

7. Мир управления проектами: основы, методы, организация, применение / Под ред. **Х.Решке, Х. Шелле**. Пер. с англ. А.В. Позняков, В.В. Познякова. – М.: Аланс, 1994. – 303 с.
8. **Новиков Д.А.** Методология управления. / **Д.А. Новиков**. – М.: Либликом, 2011. – 128 с.
9. **Попов С.О., Попрожек О.О.** Проектноорієнтована діяльність в галузі промислових ремонтів і модернізації обладнання // Науковий журнал «Молодий вчений». № 3 (18) березень, 2015 р., Частина 1. – 2015. – с. 189-192.
10. **Попов С.О., Попрожек О.О.** Проблема ресурсного планування проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання // Науково-технічний збірник «Гірничий вісник». № 97. – 2014. – с. 161-165.
11. **Тесля Ю.Н.** Система управления проектами авиастроительного предприятия / **Ю.Н. Тесля, А.В. Егорченков, Н.Ю. Егорченкова, Д.С. Катаев, Н.А. Черная** // Управління розвитком складних систем. – 2011. – № 8. – С. 55-59.
12. **Тян Р.Б., Холод Б.І., Ткаченко В.А.** Управління проектами / **Р.Б. Тянь, Б.І. Холод, В.А. Ткаченко**. – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 398 с.
13. Управление проектами (Зарубежный опыт) / **А. Кочетков** и др.; Санкт-Петербургская академия недвижимости. – СПб.: Два Три, 1993. – 446 с.
14. Управление проектами: стандарты, методы, опыт / **А.С. Товб, Г.П. Ципес**. – М.: Олимп-Бизнес, 2003. – 240 с.
15. **Шахов А. В.** Проектно-орієнтоване управління життєвим циклом ремонтоздатних технічних систем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : 05.13.22 «Управління проектами та програмами» / **А. В. Шахов**. – Одеса, 2007. – 38 с.

Рукопис подано до редакції 10.04.2017

УДК 622.807:622.272

О.Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., О.О. ЛАПШИН д-р техн. наук, доц.,
Д.О. ЛАПШИНА, канд. техн. наук, асистент, Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ ШАХТ

Мета. Встановлення робочих параметрів зрошувальної установки для визначення ефективних режимів її роботи в процесі очищення рудникового повітря від шкідливих домішок.

Методи. Для досягнення поставленої мети застосовувалися методи наукового аналізу і узагальнення результатів досліджень; аналіз взаємозв'язку параметрів гідропилогазоочищення і ежекції повітря; фундаментальні положення фізики, аеро й гідродинаміки для розроблення способів пилоподавлення в глибоких шахтах; лабораторні і промислові дослідження та статистична обробка їх результатів. Очищення рудникового повітря від шкідливих домішок в гірничих виробках є однією з найважливіших задач сьогодення. Гірниче виробництво супроводжується забрудненням рудникового повітря шкідливими домішками, серед яких чільне місце посідають пил і отруйні гази – оксид вуглецю CO і оксиди азоту NO + NO₂, тощо. Потрапляючи в організм працюючих, шкідливі речовини викликають професійні захворювання на пиловий бронхіт, а в деяких випадках настає гостре отруєння. Покращення умов праці в шахтах дозволить зменшити кількість професійних захворювань працюючих, підвищити культуру виробництва і збільшити продуктивність праці. У зв'язку із цим очищення рудникового повітря від шкідливих домішок, якими є пил і отруйні гази, має велике соціальне і економічне значення. Для очищення повітря в гірничих виробках необхідно впроваджувати відомі і розробляти нові засоби, які дозволять підвищити ефективність боротьби зі шкідливими виділеннями в атмосферу при ведінні технологічних процесів з видобутку мінеральної сировини. Більшість існуючих засобів пилогазоподавлення заснованих на взаємодії продуктів вибуху з дисперговою водою, не забезпечують уловлювання найбільш небезпечних дрібнодисперсних частинок (< 10 мкм), а зниження концентрацій шкідливих газів, наприклад, оксиду вуглецю при цьому практично не відбувається.

Наукова новизна полягає у встановленні параметрів інерційного руху крапель рідини та коагуляції пилу з адсорбцією шкідливих газів на їх поверхнях.

