах у спекотному поясі (умови якого тотожні кліматичним умовам в літній час на кар'єрах Кривбаса) не дає належного ефекту. Більш доцільними є засоби, які зберігають пиломіцнювальні або пилопригнічувальні властивості протягом декількох днів, а то й місяців [2]. Хоча економічні показники на разі є вирішальними, важливий також кінцевий результат- ефективність придушення пилу без зміни технології видобутку корисної копалини.

**Постановка задачі.** Таким чином, задача підтримки нормального екологічного стану атмосфери кар'єрів вимагає пошуку нових можливостей ефективно боротися з пилом у кар'єрах, а значить покращувати санітарно-гігієнічні умови праці гірників, які перебувають під постійним впливом шкідливого виробничого фактору – підвищеного рівня забрудненості повітря пилом, попереджати небезпечні захворювання, що виникають від потрапляння пилу в організм людини, а також продовжувати термін служби обладнання та техніки.

**Викладення матеріалів та результати.** Експлуатація кар'єрних автошляхів є невід'ємною частиною виробничого процесу технології відкритої розробки. При чому збільшення обсягів гірничої маси, що перевозиться, відповідно сприяє зростанню пиловиділення з кар'єрних автошляхів. Винесення дрібних мінеральних частинок з поверхні автошляхів, що супроводжує рух автосамоскидів, призводить до підвищення запиленості повітря та забруднення прилеглої території.

Слід зазначити, що першою вимогою при впровадженні стандарту ISO 14001 на ГЗК є наявність на підприємстві екологічної політики, на підставі якої розробляються екологічні цілі та завдання, а їх виконання постійно контролюється.

Величина концентрації пилу в атмосфері кар'єру важлива для об'єктивної оцінки стану її забруднення, розробки необхідних заходів щодо зниження пилових викидів та покращення умов праці робітників кар'єру.

Для зменшення запиленості на будь-яких кар'єрних дорогах можуть використовуватися такі засоби

використання води або гігроскопічних речовин для зменшення утворення дорожнього пилу. Екологічні служби кар'єра повинні стежити за вологістю пилу на дорогах, особливо при збільшенні швидкості руху повітря;

використання активних речовин, які розчиняються у воді покращує збереження вологості пилу на дорогах;

зміна режиму роботи так, щоб при збільшенні швидкості руху повітря по можливості зменшити діяльність, що призводить до утворення пилу, що може призвести до потрапляння більшої кількості пилу в потік повітря.

В умовах «АМКР» в ОВД «Реконструкція та розвиток кар'єрів №2-біс та №3 гірничого департаменту ПАТ «АМКР» для підтримки продуктивності та видобутку сирової руди 30 млн.т на рік в період з 2020 р.- до кінця відпрацювання кар'єрів №2-біс та №3» в Інгулецькому та Центрально-міському районах міста Кривого Рогу передбачається комплекс рішень для запобігання та зменшення негативного впливу на довкілля, а саме: при експлуатації кар'єрів №2-біс та №3 використання вод кар'єрного водовідливу для заходів з пилопригнічення- полив кар'єрних автодоріг. Розглянуто ефективні технології щодо зменшення пиління на різних поверхнях кар'єру з використанням в'язучих речовин (бішофіт). Тому, одним із заходів, що сприяє підтримці нормального стану атмосфери на дорогах, є застосування бішофіту-розчину солей магнію, який розпорошують на поверхню. Цей розчин позитивно зарекомендував себе для закріплення поверхонь, що пилять. До того ж не такий корозійний.

У зв'язку з цим, на кар'єрах часто використовують важливу властивість хлористого магнію, яка має суттєве значення при експлуатації автомобільних доріг з нежорстким покриттям – найгірша порівняно з іншими солями розчинність у воді.

Зазначена властивість позитивно впливає на процес омонолічування матеріалу в щелепній суміші та його механічне зміцнення з її складу дрібних сполучних частинок при опадах у вигляді злив. Дворазова обробка полотна дороги: вдень за високої температури, а вночі, коли температура повітря спадає дозволяє знизити пиління в 5-6 разів [9].

