

6. Державна служба гірничого нагляду та промислової безпеки України (Держгірпромнагляд України) (2011, Серпень 10). Франція. [WWW document]. URL [http://dnop.kiev.ua/web/index.php?option=com\\_content&task=view&id=6387&Itemid=137](http://dnop.kiev.ua/web/index.php?option=com_content&task=view&id=6387&Itemid=137)
7. DRAIS, E. (2014). The dynamics of culture in OSH management systems. Results from a comparative study in French companies. [WWW document]. URL [https://www.researchgate.net/profile/Marc\\_Favaro/publication/260035452\\_DRAIS\\_E\\_FAVARO\\_M\\_The\\_dynamics\\_of\\_culture\\_in\\_OSH\\_management\\_systems\\_Results\\_from\\_a\\_comparative\\_study\\_in\\_FrFren\\_companies\\_International\\_Symposium\\_on\\_Culture\\_of\\_Prevention\\_-\\_Future\\_Approaches\\_-\\_Helsinki/links/0deec52f25fd9cbee7000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marc_Favaro/publication/260035452_DRAIS_E_FAVARO_M_The_dynamics_of_culture_in_OSH_management_systems_Results_from_a_comparative_study_in_FrFren_companies_International_Symposium_on_Culture_of_Prevention_-_Future_Approaches_-_Helsinki/links/0deec52f25fd9cbee7000000.pdf)
8. Projet de Loi de Financement 2016 de la Sécurité Sociale Française (PLFSS) (2016). PROGRAMME DE QUALITÉ ET D'EFFICIENCE «AT-MP». [WWW document]. URL [http://www.securite-sociale.fr/IMG/pdf/ministere\\_annexe\\_1\\_accidents\\_du\\_travail\\_0541\\_hd\\_int.pdf](http://www.securite-sociale.fr/IMG/pdf/ministere_annexe_1_accidents_du_travail_0541_hd_int.pdf)
9. World Health Organization (2012). Country Profile of Occupational Health System in Germany. [WWW document]. URL [http://www.euro.who.int/data/assets/pdf\\_file/0010/178957/OSH-Profile-Germany.pdf](http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/178957/OSH-Profile-Germany.pdf)
10. International Labour Organization (ILO) (2014). Safety and Health at Work: A Vision for Sustainable Prevention. [WWW document]. URL [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms\\_301214.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_301214.pdf)
11. The Joint German Occupational Safety and Health Strategy (GDA) (2013). Work Programmes 2013-2018. [WWW document]. URL <http://www.gda-portal.de/en/AboutGDA/AboutGDA.html>

Рукопис подано до редакції 25.04.2018

УДК 622. 807

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

## ПЕРСПЕКТИВА ПРОВІТРЮВАННЯ ПРИ ВІДКРИТО-ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ ЗАЛІЗНИХ РУД

Стаття присвячена аналізу можливості застосування різних способів провітрювання кар'єрів і шахт при сумісній розробці родовищ залізних руд. Існуючий всмоктувальний спосіб провітрювання шахт має цілий ряд недоліків, таких як непродуктивні витoki повітря та можливість потрапляння шкідливих газів з кар'єру у гірничі виробки. Нагнітальний спосіб провітрювання шахт небезпечний потраплянням пилу і отруйних газів з шахт в кар'єрний простір. Комбінований спосіб потребує проведення додаткових вентиляційних виробок, головних вентиляторних установок і обладнання, що значно підвищить собівартість сировини та ускладнить управління вентиляцією усього гірничого комплексу.

**Метою цього дослідження** є запропонувати найбільш прийнятний спосіб провітрювання кар'єрів і шахт при їх сумісній розробці родовищ залізних руд, який дозволяє знизити екологічні проблеми, підтримувати виробничі потужності, зменшити економічні витрати та забезпечити безпеку працюючих на підземних і на відкритих роботах.

**Метод дослідження** – застосовувався комплексний метод, який передбачав аналіз переваг та недоліків всмоктувального і нагнітального і комбінованого способів провітрювання, дослідження технічних параметрів водоповітряної завіси для очищення повітря від шкідливих домішок, її лабораторні і промислові випробування в умовах шахт.

