

УДК 622.807:622.235.3

Розробка ефективних способів і засобів нормалізації атмосфери робочих зон кар'єрів

В. Г. Наливайко¹, В. А. Коновалюк²

¹к.т.н., доц. Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна, vadim.moris@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4452-6111

²к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, viktoria.konovalyuk@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5115-7188

***Анотація.** У результаті натурних досліджень стану повітряного середовища наявних кар'єрів отримано залежності зміни концентрацій оксиду вуглецю зі збільшенням глибини кар'єру. Встановлено недостатній повітрообмін з навколишнім середовищем під час штилів та температурної інверсії. Розрахунково-аналітичними й експериментальними дослідженнями встановлено, що для інтенсифікації повітрообміну в глибокому кар'єрі доцільні установки імпульсного зрошення за допомогою дрібнодисперсного аерозолу. Для поліпшення умов праці була розроблена установка імпульсного дрібнодисперсного зрошення ІДДЗ (водяна гармата). При її пострілі вода розпилюється в горизонтальному напрямку. Досліджувалась ефективність роботи установок з різними характеристиками: велика гармата (дальність польоту струменя – 200 м, об'єм води, що викидається за цикл, – 1000 дм³) та мала гармата (дальність польоту струменя – 100 м, обсяг води, що викидається за цикл – 200 дм³). Результати експерименту свідчать, що для провітрювання й очищення повітря в запиленому об'ємі атмосфери нижніх горизонтів глибоких кар'єрів більшу ефективність має застосування великої гармати. Кількість установок вибирається з умов потреби зрошувальної рідини для ефективного провітрювання застійної зони або із умов інтенсивності пилота газовиділення на цій ділянці. Установка ІДДЗ у період між вибухами та інтенсифікацією повітрообміну в кар'єрі може бути використана для боротьби з пилом, що вихає в атмосфері кар'єру, та на прилеглий території. Особливо це стосується вузлів концентрації гірничого і транспортного устаткування на горизонтах кар'єру (перевантажувальні майданчики, застійні зони в тупикових вибоях, при проходці траншей тощо). Застосування установок ІДДЗ дозволить виконувати внутрішньокар'єрні технологічні роботи на глибині понад 500 м із застосуванням автотранспортної доставки руди на перевантажувальні пункти циклічно-поточної технології.*

***Ключові слова:** провітрювання, загазованість, атмосфера кар'єру, вітровий потік, імпульсна установка*

Вступ. У зв'язку зі збільшенням глибини кар'єрів однією з головних проблем при розробці родовищ відкритим способом є забезпечення нормальних санітарно-гігієнічних умов у атмосфері кар'єрів, здатних гарантувати безпечно і високопродуктивну роботу.

На сьогодні широко застосовуються заходи боротьби з запиленістю і загазованістю. Однак, в останні роки при проведенні відкритих гірничих робіт частішали випадки наявності підвищеного вмісту шкідливих домішок в атмосфері кар'єрів. Основними причинами наднормативного забруднення атмосфери кар'єрів є недосконалість технологічних процесів і обладнання та погіршення умов природного повітрообміну зі збільшенням глибини кар'єрів, особливо при штилі і температурній інверсії.

Постійне збільшення обсягів, інтенсивності та глибини гірничих робіт в поєднанні з такими метеорологічними чинниками як температурна інверсія і штиль створює несприятливі умови праці. Ці фактори утруднюють турбулентний повітрообмін виробленого простору кар'єру з навколишнім середовищем.

У результаті виникає наднормативне забруднення атмосфери кар'єру. Для своєчасного вжиття заходів, що забезпечують безпеку персоналу кар'єру і, як наслідок, виробниче функціонування, необхідна методика точного прогнозування параметрів атмосфери, ефективні способи провітрювання і надійні технічні пристрої.

Склад атмосфери в робочих зонах глибоких кар'єрів потребує нормалізації внаслідок забруднення відпрацьованими газами силових установок кар'єрної техніки поряд з високим рівнем запиленості. На сьогодні спостерігаються такі загальні тенденції розвитку гірничої справи:

- поглиблення кар'єрів;
- підвищення продуктивності кар'єрного транспорту;
- збільшення потужності силових установок.