Поряд з цим, слід зазначити, що застосовувати розчин бішофіту окремо в якості змочувача пилу недоцільно через велику його поверхневу енергію, обумовлену великим коефіцієнтом поверхневого натягу, яка на 10-20% більше, ніж у води. Його слід використовувати після попереднього змочування щебеневої суміші технічною водою, що в 8-10 разів підвищує швидкість фільтрації його в нижні конструктивні шари і водночас підвищує запас води для капілярного змочування щебеневої суміші в шарі зносу дороги. До того ж, максимальний об'ємний вміст розчину в щебеневої суміші повинен становити 14-16% при питомій його щільності 1170-1260 кг/м<sup>3</sup> [9].

Однак дослідження щодо вибору та розробки пилоподавлюючих розчинів для боротьби з пилом на кар'єрних автошляхах, показали, що пилозв'язувальна речовина не може забезпечити запобігання пиловиділенню з автодороги протягом тривалого часу, якщо влаштування дороги не відповідає існуючим вимогам. Це зумовлено тим, що розчин утворює тонку плівку, яка легко пошкоджується колесами автосамоскидів. Виходячи з цього, слід зазначити, що ефективність будь-якого пилоподавлюючого розчину залежатиме також від дорожнього покриття.

У зв'язку з цим будівництво доріг необхідно проводити відповідно до чинних нормативних документів та інструкцій з будівництва кар'єрних доріг. Ці інструкції передбачають відсіпання полотна дороги з кількох шарів. Спочатку - це шар щебеню фракції 70-80 мм. Поверх цього шару формують шар щебеню фракції 30-40 мм, зверху якого насипають шар щебеню-клинцю з розміром частинок близько 10 мм. Покриття, що утворилося, трамбують. Тільки після цього його необхідно обробити розчином з оптимальною витратою на 1м<sup>2</sup> дороги, щоб розчин міг зволожити поверхню полотна до максимальної молекулярної вологості на глибину 40-50 мм і більше [10].

Оскільки полотно дороги при проходженні автомобіля постійно прогинається, а матеріал знаходиться в складному напруженому стані, то для забезпечення заданої міцності шару зносу у відсіві щебеня має бути присутня доля (4-12%) пилоподібних часток. Окрім цього в шар додатково потрапляє до 80% пилоподібних часток розміром до 0,25мм, що утворюються при стираних колесами автомобілів щебеню. При проходженні автосамоскидів маса пилоподібних частинок починає рухатись і піднімається в повітря забруднюючи атмосферу [9].

Наслідком тиску коліс важких автосамоскидів на поверхню кар'єрних технологічних автодоріг є подрібнення щебеня, що призводить до викиду пилу в повітря. В якості поширеного заходу для боротьби з таким негативним явищем використовують воду або водні розчини солей магнію або кальцію, які утворюють навколо частинок пилу в щебеневої суміші полотна дороги рідкі оболонки (манжети).

При зовнішній дії (тиску коліс) на порошок відстань між ними скорочується внаслідок чого відбувається ущільнення щебеню. Попереднє введення води в зміцнювальний шар щебеневої дороги скорочує час просочення загущеним до максимальної концентрації розчином. Таким чином, загущення сольового розчину дає змогу не тільки підвищити міцність рідких містків (манжетів) між мінеральними частинками, а й пов'язувати частки пилу в агрегати вже містками солей, що сорбовані на їхній поверхні в разі випаровування вологи зі щебеневої суміші [11].

При цьому, концентрація солей магнію або кальцію в розчині для поливу автодоріг така, що утворення шару води на поверхні частинок пилу зміцнювального шару щебеневої дороги дає змогу збільшити швидкість його просочення загущеним розчином солі у 8-10 разів [11].