Практична значимість полягає у підвищенні ефективності очищення рудникового повітря шляхом його зрошення за допомогою гідравлічних завіс, які працюють під високим тиском води, що надходить із трубопроводу загальношахтної мережі.

Результати. Встановлення техніко-економічних параметрів установки для гідропилогазоочищення гідравлічними завісами високого тиску.

Ключові слова: шахта, забруднення, очищення, завіса, струмінь, тиск, дисперсність, крапля.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. До технологічних процесів, які характеризуються виділенням великої кількості пилу відносяться: підривання шпурів та свердловин 62-660 мг/м³; їх буріння 8-12 мг/м³; процеси навантаження та розвантаження гірської маси у вагони 2-10 мг/м³; скреперування 3-24 мг/м³; завантаження бункерів 4-22 мг/м³; дробарок, конвеєрів тощо 40-4000 мг/м³. Незважаючи на вже розроблені

засоби боротьби зі шкідливими домішками, що потрапляють у рудникове повітря, проблема його очищення не є цілком вирішеною, оскільки концентрації забруднень на робочих місцях значно перевищують допустимі величини. Розробці ефективних засобів боротьби з пилом і отруйними газами, що виділяються при веденні технологічних процесів у шахтах, приділяється увага дослідних установ, науковців і спеціалістів гірництва.

Аналіз досліджень та публікацій. Вирішенню проблеми очищення рудникового повітря від шкідливих домішок присвячені роботи відомих учених: Ф.Г. Гагауза, А.П. Янова, В.П. Журавльова, І.Ф. Ярембаша, В.Б. Гого, А.В. Фролова та багатьох інших [1-5].

Роботи Ф.Г. Гагауза призначені виявленню шкідливої дії рудникового пилу на організм працюючих. Ним встановлено, що найбільш небезпечний для організму є пил, на поверхні часток якого містяться адсорбовані шкідливі гази. Потрапляючи в організм працюючих такий пил прискорює розвинення пилового бронхіту. Для підвищення ефективності гідрознепилення повітря в рудних шахтах Ф.Г. Гагауз рекомендував додавати кухонну сіль у воду, що надходить до зрошувальних форсунок. Застосування розчину кухонної солі у кількості 0,1%, підвищує ефективність гідрознепилення на 20-30 %. Ця технологія була впроваджена на шахтах Кривбасу, але в цей час, з огляду економічних витрат, її застосування визнано недоцільним.

В.П. Журавльов в своїх працях довів доцільність застосування хімічних речовин (поверхово активних речовин - ПАР) для боротьби з пилом у вугільних шахтах [6]. Застосування ПАР у кількості 0,1-0,2% в розчинах знепилюючої рідини сприяє змочуванню та коагуляції пилу. Разом із цим, через коштовність ПАР та ускладнення технології їх застосування, вони не отримали впровадження в шахтах Кривбасу.

В дослідженнях І.Ф. Ярембаша рекомендовано застосовувати зрошення пилогазової хмари після вибухових робіт за допомогою типових форсунок, діючих від низького тиску води. Застосування таких форсунок не дозволяє отримати високих результатів для пилогазоподавлення, ефективність очищення повітря таким способом не перевищує 60-70%.

У роботі [7] наведено результати випробувань пневмогідролічної установки, призначеної для очищення повітря після підричних робіт в гірничих виробках шахт Кривбасу. В процесі випробувань в гірничих виробках цієї установки отримані наступні параметри: витрати стисненого повітря 0,25-0,35 м³/с; далекобійність факелу 20-30 м; середній діаметр крапель 0,02-0,16 мм; коефіцієнт ежекції 2-6; ефективність пилогазоподавлення: пилу 94-98%; оксиду вуглецю 55-80%; оксидів азоту 75-85%. Результати випробувань засвідчили високу ефективність цієї установки, але вона потребує витрат стисненого повітря, що в теперішній час є достатньо витратно. Виходячи з таких обставин, проблема очищення повітря від шкідливих домішок в гірничих виробках залишається невирішеною через відсутність зрошувальних установок з високими технічними та економічними показниками.

Постановка завдання. Важливим завданням при відпрацюванні рудних покладів відкрито-підземним способом є створення безпечних та нешкідливих умов праці шляхом підвищення ефективності очищення рудникового повітря від шкідливих домішок за допомогою зрошувальних систем, параметри яких повинні забезпечувати високі техніко-економічні показники та можливість автоматичного регулювання.