**Новизна отриманих результатів** полягає у тому, що запропоновано новий реверсивний спосіб провітрювання кар'єрів і шахт за сумісною схемою з використанням природної тяги і вентиляторної установки розташованої на поверхні та очищення повітря за допомогою гідравлічної завіси в підземній виробці, яка відрізняється тим, що за рахунок високого тиску води утворюється дрібнодисперсний водоповітряний факел негативної полярності, що призводить до підвищення конденсації вологи і коагуляції пилу та адсорбції шкідливих газів на поверхні крапель води.

**Практична цінність** запропонованого способу провітрювання визначається тим, що його застосування в умовах відкрито-підземної розробки родовищ дозволяє використовувати відпрацьовані гірничі виробки для надходження повітря і пересування і роботу потужних бурових і навантажувальних машин в шахтах, відпрацьовувати поклади залізної руди на глибоких горизонтах, здійснити закладання підземних порожнин розкритими породами кар'єрів.

**Результати розрахунків і випробувань** дозволяють рекомендувати реверсивний спосіб провітрювання шахт і кар'єрів за допомогою одного вентилятора при цьому використовуються відпрацьовані гірничі виробки для надходження повітря і потужної техніки та природна тяга, яка дозволяє підвищити ефективність вентиляції, та забезпечити безпеку праці. Запропонований спосіб очищення забрудненого повітря за допомогою гідравлічних завіс високого тиску дозволяє знизити вміст шкідливих домішок у рудниковому повітрі до санітарних норм і поліпшити умови праці в кар'єрах і в гірничих виробках шахт.

**Ключові слова:** кар'єр, шахта, гірничі виробки, провітрювання, вентилятор, пил, газ, гідравлічна завіса.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-79-85

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.** Проблема та актуальність

задачі, що розглядається полягає в ускладненні процесів провітрювання кар'єрів і шахт при сумісній відкрито-підземній розробці родовищ залізних руд. Наявність зон обвалення, незаповнених відпрацьованих порожнин, виробок, з'єднаних з кар'єром обтяжують процес керування вентиляцією. В наслідок цього не забезпечуються належні умови для виведення шкідливих речовин, утворених при здійсненні вибухових робіт, вони потрапляють у робочий простір, що може призвести до отруєнь. Ця проблема є складною та потребує наукових підходів до її розв'язання, вона тісно пов'язана з практичними задачами у галузі комбінованої розробки родовищ залізних руд.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питанню провітрювання гірничих виробок і кар'єрного простору при відкрито - підземній розробки родовищ присвячені роботи Казікаєва Д.М., Кулікова В.В. Ладнічєва Л.В., Лапшина О.О., Ошмянського І.Б., Сазонов В.А., Черних А.Д., Шнайдера М, Ф., Щелканова В.А. та ін, в яких піднімаються теоретичні і практичні питання комплексною розробки рудних родовищ, безпеки праці та очищення рудникового повітря від шкідливих домішок.

Аналіз наукових досліджень свідчить, що одночасна розробка родовищ має цілий ряд переваг, серед яких: сумісне використання обладнання, спрощена подача закладного матеріалу в шахту, закладання обвалень на поверхні шахти, використання відпрацьованих гірничих виробок для надходження повітря, застосування головних вентиляторних установок (ГВУ) для провітрювання зони гірничих робіт. Разом із цим застосування відкрито-підземного способу розробки родовищ стримується через наявність небезпеки потрапляння отруйних газів і пилу в гірничі виробки з кар'єру, а також руйнівної дії ударної хвилі, яка розповсюджується в кар'єр при здійсненні масових вибухів у шахтах. Крім того, не вирішено питання застосування способу провітрювання та використання ГВУ, ефективність яких для провітрювання тільки шахт не відповідає сучасним вимогам. Складною задачею є також очищення забрудненого повітря у разі застосування об'єднаної вентиляційної системи для провітрювання відкрито-підземних робіт. Отже, задача підвищення безпеки праці та застосування способу провітрювання при відкрито-підземній розробці родовищ залізних руд залишається актуальною.