Відомо, що в околицях кар'єрів поширеним є розповсюдження пилової хмари від щебенових доріг в горизонтальній площині, оскільки підняті автомобілями мінеральні частки мають при подальшому плануванні більшу швидкість у горизонтальній площині, ніж у вертикальній. Тобто, найбільш небезпечним є розповсюдження пилової хмари в околицях щебенових доріг в кар'єрі в горизонтальному напрямку [9]. Тому обробку поверхні автодоріг по яким перевозиться гірнична маса автосамоскидами водою або пилоподавлюючим розчином важливо здійснювати з врахуванням напряму переносу пилу при виконанні заходів по знепиленню автодоріг.

У зв'язку з різноманіттям умов експлуатації автодоріг у кар'єрі, витрати води на зволоження поверхні доцільно визначити розрахунковим шляхом.

Величина зволоження в значній мірі пропорційна витратам води. Питомі витрати води на пилопригнічення пов'язані з інтенсивністю її випаровування, яке залежить від метеорологічних умов і можуть бути визначені [12] за відомою формулою

$$q_{p,d} = 53 \cdot 10^{-5} \left( 1 + 1,55 \cdot \frac{T_n - T_2}{v_{10}^2} \right) \cdot (l_n - l_2) \cdot v_{10} \cdot K_d,$$

де  $q_{p,d}$  - питомі витрати води на пилопригнічення,  $\text{кг/м}^2$  ( $\text{м}^2 \times \text{год.}$ );  $T_n$  - температура поверхні дороги, градус;  $T_2$  - температура повітря на висоті 2 м від поверхні дороги, градус;  $v_{10}$  - швидкість руху повітряних потоків на висоті 10 м від поверхні дороги, м/с;  $l_n$  - пружність насиченої пари при температурі поверхні дороги, Па;  $l_2$  - пружність насиченої пари на висоті 2 м від поверхні дороги, Па;  $K_d$  - коефіцієнт, враховуючий додаткові витрати, пов'язані з поливанням узбіччя, винесенням води транспортом, що проходив і т.д. [12].

В липні місяці в Кривбасі денна температура витримується в середньому на рівні  $28^\circ\text{C}$ .

Температурний діапазон нормальної експлуатації автомобільних доріг визначається в основному їх технічними характеристиками. Порівняння середньомісячних значень температури повітря й температури поверхні ґрунту показує, що температура ґрунту в літні місяці вища, ніж температура повітря, а в зимові місяці може бути нижчою за температуру повітря. Згідно з даними роботи [13] математичне сподівання приросту температури дорівнює  $\Delta T = T_n - T_2 = 3,6^\circ\text{C}$ .

Підставляючи в вищенаведену формулу відомі параметри для денних умов, отримаємо,  $\text{кг/м}^2$

$$q_{p,d_1} = 53 \cdot 10^{-5} \left( 1 + 1,55 \cdot \frac{3,6}{3,8^2} \right) \cdot (4630 - 3780) \cdot 3,8 \cdot 1,0 = 1,582.$$

В липні місяці середня нічна температура дорівнює  $19^\circ\text{C}$ . Розрахуємо витрати води на поливку автодоріг в кар'єрі у нічний час,  $\text{кг/м}^2$

$$q_{p,d_2} = 53 \cdot 10^{-5} \left( 1 + 1,55 \cdot \frac{3,6}{3,8^2} \right) \cdot (2180 - 1850) \cdot 3,8 \cdot 1,1 = 0,614.$$

Середні добові витрати води на пилопригнічення становлять  $(q_{p,d_1} + q_{p,d_2})/2 = (1,582 + 0,614)/2 = 1,1 \text{ кг/м}^2$ . Таким чином можливо розрахувати питомі витрати води для знепилення автодоріг кожного кар'єру на завданий період, наприклад таких, як ПівдГЗК, ІнГЗК та інші.