Отже, проблема провітрювання глибоких кар'єрів загострюється.

Несприятливі метеоумови (поєднання штилів з інверсіями) негативно впливають на екологічну ситуацію повітряного басейну кар'єру. Вимушені прості багатьох наявних

кар'єрів унаслідок перевищення гранично-допустимої концентрації (ГДК) забруднювальних речовин у складі їхньої атмосфери досягають 25 % часу.

Відповідно до вимог Єдиних правил безпеки (ЄПБ) при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом у разі перевищення нормативного вмісту шкідливих газів або запиленості повинні вживатися заходи щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці.

Інтенсивність більшості джерел пиловиділення в кар'єрі залежить від багатьох факторів, серед яких швидкість, м/с, і температура, °С, повітря в зоні обладнання, що працює. Змінну інтенсивність виділення шкідливих домішок, яка залежить від зовнішніх умов, мають усі машини і пристрої, що пересипають гірську масу в потоці рухомого повітря, а також автомобілі, бульдозери та ін.

Надходження пилу й газів до атмосфери кар'єрів і навколишнього середовища тісно взаємопов'язано між собою і визначається одним і тим комплексом некерованих і керованих факторів. Результати експериментальних досліджень показують, що до головних некерованих факторів належать:

- кліматичні умови;
- вітровий режим кар'єру;
- термічний режим кар'єру;
- гірничо-геологічна характеристика родовища.

Керованими факторами є технологія, техніка і організація гірничого виробництва.

Причиною сильного, але короткочасного забруднення атмосфери кар'єру і прилегло району є вибухові роботи. Газопилова хмара при потужному масовому вибуху викидається на висоту 150...250 м. Після досягнення рівня конвекції вона поширюється за вітром на значні відстані. Об'єм пилогозової хмари становить 15...20 млн. м³, а концентрація пилу досягає в ньому 4000 мг/м³. При вибухах виділяються також значні об'єми отруйних газів – в основному окис вуглецю й оксиди азоту. Кількість газів залежить від типу вибухової речовини і властивостей порід, що підриваються.

Інтенсивним і постійним джерелом забруднення повітря в кар'єрах є автотранспорт. Вихлопні гази двигунів внутрішнього згоряння є складною багатокомпонентною сумішшю. В даний час у їхньому складі визначається вже більше 200 різних речовин. З аерозольних компонентів найбільш небезпечна сажа, що викидається у вигляді частинок з переважним розміром 0,05...0,5 мкм. Частиці сажі, мають значну питому поверхню – до 75м²/г. Вони

адсорбують канцерогенні та інші токсичні речовини, які при потраплянні в організм людини можуть призвести до тяжких наслідків. Склад токсичних викидів кар'єрних автомобілів значною мірою залежить від режиму роботи двигуна та характеристики траси.

Останні дослідження та публікації. Проблема нормалізації атмосфери кар'єрів виникла в кінці п'ятидесятих – на початку шістдесятих років минулого століття з поглиблення ряду кар'єрів понад 100...150 м. Однією з перших робіт, присвячених вентиляції кар'єрів, була робота член-кореспондента української академії наук Ф. А. Абрамова, опублікована в 1957 році [1]. З кінця 1950-х і до кінця 1970-х років ішли інтенсивні теоретичні та експериментальні дослідження, спрямовані на поліпшення природного провітрювання і розробку засобів і способів штучної вентиляції кар'єрів [2].

Головною стратегічною помилкою більшості дослідників були спроби за допомогою окремих установок провітрити непорівнянні за необхідними потужностями об'єми виробленого простору кар'єрів. Для цього використовувались окремі установки місцевого провітрювання типу УМП [3] та теплові установки УТСМ, які в періоди глибоких інверсій ставали додатковим джерелом забруднення атмосфери. При цьому проблема нормалізації санітарно-гігієнічних параметрів атмосфери глибокого кар'єру так і не була вирішена.