**Постановка задачі.** Враховуючи переваги відкрито-підземного способу розробки родовищ залізних руд та за для вирішення проблеми підвищення безпеки при його впровадженні задачею цих досліджень є визначити перспективи застосування ефективної схеми провітрювання шахт і кар'єрів та очищення повітря в гірничих виробках.

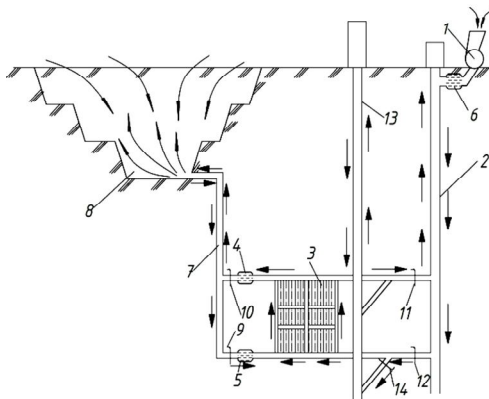
**Викладання матеріалу і результатів дослідження.** Безпека праці при застосуванні відкрито-підземної розробки родовищ залежить від прийнятої способу і схеми провітрювання гірничих виробок і кар'єрного простору. В теперішній час при сумісній розробці родовищ застосовують наступні способи провітрювання: нагнітальний - рекомендований за науковими дослідженнями; всмоктувальний, що найбільш застосовується у практиці підземної розробки родовищ; комбінований – при розробці великих родовищ та що ведеться видобування руди на декількох поверххах. Кожний з цих способів має свої переваги, але й не позбавлений деякими недоліками [1].

Нагнітальний спосіб утворює надлишковий тиск в усій вентиляційній мережі, а також у відбитій гірській масі і за наявністю витоків в кар'єрний простір можуть потрапляти шкідливі гази при здійсненні вибухових робіт у гірничих виробках [2].

Всмоктувальний спосіб, який зберігся на більшості рудників, характеризується тим, що має місце розрідження в усіх гірничих виробках. За таких обставин отруйні гази можуть потрапляти з кар'єру в гірничі виробки шахт. Незважаючи на те, що відпрацьовані камери і виробки заповнені гірською масою або спеціальним закладним матеріалом, через утворювані тріщини можливе засмоктування отруйних газів з кар'єру в шахту[3].

Нагнітальне-всмоктувальний спосіб провітрювання передбачає використовувати допоміжні підземні вентиляторні установки для утворення «підпору» - надлишкового тиску в зоні аеродинамічного зв'язку з поверхнею через обвалені гірські породи.[2, 4]. Цей спосіб вважають таким, що зменшує непродуктивні витрати повітря з вентиляційної мережі, що покращує управління вентиляцією т знижує можливість потрапляння отруйних газів як в кар'єр так і в гірничі виробки. Разом із цим, реконструкція вентиляційної мережі та обладнання допоміжної вентиляторної установки потребує великих капітальних і експлуатаційних витрат, що призведе до підвищення собівартості сировини. Враховуючі зниження виробничої потужності та економічного стану

сучасних шахт застосування нагнітальне-всмоктувального способу провітрювання очевидно не буде прийнятним. Попереднє техніко-економічне порівняння існуючих способів провітрювання шахт свідчить про перевагу нагнітального способу, але сучасні шахти, наприклад, в Кривбасі застосовують всмоктувальний спосіб і перехід на інші буде економічно недоцільним, хоча існуючі ГВУ не забезпечують надання повітря достатньої кількості в зону гірничих робіт та утворення належної його швидкості.



**Рис. 1.** Схема провітрювання для відкрито-підземного способу розробки родовищ: 1 – вентиляційна установка; 2 – вентиляційні виробки; 3 – зона підземних робіт; 4, 5, 6 – підземні камери очищення повітря; 7 – сполучний вентиляційний колектор; 8 – кар'єр; 9, 10, 11, 12 – вентиляційні перемички; 13 – головний вентиляційний ствол; 14 – регулююча перемичка

Для підвищення безпеки, зменшення економічних витрат при застосуванні відкрито-підземної розробки запропоновано спосіб вентиляції за допомогою вентилятора обладнаного на поверхні шахти. Уперше цей спосіб провітрювання було запропоновано у 1990 році, який передбачав використання підземних виробок і вентиляторної установки, розташованої на поверхні шахти [5]. За цим спосо-

бом значно зменшуються енергетичні витрати, оскільки працює всього одна вентиляторна установка, але узгодження її роботи відповідно до дії природної тяги цим способом не передбачалося. Для урахування цього фактору запропоновано схему провітрювання при комбінованому способі розробки родовищ, представлену на рис. 1 [6].