Важливо обґрунтувати фізичний зміст механізму за допомогою якого очищується повітря, що дозволить ефективніше очищати навколишній простір і від дорожнього пилу. Як було відомо, для самоочищення повітря від шкідливих речовин потрібен гідроксидіон – негативно заряджений іон гідроксиду (ОН<sup>-</sup>). Значна частина пилу, який викидається в атмосферу, вступає з гідроксидом в хімічні реакції. Однак частка ця, на думку вчених, відносно невелика.

Як вважалось до останнього часу, для ефективного вироблення гідроксиду потрібне сонячне світло, або присутність металів. Однак у 2023 році міжнародна група хіміків з Ізраїлю, Китаю, США, Франції та Швейцарії повідомила, що гідроксид-іони можуть виділятися з води й у темряві. Виявилось, справа не в світлі, а в контакті повітря і води. На межі двох середовищ, водного і повітряного, утворюється слабе електричне поле. Воно якраз і впливає на вироблення гідроксид-іонів незалежно від часу доби. А гідроксид-іони у свою чергу очищають нижній шар атмосфери від шкідливих речовин. Дослідження [14] показали, що реакції можуть відбуватися спонтанно в невеликих краплях води. Має місце спонтанне утворення міжфазних гідроксильних радикалів (ОН) з водних крапель в умовах навколишнього середовища [14].

Гідроксильний радикал ОН є ключовим окислювачем. Помірна швидкість утворення ОН у краплях, відповідних атмосфері, порівняна або значно вища, ніж швидкість утворення відомих об'ємних водних джерел [14]. Оскільки водні краплі поширені у атмосфері повсюдно, це джерело радикалів ОН впливає на якість повітря. Однак для залучення цього принципу очистки повітря в умовах кар'єру потрібно використовувати пристрої, які продукували би гідроксидіони в потрібній кількості.

В сучасних умовах заходи боротьби з викидами пилу припускають його приглушення за допомогою туманотвірної гармати. Існуючі засоби для придушення пилу (шляхом туманоутворення) також називають: водяні гармати, системи для пилозаглушення.

Туманотвірні гармати або системи знижують концентрацію пилу, покращують якість повітря і позитивно впливають на гігієну робочого середовища, зберігають здоров'я працівників підприємства. Пилоподавлювач виробляє ультра-легкий водяний туман, який притягує пил. Частинки води налипають на зважені частинки пилу, збільшуючи їх вагу притягаючи їх до землі. Системи туманоутворення ефективно справляються з вдихуваними частинками пилу розмі-

ром 0,1–1000 мікрон: тому, що пил опиняється в щільному водяному тумані [15]. В результаті зрошення досягається пилопригнічення в навколишньому просторі.

Подібні установки призначені для знепилювання повітря від будь-яких джерел пилоутворення [15]. Такі системи справляються також з придушенням пилу в гірничо-добувній промисловості. Вони можуть встановлюватися та використовуватися для пилопридушення на кар'єрах, в тому числі на кар'єрних автошляхах. Системи пилопригнічення і туманоутворення високого тиску допоможуть знизити забруднення пилом машин і обладнання та підвищити термін їх роботи, оскільки запорошене гірниче обладнання частіше виходить з ладу і тим самим скоротити витрати на його додатковий ремонт.

Таким чином, системи туманоутворення є одним з ефективних видів устаткування для пилопригнічення (рис. 1). Однак треба враховувати, що в умовах кар'єру іноді діють досить сильні вітрові потоки, які можуть зносити водяний туман в іншому напрямку.

Існують також альтернативні способи знепилювання. Властивості мікрободоростевих штамів можуть бути використані для вирішення питань зв'язування пилу, що виділяється при відкритій розробці родовищ корисних копалин.

На ВАТ «Південний ГЗК» проведено дослідження [16], щодо закріплення пильних поверхонь шламосховищ з використанням суспензій мікрободоростей. Водорості мають слизисті чохла-оболонки й у такий спосіб діють на піщаники шляхом їх склеювання та механічного їх скріплення. Відомо, що загальна довжина водоростей у поверхневих нальотах пісків досягає 39,8–65,4 м на 1 см<sup>2</sup> піщаної поверхні.