Зусилля дослідників були спрямовані, в першу чергу, на пошук шляхів локальної зміни метеорологічних параметрів атмосфери кар'єру за допомогою різних технічних пристроїв, призначених для відновлення або інтенсифікації повітрообміну з навколишнім середовищем. Більшість технічних рішень не пішла далі стадії теоретичних досліджень, окремі вийшли на рівень експериментів, але жодне не застосовується широко на практиці.

Певних успіхів досягла Школа кар'єрних аерологів, створена докторами технічних наук, професорами К. В. Кочневим і С. С. Філатовим в «Інституті гірничої справи Міністерства чорної металургії СРСР». Дослідники цієї школи на підставі аналізу багаторічних досліджень показали необхідність створення систем вентиляції та пилогозаподавлення на базі потужних турбовентиляторів – генераторів штучних опадів. Ця ідея була успішно реалізована в кінці 1970-х – на початку 1980-х років на урановидобувних кар'єрах гірничо-хімічних комбінатів з використанням турбовентиляторів НК-12КВ [4, 5].

Повітрообмін виробленого простору з навколишнім середовищем є необхідною умовою підтримки санітарно-гігієнічних параметрів атмосфери кар'єру на нормативному рівні. Це дозволяє видалити забруднене повітря за його межі. З ростом глибини кар'єра цей процес набуває циклічного характеру, що залежить від інтенсивності провітрювання виробленого простору природними вітровими потоками. При такому характері повітрообміну забруднене повітря з кар'єру може:

- виноситися повністю – турбулентний повітрообмін);
- виноситися частково – рециркуляційний повітрообмін;
- не виноситися взагалі – припинення повітрообміну).

Загальнообмінна вентиляція кар'єру вимагає великих витрат енергії і практично не застосовується при відпрацюванні глибоких кар'єрів.

В. Н. Ситенков [6] зробив висновок про недоцільність штучного провітрювання кар'єру. Цей висновок справедливий за умови несумірності енергії руйнування інверсії ($10^8 \dots 10^{12}$ Дж) і енергії повітряної струмини ($10^5 \dots 10^7$ Дж), що створюється найсучаснішими вентиляторними установками типу АВК-5, ПВУ-6 та ін. Такі установки реалізують квазі-статистичний режим провітрювання.

Як випливає з наведеного вище, для вирішення проблеми провітрювання необхідні високоенергетичні установки, серед яких засновані на використанні енергії вибуху. На основі цього постулату пропонується використання саме енергії вибуху [7-9].

Сутність ідеї полягає у формуванні висхідного газового струменя каскадним вибухом паливо-повітряної суміші. Ефективність ідеї обумовлюється наступними факторами: каскадністю вибухів; високою енергоємністю паливо-повітряної суміші; мінімальним впливом на навколишнє середовище. В цілому, можна стверджувати про перспективний напрямок в аерології кар'єрів, якщо розширити дослідження, описані в роботі Н. З. Бітколова [10].

Запропонований спосіб дозволяє реалізувати імпульсний режим вентиляції при потужності струменя повітря, що виноситься, понад 10^{10} Вт і при масі палива, що підривається, 30 т. У цей же час, аналогічні за потужністю стаціонарні пристрої не перевищують величини 10^7 Вт.

Технологія імпульсного струминного провітрювання глибоких кар'єрів наведена в роботі [11]. У ній представлено результати роз-

рахунків каскадних вибухів паливо-повітряних сумішей для малих мас палива і в умовах інверсної атмосфери кар'єру.

У роботі [12] як результат чисельного моделювання продемонстрована можливість провітрювання кар'єру за допомогою вентиляційних підняткових і штолень. Застосування цих способів дозволяє істотно змінити структуру швидкісних полів і забезпечити винесення шкідливих домішок з кар'єрного простору за більш короткий час порівняно з базовим варіантом. При цьому використання вентиляційних підняткових більш доцільне, ніж штолень.

Спосіб провітрювання за допомогою гірничих виробок, як і технологія імпульсного струминного провітрювання, до теперішнього часу не знайшов широкого використання на вітчизняних кар'єрах в зв'язку зі значними витратами на спорудження системи. Очевидно, що цей спосіб не буде застосовуватися для загальнокар'єрної вентиляції, особливо для кар'єрів великих об'ємів.