Викладення матеріалу та результати. Досвід одночасної розробки родовищ відкрито-підземним способом свідчить, що безпека праці в значній мірі залежить від прийнятої схеми і способів провітрювання кар'єрів і шахт: всмоктувальний, нагнітальний і нагнітально-всмоктувальний. Найбільш раціональний варіант провітрювання визначається шляхом їх техніко-економічного порівняння [8-11].

У роботі [12] запропоновано схему провітрювання для відкрито-підземного способу розробки родовищ за допомогою вентиляторної установки, яка працює в режимах всмоктування і нагнітання. В залежності від сезону року та здійснення вибухових робіт в шахті або в кар'єрі вентиляторна установка працює в наступних режимах. В холодний період року застосовується режим всмоктування – повітря в шахту надходить через кар'єрний простір, а в теплий період року застосовується режим нагнітання – повітря подається в кар'єр через гірничі виробки шахти. Аналогічно, при здійсненні вибуху в кар'єрі застосовується нагнітальний режим провітрювання – шкідливий пил і гази видаляються з кар'єру назовні. І навпаки, при здійсненні вибуху в шахті застосовується всмоктувальний режим провітрювання – шкідливий пил і гази видаляються з шахти через вентиляційні виробки. Але при будь-якому режимі провітрювання, повинно

здійснюватися очищення рудникового повітря від шкідливих домішок. Після провітрювання шахти повітря має подаватися в кар'єр очищеним, так само й після провітрювання кар'єру – повітря повинно подаватися в шахту очищеним. Для виконання цієї обов'язкової умови пропонується здійснювати очищення повітря безпосередньо в гірничих виробках шахти за допомогою водоповітряної установки з використанням високого тиску води, яка утворює гідравлічну дрібнодисперсну завісу з електростатичним полем негативної полярності.

На рис. 1 наведено схему водоповітряного пристрою, який утворює гідравлічну завісу під час очищення забрудненого повітря в гірничих виробках. Пристрій містить корпус, який складається з конфузору 1, змішувальної камери 2 і дифузору 3. В змішувальній камері 2 закріплено форсунку 4, яка з'єднана з водопроводом 5, що має електричний клапан 6.

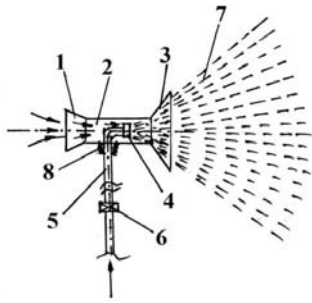


Рис. 1. Схема водоповітряної установки для очищення рудникового повітря: 1 – конфузур, 2 – змішувальна камера; 3 – дифузур, 4 – форсунка; 5 – водопровід; 6 – електрочлапан; 7 – струмінь водоповітряної суміші

Водоповітряний пристрій діє наступним чином. Вода під високим тиском (1,0-1,5 МПа) подається до форсунки 4 з водопроводу 5, який обладнано електричним клапаном 6. Форсунка 4 розташована в камері змішування 2, за допомогою якої вода диспергується і змішується з повітрям утворюючи струмінь водоповітряної суміші 7. Струмінь розширюється у дифузурі 3 і засмоктує в свій об'єм оточуюче забруднене повітря на протязі всього часу його руху в просторі гірничої виробки. Корпус пристрою закріплений на водопроводі 5 за допомогою муфти 8 з можливістю повороту його і спрямування струменю водоповітряної суміші попутно, назустріч або під кутом до забрудненого повітря, утворюючи при цьому дрібнодисперсну гідравлічну завісу.

Випробування пристроїв, що створюють водоповітряну суміш, показало наявність електростатичного поля у факелі негативного знаку [16]. В середньому величина напруженості поля, E становить -400-600...В/м, а питома електрзарядженість суміші сягає понад 800 нКл/кг, при цьому ефективність знепилювання становить 94-97%. Теоретично доведено, що коагуляційна здатність дощових крапель значно підвищується, якщо вони несуть на собі електричний заряд. Незважаючи на те, що при розпиленні води відбувається достатньо сильна електризація крапель і утворення електростатичного поля в факелі, тим не менш, можна зробити висновок, що для підвищення уловлення пилу розміром ≤ 5 мкм диспергованою водою, її краплям треба підвищити електричний заряд.