Для досліджень [16] було прийнято штами синьо-зелених і зелених водоростей. З метою інтенсифікації пилозв'язувальних властивостей мікрободоростей до їхнього складу додавалася бактерія *Pseudomonas*.

Органічні продукти життєдіяльності мікрободоростей представлені речовинами, що, потенційно можуть впливати на процеси пилозв'язування.

Результати показали, що суспензія *Nostocmuscorum* і композиція суспензій *Nostocmuscorum* і *Pseudomonas* здатні збільшити стійкість пилових агрегатів до вітрової ерозії – у 10–30 разів. *Lyngbia* і *Anabaena* збільшують стійкість агрегатів до вітрової ерозії – у 5–9 разів.

Результати досліджень свідчать, що водяні суспензії мікрободоростевих штамів володіють пилозв'язувальними та склеювальними властивостями [16].

У згаданому дослідженні встановлено, що на поверхнях утворюються покриття, механічна міцність яких при витраті суспензій 5–6 л/м<sup>2</sup> складає 0,7–1,2 МПа. Товщина кірки з часом (50 діб) збільшувалася. При цьому відбувається коагуляція пилоподібних частинок порід з подальшим утворенням міцного адгезійного зв'язку між гірською породою і суспензією мікрободоростей за рахунок проходження між ними реакції поліконденсації [16].

Таким чином, результати досліджень свідчать, що водяні суспензії можуть бути використані для боротьби з пилом, що виділяється в процесі транспортування гірничої маси автосамоскидами у кар'єрі і можуть замінити інші засоби хімічного походження.

Ефективні методи зниження вмісту пилу в просторі кар'єра необхідно знаходити шляхом розроблення нових засобів пилопригнічення, враховуючи, що за обсягом забруднення пил є одним з основних забруднювачів кар'єрного повітря. При цьому запропоновані технічні рішення повинні забезпечувати безпечність оточуючого природного, техногенного середовища, а також місцевого населення, яке мешкає поблизу даного об'єкта (кар'єра) [17].

**Висновки і напрямок подальших досліджень.** Задача підтримки нормального екологічного стану атмосфери вимагає пошуку нових можливостей ефективно боротися з пилом у кар'єрі, а значить покращувати санітарно-гігієнічні умови праці гірників, продовжувати термін служби обладнання та техніки, а також попереджати небезпечні захворювання, що виникають від потрапляння пилу в організм людини. Можливий спосіб вирішення питання лежить в площині створення пристрою, що ефективно формує водяний струмінь з отриманням навколо нього негативно заряджених гідроксид-іонів, виникаючих через контакт наявних у повітрі газів і крапельок водяної пари. При цьому роботу по пилопригніченню навколо автодоріг потрібно проводити на всіх кар'єрах Кривбаса.