Відповідно до наведеної схеми, вентиляторна установка працює в узгодженому режимі з природною тягою. Так, у теплий період року вентиляторну установку 1 вмикають на нагнітання повітря в шахту – природна тяга в цей період діє сумісно з вентиляторною установкою. В холодний період року вентиляторну установку 1 перемикають на всмоктування повітря з шахти – природна тяга і в цей період діятиме сумісно з вентиляторною установкою.

Ефективне провітрювання зони підземних робіт і кар'єру при роботі вентиляторної установки на нагнітання (у теплий період року) повітря в шахту здійснюється за умови що перемички 9 і 11 закриті, а перемички 10 і 12 відкриті. У цей період року свіже повітря надходить з головних виробок 2 в зону гірничих робіт 3, провітрює виробки і очисні блоки, а потім відбувається його очищення від шкідливих газів і пилу в камері зрошення 4. Після цього очищене повітря вентиляційною виробкою 7 надходить в кар'єр 8 і провітрює його простір.

В період роботи вентиляторної установки на всмоктування (у холодний період року) свіже повітря надходить у кар'єр 8, провітрює його простір, а потім рухаючись вентиляційною виробкою 7 потрапляє у зрошувальну камеру 5, де очищується від пилу і газу. Після цього очищене повітря надходить у зону гірничих робіт 3, провітрює гірничі виробки і очисні блоки та видається вентиляційним стволом 2 у камеру зрошення 6 для остаточного очищення і видалення в атмосферу.

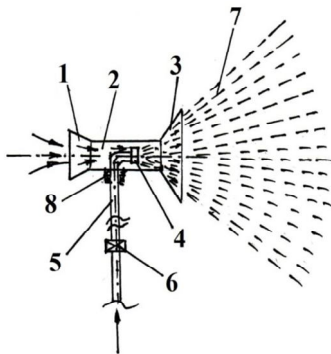
Головний ствол 13 при нагнітанні повітря в шахту видає певну його частину на поверхню, а при всмоктуванні – частина свіжого повітря надходить в шахту. Регулювання кількості повітря, що надходить або видається по стволу 13 здійснюється за допомогою автоматичної перемички 14. При нагнітанні і при всмоктуванні повітря вентиляторною установкою 1 головним стволом 13 завжди надходить або видається чисте повітря.

Підвищення ефективності очищення рудникового повітря шляхом зрошення його дисперговою водою пропонується здійснювати за допомогою гідравлічних завіс з використанням високого гідростатичного тиску води. Гідравлічні завіси в гірничих виробках мають подвійну дію: ежекцію у свій дощовий факел оточуючого забрудненого повітря; зрошення повітря дисперговою водою під високим гідростатичним тиском.

Основними параметрами даного способу очищення є: дисперсність крапель і відносна швидкість їх польоту, щільність водного аерозолу, розміри зони зрошення, ступінь турбулізації забрудненого потоку, напрямок руху забрудненого повітря і струменя гідравлічної завіси. Величини оптимальних параметрів зрошення коливаються у широких межах і залежать від

механізму уловлювання пилю. Ефективність зрошення за умов дотримання оптимальних параметрів процесу може становити 90-99% [7].

На рис. 2 наведено схему водоповітряного пристрою, який утворює гідравлічну завісу під час очищення забрудненого повітря в гірничих виробках.