Відомі способи заряджання водного аерозолу завдяки балоефекту, електростатичній індукції, у полі коронного розряду і за допомогою спеціальних електретних зрошувачів.

Підзаряджання крапель води за рахунок балоефекту неможливе в підземних умовах через громіздкість апаратури. Крім того, установка дає слабкий заряд крапель.

В інституті гірничої справи Академії наук Казахстану, в практиці пиловловлення запропоновано спосіб наведення зарядів в краплях з допомогою електростатичної індукції і сконструйований зрошувач, в основі роботи якого лежить цей ефект. При цьому способі підзаряджання у 2,5 рази підвищується ефективність знепилювання. Разом із тим цей спосіб не знайшов широкого застосування через те, що зрошувач не давав дрібнодисперсного розпилення, до того ж далекобійність факела не перевищувала 4 м.

Застосування спеціальних електретних зрошувачів, дозволяє досягти питомої електрзарядженості до 1800-1900 нКл/кг, тобто електрзарядженість факела збільшується майже в 6 разів. Однак, форсунки з електретним покриттям не знайшли широкого застосування у практиці пиловловлення через дефіцит електретного матеріалу і складність нанесення його на внутрішню поверхню форсунки.

У цій роботі запропоновано підвищувати електризацію водоповітряної суміші шляхом розпилювання її під високим тиском форсункою у конфузурі установки.

Електростатичні параметри водоповітряного струменю визначалися в умовах полігону шахти Ювілейна ПАО «Суша Балка». Схема установки при цих випробуваннях представлена на рис. 3.

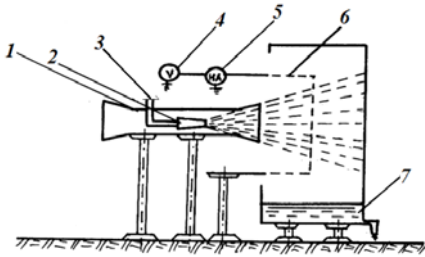


Рис. 3. Схема експериментальної установки для дослідження електророзрядженості водоповітряної суміші: 1 - корпус; 2 - форсунка; 3 - водопровід; 4 - вольтметр; 5 - наноамперметр; 6 - сітка; 7 - ємність для води

Корпус 1 обладнаний форсункою 2 з водопроводом 3. Перпендикулярно напрямку руху водоповітряної суміші встановлена сітка 6, яка виконана з мідного дроту, наноамперметр 5, з'єднаний з сіткою 6, для вимірювання електростатичних параметрів водоповітряного струменю. Мідну сітку для вимірювання електростатичних параметрів водоповітряного аерозолю наведено на рис. 4

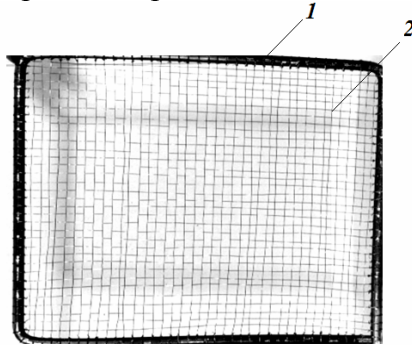


Рис. 4. Сітка мідна для вимірювання електророзрядженості крапель: 1 – мідна рамка; 2 – сітка з мідного дроту

Аналіз даних вимірювань показує, що підвищення тиску води в магістралі приводить, при інших умовах, до підвищення електророзрядженості і напруженості поля водоповітряного струменя негативної полярності. Це пояснюється тим, що з підвищенням тиску, збільшується кількість крапель, а їх розмір зменшується. Виходячи з положень електростатики, напруженість електричного поля E_n , створюваного окремими зарядженими краплями $q_1, 2, \dots, q_n$, в точці (x, y, z) дорівнює векторній сумі напруженостей $E_{n1}, E_{n2}, \dots, E_n$, тобто

$$E_n = E(x, y, z) = \sum_{i=1}^n E_{ni} = E_{ni} \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_i^3}, \quad (1)$$

де r_i – радіус-вектор, проведений з i -го заряду q_i в точку простору з координатами (x, y, z) , в якій вимірюється напруження поля.