Рис. 1. Система пилопригнічення для кар'єру

## Список літератури

1. Обережно, пил [електронний ресурс]: VENTS Magazine: грудень 2017 / Боярка, 2017.- С. 16-19.- Режим доступу до журналу: [ukrblog.vents.ua/vents-magazine/vents-magazine-2-hruden-2017-rik.html#Vents/18-19](http://ukrblog.vents.ua/vents-magazine/vents-magazine-2-hruden-2017-rik.html#Vents/18-19)
2. **Батруков М.А.** (Васильчевское карьероуправление) Экспериментальные исследования пылеподавления на карьерных транспортных коммуникациях. / **М.А. Батруков** //IV научно- техническая конференция по карьерному транспорту. Тезисы докладов.- 1978- С. 137-138.
3. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. 514 ст.
4. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2022 рік/ м. Дніпро, 2023.- 309 с.
5. Якість повітря у Кривому Розі у жовтні: [електронний ресурс] / 1 Первой городской. 12. 11.2023, 10:00.- Режим доступу до журналу <https://one.kr.ua/news/50232>
6. **Діяльність** з охорони атмосферного повітря на підприємстві. Посібник. /TECH-MEDIA GROUP, 2022 р.- 366 с.
7. Рішення міської ради від 28.09.2016 р. № 901 «Про затвердження міської програми вирішення екологічних проблем Кривбасу та поліпшення стану навколишнього природного середовища на 2016- 2025 роки» / Кривий Ріг: Міська рада.- 2016.
8. Дорожные артерии карьеров [електронний ресурс]/ 27.08.2021 г./ Режим доступу <https://mcet.com.ua/ru/dorozhnye-arterii-karerov/>
9. **Нестеренко О. В.** Исследования по пылеподавлению на щебеночной автодороге / **О. В. Нестеренко, Т. А. Комиссаренко, Н. В. Домничев** //ScientificJournal «ScienceRise».- 2017.- №11(40).- С 48-53.
10. **Тыщук В.Ю.** Разработка и исследование средств пылеподавления на карьерных автодорогах на основе микрокапсулированных растворов/ **В.Ю. Тыщук** //Гірничий вісник. Сб. наукових праць, вип. 96,- Кривий Ріг.- 2013.- С. 225-228.
11. Связывание частиц пыли мостиками жидкостей при ее загущении / Нестеренко О.В. [та інші] // КНУ Гірничий вісник, вип. 101.- Кривий Ріг.- 2016.- С. 153-157
12. Борьба с пылью в рудных карьерах / В.А. Михайлов [и др.]- М.: - «Недра», 1981.- 262 С.
13. **Карюк А.Н.** Методика оцінювання температурного режиму покриття автомобільних доріг/ **А.Н. Карюк, Б.В. Савенко**// Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. ПолтНТУ. Вип. 1 (46). – Полтава.- 2016. – С. 246-254.
14. Самопроизвольное темное образование радикалов ОН на границе атмосферных капель воды /Канвэй Ли [та інші], ред. Марка Тименса // Каліфорнійський університет в Сан-Диего, Ла Хойя, Каліфорнія.- 03.04.2023. - Режим доступу <https://inscience.news › article › chemistry-and-materials>
15. Приглушення пилу та запахів. Придушення пилу та запахів за допомогою систем туманоутворення /ТОВ «Юнісол Україна» [електронний ресурс]// Режим доступу <https://unisol.in.ua/ua/p953167983-pushki-dlya-pylepodavleniya.html>
16. **Тищук В.Ю.** Використання засобів біотехнології для пилоподавлення у кар'єрах / **В.Ю.Тищук** // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сталий розвиток промисловості і суспільства». ДВНЗ «Криворізький національний університет».- Кривий Ріг. – 2014.-С. 117-118.
17. **Перегулов В.В.** Проектирование соблюдения наиболее общих принципов/ **В.В. Перегулов, В.В. Аблец** // Вісник КНУ, вип. 31.- Кривий Ріг.- 2012.- С. 87-93.

УДК 622.235: 622.271

Д.Ю. МАЛИХ, гірн. інж., заст. ген. директора з виробництва  
ПАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат»  
Г.І. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц., Д.А. ТІТОВ, магістр, аспірант  
Криворізький національний університет

## ОСОБЛИВОСТІ ІМПУЛЬСНОГО ВИБУХОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПОРОДНОГО МАСИВУ, ЩО РУЙНУЄТЬСЯ ГРУПАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ЗАРЯДІВ

**Основною метою** дослідження є вдосконалення математичної моделі, а також уточнення розрахунків при математичному моделюванні взаємодії свердловинних зарядів, у яких частини вибухової речовини розосереджені по довжині свердловини інертним матеріалом, і які підриваються послідовно. При цьому проаналізовано особливості динамічного навантаження скельного масиву, який підривається, в залежності від послідовності підривання цих зарядів та їх частин. Це уточнення стосується удосконалення методики параметричних розрахунків і спрямоване на вирішення актуальної проблеми – зниження питомої витрати вибухових речовин для руйнування скельних гірських порід.