**Рис 2.** Схема пристрою для утворення гідравлічної завіси: 1-конфузор; 2-змішувальна камера; 3- дифузор; 4- форсунка; 5- водопровід; 6- електричний клапан; 7-гідравлічна завіса; 8- муфта

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 середині камери змішування 2 з утворенням кільцевої щілини для засмоктування забрудненого повітря. За допомогою форсунки 4 вода диспергується і змішується з повітрям у камері 2 з утворенням водоповітряного струменя. Струмінь розширюється у дифузорі 3 і виходить з нього у вигляді гідравлічної завіси 7. Кількість води, що надходить у форсунку 4 регулюється

за допомогою електричного клапану 6. Корпус пристрою закріплений на водопроводі 5 за допомогою муфти 8 з можливістю повороту його і спрямування струменя завіси попутно, назустріч або під кутом до забрудненого повітря.

У процесі досліджень впливу різних факторів на фізичні параметри струменів при диспергуванні рідини за допомогою форсунок було встановлено, що водний аерозоль утворює електростатичне поле негативної полярності [8, 9]. Ступінь електрзарядженості факелу диспергованої води залежить від конструкції форсунок, а також від тиску води. Доведено, що зі збільшенням тиску води в трубопроводі до 1 МПа досягається збільшення значення негативної напруженості електростатичного поля до 500-600 В/м і зменшення середнього діаметру крапель з 300 до 150 мкм.

Природа електрзарядження аерозолу пов'язана з утворенням і руйнуванням його подвійного електричного шару, а також з виникненням руйнівних дій на поверхні розділу фаз при дробленні рідини і розповсюдженні крапельного аерозолу [10 - 14].

Наявність електростатичного поля негативної напруженості у факелі аерозолу, утворюваного зрошувачем, а також змінення її величини від тиску води у трубопроводі дає підстави вважати, що у цьому факелі мають місце енергетичні процеси, обумовлені кількістю крапель, їх середнім діаметром, швидкістю руху, фізико-хімічними властивостями поверхневого шару і відстанню між ними у повітрі. Параметри цих процесів впливають на здатність коагуляції часток пилю з краплями води та адсорбцію шкідливих газів. Випробування гідравлічних завіс проводилося на промисловому майданчику шахти ім. Фрунзе ПАТ «Суха Балка» (рис. 3). За результатами випробувань отримані наступні параметри: діаметр крапель води від 1 мкм до 100 мкм; далекобійність понад 20 м [15].

На підставі проведених випробувань гідравлічних завіс високого тиску розроблено ряд ре-



**Рис. 3.** Випробування установки на промисловому майданчику шахти ім. Фрунзе ПАТ «Суха Балка»

комендацій щодо вибору і застосуванню даного обладнання. Необхідно відзначити, що в основі очищення забрудненого рудникового повітря в гірничих виробках за допомогою гідравлічних завіс лежить кілька суттєвих процесів.

Спостерігається змочування частинок пилю, їх подальша коагуляція і осідання з факелу гідравлічної завіси. Швидкість осадження дрібного пилю підпорядковується закону Стокса і пропорційна квадрату діаметра частинок пилю. Тому найдрібніший пил без впливу зрошення практично не осідає. З'єднання крапель води із завислими частинками пилю підпоряд-

ковується закономірності порівняння діаметрів частинок. Якщо краплі за розміром співставні з частинками пилу, то відбувається їх ефективне захоплення і коагуляція. Така схема дії завіси забезпечує підвищення ефективності очищення повітря від пилу.

Процес пилоутворення є наслідком механічних процесів подрібнення, тертя, перемішування, при цьому в утвореному двофазному середовищі (повітря-пил) присутня об'ємна статична електрика (трібоелектричний ефект утворення заряду під час тертя різних матеріалів), що призводить до електророзпору (відштовхування однойменних зарядів) частинок і збільшення тривалості їх перебування у зваженому стані.

Диспергування води в гідравлічних завісах утворює водний аерозоль, який формує електростатичне поле негативної напруженості. У межах гідравлічної завіси утворюється «загороджувальна стінка» забрудненому повітрю, що дозволяє здійснити його зрошення і знизити вміст у ньому шкідливих домішок. Основними технічними параметрами установки, від яких залежить ефективність очищення повітря є: кількість повітря, що ежектується у зрошувальний струмінь,  $Q_c$ , м<sup>3</sup>/с; коефіцієнт ежекції  $U$ ; вміст вологи у потоці водоповітряної суміші (щільність зрошення  $q$ , г/м<sup>3</sup>; середній діаметр крапель води у струмені  $d_c$ , мкм; далекобійність водоповітряного струменя  $L_y$ , м; напруженість електричного поля  $E_n$ , В/м; загальна електрзарядженість аерозолю  $Q_e$ , нКл/кг.