Поле в точці (x, y, z) є векторною сумою полів кожного із зарядів системи (в даному випадку зарядів крапель). Як видно з формули (1) радіус-вектор r_i стоїть в знаменнику у третьому ступені та при його зменшенні (зменшенні розміру краплі) напруженість поля одиничного заряду збільшується, а отже збільшується напруженість всього поля E_n .

На рис. 4 наведено графіки залежності загальної електророзрядженості аерозолю Q_{ae} (нКл/кг) від тиску в магістралі P_p (МПа) для різних типів форсунок.

Експериментальні випробування показують, що більшу електророзрядженість аерозолю, має факел з меншим середнім діаметром крапель створюваних відцентровою форсункою. Обробка експериментальних даних дозволила отримати емпіричну залежність для визначення загальної електророзрядженості аерозолю в залежності від величини тиску води в магістралі

$$Q_{ae} = \frac{P_p \cdot 10^6}{(660P_p + 14,4)}, \quad (2)$$

На підставі даних випробувань та результатів математичної обробки були виконані розрахунки з визначення питомої електророзрядженості аерозолю на одиницю сумарної поверхні всіх крапель, які утворюються з 1 кг води. Розрахунки виконувалися для відцентрової форсунки, виходячи з того, що вона має більш досконалі технічні характеристики. Кількість крапель N_k , утворених з 1 кг води, визначався за формулою $P_p \cdot 10^2$ МПа

$$N_k = 6 \cdot 10^3 / \pi d_{ск}, \quad (3)$$

де $d_{ск}$ – середній діаметр крапель, наведено у табл. 1 і на рис. 5.

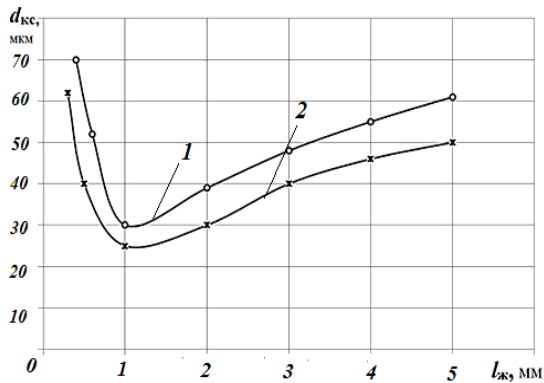


Рис. 5. Графіки залежності середнього діаметра крапель від ширини кільцевого отвору для випуску водоповітряної суміші: 1 - $P_p=1,0$ МПа; 2 - $P_p=1,5$ МПа

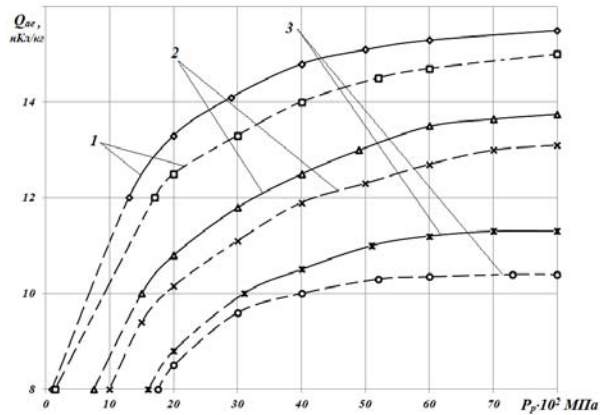


Рис. 6. Залежність загальної електрозарядженості аерозолу від тиску води, що надходить до форсунки типу: 1 - ВТФ-1; 2 - ПТФ-2; 3 - ВТФ-3; --- без електроактивації; — з електроактивацією

Площа поверхні однієї кулястої краплі S_k та її вага m_k визначалися за формулами 4,5

$$S_k = \pi d_{ск}^2, \text{ см}^2, \quad (4)$$

$$m_k = \pi d_{ск}^3 / 6, \text{ г}. \quad (5)$$

Загальна площа поверхні всіх крапель, утворених з 1 кг води, визначалася за формулою, см^2

$$S_{об} = S_k N_k = 6 \cdot 10^3 / d_{ск}. \quad (6)$$

На підставі цих розрахунків визначалися питомі заряди: на одиницю загальної площі всіх крапель води, що утворилися з 1 кг води q_{ns} , а також однієї краплі q_k за формулами 7,8

$$q_{ns} = Q_{ae} / S_{об}, \text{ нКл/см}^2, \quad (7)$$

$$q_k = Q_{ae} / N_k, \text{ нКл/см}^2. \quad (8)$$

Результати виконаних розрахунків з визначення питомої електрозарядженості аерозолу на одиницю площі сумарної поверхні всіх крапель, утворених з 1 кг води, і заряду однієї краплі наведено у табл. 1.