Методикою випробувань установки передбачалося встановити залежності її технічних параметрів від тиску води у трубопроводі  $P_p$ , а також від її геометричних характеристик, таких як діаметр камери змішування  $d_k$  і ширини кільцевого отвору для випуску суміші  $b_0$ .

Кількість повітря, що ежектується  $Q_c$  визначалася шляхом вимірювання його швидкості у конфузори установки за допомогою анемометра, при цьому змінювали тиск води  $P_p$  у водопроводі, за допомогою електричного клапану, тиск реєструвався манометром. Далекобійність струменя  $L_y$  визначалася шляхом вимірювання рулеткою довжини між дифузором пристрою і останньою межею вологого асфальту на полігоні. Усього було випробувано п'ять типорозмірів водоповітряних установок, які відрізнялися довжинами і діаметрами камер змішування, а також шириною кільцевого отвору для випуску суміші. Ширину кільцевого отвору  $b_0$  змінювали від 1 до 4 мм, а діаметр камери змішування  $d_k$  змінювали у межах 50...250 мм.

Збільшення або зменшення діаметра камери призводило до зменшення далекобійності установки. Це можна пояснити тим, що при збільшенні діаметра камери різко зростає кількість повітря, яке потрапляє у струмінь, внаслідок чого, на його транспортування витрачається більше кінетичної енергії струменя диспергованої води. При зменшенні діаметру камери зростає опір на виході за рахунок збільшення лобового опору вихідного отвору, що призводить до падіння початкової швидкості і далекобійності установки.

Використання методів математичної обробки отриманих результатів дозволило встановити емпіричну залежність між параметрами установки. Так, залежність далекобійності струменю  $L_y$  від тиску води у магістралі  $P_p$  і ширини кільцевого отвору для випуску суміші  $b_0$  має вигляд

$$L_y = 10 \sqrt{\frac{P_p b_0}{b_0 + 4,5}}, \quad (1)$$

де  $P_p$  – величина тиску води на вході в установку, МПа;  $b_0$  – ширина кільцевого отвору для випуску суміші, мм.

На рис. 4 наведено графіки залежності далекобійності установки від діаметра змішувальної камери. Аналіз результатів випробувань показав, що найбільшу далекобійність забезпечують установки з діаметром змішувальної камери  $d_k = 100-150$  мм.

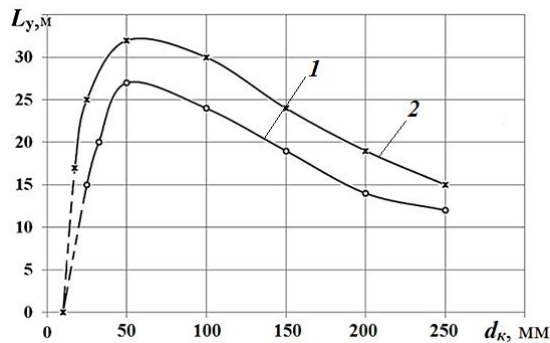
На рис. 5 наведено графіки залежності середнього діаметра крапель  $d_c$  від ширини кільцевого отвору  $b_0$ , який утворюється між корпусом форсунки і внутрішньою поверхнею змішувальної камери.

Математична обробка даних, отриманих у результаті експериментів, дозволила встановити емпіричну залежність між конструктивними параметрами установки, тиском води у трубопроводі  $P_p$  і шириною кільцевого отвору для випуску суміші  $b_0$

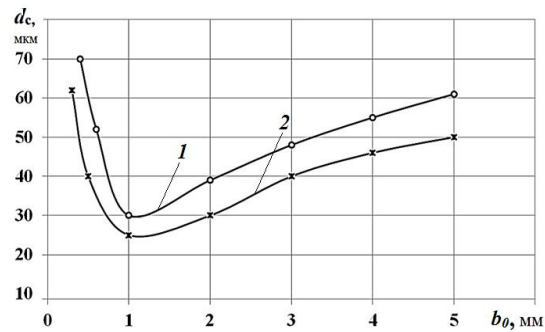
$$d_c = 100 \sqrt{\frac{1}{P_p} \sqrt{270 \ln b_0 + 310 / b_0 - 294}}, \quad (2)$$

де  $d_c$  – середній діаметр крапель води, мкм;  $b_0$  – ширина кільцевого отвору для випуску суміші, мм.