Дані табл. 1 показують, що підвищення тиску повітря, яке подається у форсунку приводить до збільшення загального електричного заряду аерозолу, середній діаметр краплі при цьому зменшується, а загальна кількість крапель, утворених з 1 кг води різко збільшується.

Разом із цим спостерігається збільшення загальної площі поверхні всіх крапель, що зумовлює підвищення загального заряду 1 кг аерозолу.

Зростання загальної площі поверхні аерозолу при підвищенні тиску досягається за рахунок випереджаючого зростання кількості крапель порівняно зі зменшенням площі поверхні окремих крапель.

Так, у межах досліджуваного діапазону тисків кількість крапель збільшилася в 9 разів, а середня площа поверхні окремих крапель зменшилася лише в 4 рази.

Як показали дослідження, питомий електричний заряд на одиницю площі загальної поверхні аерозолу і заряд однієї краплі зменшуються при підвищенні тиску повітря, що подається у форсунку.

Таблиця 1

Результати розрахунку електричних параметрів аерозолу установки

Тиск води P_p , МПа	Загальний заряд 1 кг аерозолу $Q_{ае}$, нКл	Діаметр краплі $d_{ск}$, мкм	Кількість крапель N_k , млн. шт	Площа поверхні однієї краплі S_k , см^2	Загальна площа поверхні всіх крапель S_3 , м^2	Питомий заряд крапель q_{ns} , нКл/м ²	Напруженість електростатичного поля E_n , В/м
0,2	-1275	47,81	17476	$7,18 \cdot 10^{-5}$	125,50	10,16	-950-1275

0,3	-1374	42,16	25485	$5,58 \cdot 10^{-5}$	142,31	9,66	-1050-1374
0,4	-1423	30,68	66135	$2,96 \cdot 10^{-5}$	195,57	7,29	-1060-1423
0,6	-1475	26,97	97355	$2,28 \cdot 10^{-5}$	224,47	6,57	-1150-1475
0,7	-1490	24,81	125060	$1,93 \cdot 10^{-5}$	241,84	6,16	-1213-1521
0,8	-1500	23,09	155142	$1,67 \cdot 10^{-5}$	259,85	5,77	-1287-1563

Проаналізуємо вплив гравітаційних і електричних сил на інтенсивність коагуляції пилу з краплями води.

Відповідно до закону тяжіння, описаного Ньютоном рівнянням

$$F_g = -Gm_1m_2/r, \quad (9)$$

де знак мінус вказує на дію сили тяжіння; $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ - універсальна константа, яка визначає величину гравітаційних сил в межах всесвіту; m_1, m_2 - маси двох тіл, які взаємно притягуються, кг; r - відстань між центрами мас, м. Була виконана порівняльна оцінка сил гравітаційного тяжіння, що діють між краплею і часткою пилу, відповідно до якої мінімальне значення цих сил становить $1 \cdot 10^{-15}$ Н, а максимальне $1 \cdot 10^{-14}$ Н.

Сила електричної взаємодії F_e між двома тілами, зарядженими електричними зарядами q_1 та q_2 , вздовж прямої лінії, що з'єднує центри зарядів, описується майже аналогічним законом

$$F_e = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon r_e^2}, \quad (10)$$

де $\epsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – універсальна константа, що визначає інтенсивність електричної взаємодії; r_e – відстань між електричними тілами.

Але, на відміну від сил гравітації, ця сила може бути силою тяжіння або силою відштовхування в залежності від знаку електричних зарядів. Порівняльна оцінка впливу сил електричного та гравітаційного тяжіння на пилоподавлення засвідчила, що електричні сили тяжіння перевищують гравітаційні сили в десятки тисяч разів. Таким чином, за умови електрозарядженості крапель інтенсивність коагуляції, як показують досліді, різко підвищується.

У табл. 2 наведено параметри установки, визначені в результаті полігонних випробувань, які досягаються при значеннях тиску стисненого повітря у трубопроводах $P_p = 0,6-0,7$ МПа.

Таблиця 2

Технічні параметри установки ВЕУ при тиску стисненого повітря 0,6-0,7 МПа

Діаметр корпусу, $d_{ск}$, м	Довжина установки, l_y , м	Коефіцієнт ежекції U	Витрата стисн. повітря Q_p , м ³ /с	Продуктивність, Q_{np} , м ³ /с	Далекобійність, L_y , м	Середній діаметр крапель, d_c , мкм	Витрата води $q_{вп}$, л/м ³	Загальний заряд 1 кг крапель, $Q_{ае}$, нКл,
0,2-0,3	0,8-1,2	5-6	0,35	2,5-2,8	20-30	28-34	0,04-0,05	1400-1500

Висновки та напрямок подальших досліджень. Далекобійність водоповітряної установки та середній діаметр крапель води визначаються величиною робочого тиску повітря, що надходить у форсунку і шириною кільцевого отвору для випуску води. Так, максимальна далекобійність понад 30 м і середній діаметр крапель 1,0-100 мкм досягаються при значеннях тиску води в магістралі 1,0-1,5 МПа і ширини кільцевого отвору 1-2 мм.

Максимальна продуктивність ($Q = 2,0-2,5$ м³/с) та коефіцієнт ежекції ($U = 5,5-6,0$) досягаються, коли діаметр камери змішування становить $d_{ск} = 0,2-0,3$ м, а її довжина дорівнює $l_k = 0,8-1,2$ м.

Водоповітряна установка створює електроактивований струмінь водоповітряної суміші негативної полярності. Електроактивація водного аерозолу посилюється за рахунок високого тиску води, яка надходить до змішувальної камери установки, що сприяє підвищенню коагуляції пилу та нейтралізації шкідливих газів.

Порівняльна оцінка сил електричного та гравітаційного тяжіння в умовах пилогазоподавлення показала, що електричні сили перевищують гравітаційні в десятки тисяч разів.

У цьому випадку інтенсивність коагуляції різко підвищується, що підтверджується випробуваннями.

Список літератури

1. Гого В. Б. Обоснование параметров диффузор-конфузорных элементов гидродинамической установки пылеулавливания / В. Б. Гого, В. Б. Малеев, А. С. Булыч // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2007. – № 13 (123). – С. 40–44
2. Фролов А.В. Основы гидрообеспыливания / А.В. Фролов, В.А. Телегин, Ю.А. Сечкарев // Безопасность жизнедеятельности. - № 10, 2007. - С. 95-100