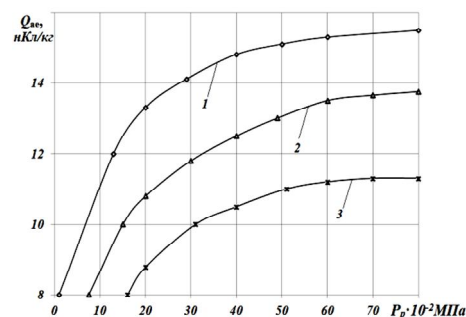


**Рис 4.** Залежність далекобійності установки  $L_y$ , м від діаметра змішувальної камери  $d_k$ , мм: 1 -  $P_p = 1,0$  МПа; 2 -  $P_p = 1,5$  МПа



**Рис 5.** Графіки залежності середнього діаметра крапель  $d_c$  від ширини кільцевого отвору для випуску суміші  $b_0$ , мм: 1 -  $P_p = 1,0$  МПа; 2 -  $P_p = 1,5$  МПа

На рис. 6 наведено графіки залежності напруженості загальної електрзарядженості аерозолі від тиску води, що надходить до форсунки при різних значеннях ширини кільцевого отвору для випуску суміші



**Рис 6.** Залежність загальної електрзарядженості аерозолі від тиску води, що надходить до форсунки при різних значеннях ширини кільцевого отвору для випуску водоповітряної суміші: 1 -  $b_0 = 1$  мм; 2 -  $b_0 = 2$  мм; 3 -  $b_0 = 3$  мм

Як видно з графіків загальна електрзарядженість аерозолі збільшується з підвищенням тиску води у трубопроводі і набуває максимальних значень при тиску  $P_p = 0,5$  МПа, подальше збільшення тиску не призводить до суттєвого збільшення електрзарядженості. Крім того більша електрзарядженість спостерігається при значеннях ширини кільцевого отвору для випуску водоповітряної суміші  $b_0 = 1$  мм.

**Висновки і напрямок подальших досліджень.** Геологічний і техніко-економічний аналіз затверджених запасів неокислених кварцитів засвідчив перспективні можливості їх розробки відкрито-підземним способом з використанням виробленого простору кар'єру і його технологічної інфраструктури.

Відкрито-підземний спосіб розробки родовищ передбачає використання відпрацьованих гірничих виробок і простору кар'єру для подачі повітря в зону гірничих робіт і провітрювання технологічних комплексів.

Очищення рудникового повітря від шкідливих домішок здійснюється в гірничих виробках шахт за допомогою гідравлічних завіс, які утворюють струмінь водоповітряної суміші негативної полярності і високої дисперсності крапель в діапазоні від 1 до 100 мкм.

Електроактивація водяного аерозолі посилюється за рахунок високого тиску води, яка надходить до змішувальної камери установки, що сприяє підвищенню коагуляції пилу та нейтралізації шкідливих газів за рахунок адсорбції їх на краплях води.

Випробування гідравлічної завіси в умовах гірничої виробки показало достатньо високу ефективність очищення повітря від шкідливих домішок, спостерігається стійкий режим роботи в автоматичному режимі і можливість управління в залежності ступені забруднення повітря.

Використання гідравлічних завіс для очищення рудникового повітря дає можливість здійснювати реверсивне провітрювання кар'єрів і шахт за допомогою існуючого ГВУ, обладнаного на поверхні, при застосуванні відкрито-підземного способу розробки рудних родовищ.