3. **Фролов А.В.** Исследование высоконапорного гидрообеспыливания пылеулавливающими водовоздушными эжекторами с плоскоструйными форсунками / **А.В. Фролов, В.А. Телегин** // Горный информационно-аналитический бюллетень. Аэрология. – Вып. 5, 2008. – С. 164-168
4. **Кокорин О.Я.** Современные системы кондиционирования воздуха / **О.Я. Кокорин**. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2003. – 272 с.
5. **Jundika, C., Agus, P., Arun, S.** (2015) «Introduction and evaluation of a novel hybrid brattice for improved dust control in underground mining faces : a computational study», *International Journal of Mining Science and Technology*. – V. 25, Issue 4, pp. 537–543
6. **Журавлев В.П.** Моделирование и проектирование систем гидрообеспыливания / [**В.П. Журавлев, В.И. Саранчук, Н.А. Страхова и др.**]. – К.: Наукова думка, 1990. - С. 40-82
7. **Бересневич П.В.** Обоснование параметров и технологических схем использования эжекторной установки в процессе пылегазоподавления и проветривания выработок / **П.В. Бересневич, А.А. Лапшин** // Разработка рудных месторождений – Вып. 89, 2005. – С. 199-203
8. **Bakhtavar E., Shahriar K., Mirhassani A.** (2012) «Optimization of the transition from open-pit to underground operation in combined mining using (0-1) integer programming». *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – V. 112, pp. 1059-1064
9. **Zegong, L., Kicki, J., Xinzhu, H., Shujie, Y.** (2010) «Mine Safety and Efficient Exploitation Facing Challenges of the 21st Century», *International Mining Forum*, 300 p.
10. **Бересневич П.В.** Нормализация состава атмосферы современных железорудных карьеров Кривбасса / **П.В. Бересневич** // В сб. разработка рудных месторождений. - Вып. 8, 2002. – С. 16-17
11. **Куроченко В.М.** Способ определения оптимальных расходов взрывчатых веществ при проведении горных выработок / **В.М. Куроченко, В.В. Торяник** // В сб. Охрана труда и окружающей среды на предприятиях горно-металлургического комплекса, 1999. - С. 31-55
12. **Лапшин О.Є.** Вентиляція гірничих виробок при відкрито-підземній розробці залізних руд / **О.Є. Лапшин, О.О. Лапшин, Д.О. Лапшина** // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. Кривой Рог. – 2014. – С. 206–213
13. **Volkwein, J.C., Vinson, R.P., Page, S.J., McWilliams, L.J., Joy, G.J., Mischler, S.E., Tuchman, D.P.** (2006) «Laboratory and field performance of a continuously measuring personal respirable dust monitor» *Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH)*. - № 2006–145, RI 9669
14. **Chekan, G.J., Listak, J.M., Colinet, J.F.** (2001). «Laboratory testing to quantify dust entrainment during shield advance». *Proceedings of the Seventh International Mine Ventilation Congress (Krakow, Poland, June 17–22, 2001)*, pp. 291–298
15. **Goodman, G.R., Pollock, D.E., Beck, T.W.** (2004). A comparison of a directional spray system and a flooded-bed scrubber for controlling respirable dust exposures and face gas concentrations. *Proceedings of the 10th U.S./North American Mine Ventilation Symposium (Anchorage, AK, May 16–19, 2004)*, pp. 241–248
16. **Корж В.А.** Вплив електроактивації аерозолі на інтенсивність пилогазоподавлення при провітрюванні / **В.А. Корж В.А., О.О. Лапшин** // Проблеми охорони праці в Україні. – Вып. 8, 2004 – С. 32-39

Рукопис подано до редакції 07.04.2017

УДК 622:274

С.В. ПИСЬМЕННИЙ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВОЇ ТОЧКИ РУЙНІВНОГО ТИСКУ НА КОНТУРІ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ З УРАХУВАННЯМ ТЕХНОГЕННИХ СИЛ

Мета визначення місця дії руйнівної сили на контурі підземної гірничої виробки розташованої як в зоні впливу гірничих робіт так і за її межами в різномодульному масиві з урахуванням дії техногенних сил. Розробити методику визначення граничного тиску на контурі виробки в залежності від радіус кривизни склепіння утворюючої виробку.

Методи дослідження. При вирішенні питання стійкості гірничих виробок в різномодульному гірничому масиві та визначення кутової точки руйнівного тиску на контурі виробки склепінної форми застосовувався аналітичний метод досліджень з урахуванням практики роботи шахт Кривбасу з встановленням певних обмежень при її використанні.

Наукова новизна. Розроблена методика визначення тиску на контурі виробки, яка відрізняється від відомих розрахунком кута діючого руйнівного тиску на контурі виробки в різномодульному масиві гірських порід від глибини розробки, радіусу кривизни склепіння утворюючої виробку та з урахуванням напружень що виникають при очисному вийманні. Отримані залежності руйнівного тиску від кута прикладеного навантаження до контуру виробки.

Практична значимість. Можливість коригування параметрів гірничих виробок на стадії проектування виробки блоку безпосередньо при проходці гірничої виробки в однорідних та неоднорідних породах з урахуванням техногенних сил та куту зсуву порід в яких пройдено виробку. Вибір найбільш доцільного радіусу кривизни склепіння утворюючої виробку, який дозволить підвищити стійкість породам навколо виробки.

Результати. Запропонована методика визначення кутової точки руйнівного тиску на контурі гірничої виробки з урахуванням техногенних сил, яка дає можливість визначити тиск та слабе місце на контурі гірничої виробки в умовах однорідного та неоднорідного гірського масиву. Дана методика дозволяє розрахувати тиск який діє на контур виробки з урахуванням раніше відробленого очисного блоку, що знаходиться в безпосередній близькості.

Ключові слова: напруження, кутова руйнівна точка, виробка, радіус кривизни склепіння, тиск, очисний блок.