Напрямок подальших досліджень передбачає обґрунтування наявності високого тиску в гідравлічних мережах шахт та дослідження аеродинамічних параметрів гідравлічних завіс в рудниковому повітрі

#### Список літератури

1. Черных А. Д. Комплексная разработка рудных месторождений / А. Д. Черных. – К. : Техніка, 2005. – С. 4-23.
2. Шнайдер М.Ф., Вороненко В.К. Совмещение подземных и открытых разработок рудных месторождений. – М.: Недра, 1985. – 1985 -132 с.

3. **Ладыничев Л. В.** Проветривание шахт при разработке месторождений одновременно открытым и подземным способами. // Проблемы охраны труда. – Каунас: КПИ, 1982. – С. 316-317.
4. **Щелканов В.А.** Основные направления развития развития открыто-подземного способа разработки месторождений. – М.: ИП-КОН АН СССР, 1987. – С.16-29.
5. А. с. 1583625 СССР, Е 21 F 1/00. Способ проветривания карьеров / **А.Е. Лапшин, В.Г. Слюсаренко, И.Б. Ошмянский** (СССР). № 4410992/31-03; заявл. 15.04.88; опубл. 07.08.90, Бюл. № 29.
6. Пат. на корисну модель 93859 Україна МПК E21F 1/00. Спосіб провітрювання кар'єрів і шахт при комбінованій роз-робці родовищ / **Лапшин О.Є., Лапшин О.О., Лапшина Д.О.**; заявник і патентовласник Криворізький національний уні-верситет. – № u 201400735; заявл. 27.01.14; опубл. 27.10.14, Бюл. № 20.
7. **Лапшин О.Є., Лапшин О.О. Лапшина Д.О.** Очищення забрудненого повітря при застосуванні відкрито-підземного способу розробки родовищ// Качество минерального сырья. В сб. научн. трудов. Кр. Рог. 2017.- с 366-377.
8. **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. 164-1682.
9. Моделирование и проектирование систем гидрообеспыливания / [**В.П. Журавлев, В.И. Саранчук, Н.А. Страхова** та ін.]. – Киев: Наукова думка, 1990. – 132 с.
10. **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.
11. **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.
12. **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.
13. **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.
14. **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.
15. **Корж В.А.** Вплив електроактивації аерозолу на інтенсивність пилогазоподавлення при провітрюванні / **В.А. Корж, О.О. Лапшин** // Проблеми охорони праці в Україні. – Вып. 8, 2004 – С. 32-39.

Рукопис подано до редакції 04.04.2018

УДК 621.313.024.67.

А.С. КУЗЬМЕНКО, ст. викладач, Г.В. КОЛОМІЦ, асистент  
Криворізький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОГО МАГНІТО-ЛЕВІТАЦІЙНОГО ДВИГУНА

**Мета роботи і задачі дослідження.** Конструювання та дослідження актуальності використання та подальшого розвитку сонячного магніто-левітаційний двигуна Ларі Спрінга.

Для досягнення поставленої мети потрібно зробити:

обрати оптимальний варіант конструкції двигуна;

створити робочу модель двигуна;

провести випробування та налаштування;

провести досліди та знайти основні закономірності роботи двигуна.

**Актуальність роботи.** Зараз все частіше постають питання про розробку нових типів двигунів. Досить гостро цей напрям пов'язаний з підприємствами та транспортом, адже більшість двигунів – це покращенні моделі минулого. Нові двигуни повинні бути не тільки ефективніші, але і дешевші.

У ДВНЗ «Криворізький національний університет» існує лабораторія «Електричних машин». Для вивчення сучасних напрямків розвитку електричних машин постійно проводяться дослідження у цьому напрямку У навчальний процес впроваджуються лабораторні роботи по аналізу роботи сучасних двигунів. Останні з таких робіт: «Кроковий двигун», «Вентильний реактивний двигун».

**Методи досліджень.** При вирішенні задачі використовувались загальні методи обчислювальної техніки, побудовано макет сонячного магніто-левітаційного двигуна.

**Наукова новизна.** Сконструйована робоча модель сонячного магніто-левітаційного двигуна та досліджені основні його властивості.

**Практична.** Сучасні електродвигуни, хоча і основані на одному і тому ж законі, що і електромеханічний перетворювач Якобі, проте мають значну різницю. З плином часу, електричні двигуни стали значно потужніші, менші, та