Систематичні дослідження проблеми створення безпечного повітряного середовища в кар'єрах в «Гірничому інституті Кольського наукового центру Російської академії наук» почалися з 1977 року. При цьому спочатку довелося йти традиційними методами натурних спостережень і виробничих експериментів через відсутність необхідного досвіду й експериментальної бази. На основі отриманих даних і аналітичних досліджень було розроблено метод визначення оптимальних параметрів установок, що створюють штучні струмини, з урахуванням взаємодії їх з температурно-стратифікованою атмосферою.

Штучне провітрювання для нормалізації атмосфери в об'ємі кар'єрного простору (загальнообмінне штучне провітрювання кар'єру) при забрудненні його техногенними газовими домішками на практиці виявилось малоефективним. Узагальнення досвіду спостережень за процесами, що відбуваються в приземному шарі атмосфери, чисельні експерименти за розробленими математичними моделями, енергетична оцінка цих процесів і їхньої взаємодії з штучними вільними струминами дозволили обґрунтувати нову для аерології кар'єрів концепцію [13, 14]. Сенса її в тому, що штучні вільні струмини створюють циркуляційні зони. У їхньому об'ємі відбувається швидко усереднення концентрації і накопичення в них шкідливих домішок без істотного виносу їх за межі зони. Тому для нормалізації кар'єрної атмосфери при штудії і температурних інверсіях потрібна вели-

ка кількість енергії, яка на 3...4 порядки вище не лише потужності кар'єрних вентиляторів, але і потреби кар'єру в електричній енергії.

Тому проблема створення нормалізованих санітарно-гігієнічних умов методом штучної вентиляції в загальному випадку вирішена бути не може.

На основі проведеної соціально-економічної оцінки було визначено реально можливі шляхи вирішення проблеми в глибоких кар'єрах шляхом забезпечення безпечного повітряного середовища безпосередньо на робочому місці або в локальних робочих зонах кар'єру з підвищеною концентрацією шкідливих речовин.

На підставі аналізу проведених досліджень і виробничих даних встановлено, що в кар'єрах Криворізького басейну за певних метеорологічних умов (наприклад, при швидкості вітру на поверхні до 3 м/с) вплив вітрової енергії на повітрообмін в нижніх горизонтах кар'єрів недостатній. Тому необхідне здійснення ряду заходів щодо оздоровлення атмосфери.

Досліджувалась ефективність застосування рідких компонентів для пилогазоподавлення та інтенсифікації повітрообміну в кар'єрі. Промислові експерименти [15] показали також, що при поширенні повітряно-газо-рідинних струмин у кар'єрному просторі відбувається інтенсивне (до 50%) випаровування води. При цьому процеси, що спостерігаються в атмосфері зони, яка обслуговується, аналогічні процесам, що протікають в апаратах для кондиціонування повітря з застосуванням води.

Аналіз експериментів на кар'єрі показав, що при роботі вентилятора НК 12КВ відбувається зміна як відносної вологості ϕ на 10-15 %, так і температури повітря T на 2...4 К. Якщо час обробки τ не перевищував 30-40 хв, то швидкість зміни температури $dT/d\tau$, К/хв і відносної вологості $d\phi/d\tau$, %/хв, набували хід на рівнях, що відрізняються від природних. Так, швидкість $dT/d\tau$ встановлювалася на рівні 1,5...2,5 К/хв нижче, а $d\phi/d\tau$ – на 5...12 %/хв вище порівняно з природним ходом.

Якщо час обробки зростав до 60 хв, то $d\phi/d\tau$ збільшувалась у 2 рази, а $dT/d\tau$ – у 4 рази, в порівнянні з природною зміною параметрів повітряного середовища.

У роботі [16] стверджується, що найбільш ефективним способом подавлення пилу, який виноситься з кар'єру, є створення тонкодисперсних водяних завес у формі туману.

Як впливає зі сказаного вище, для вирішення проблеми провітрювання необхідні високоенергетичні установки, серед яких

засновані на використанні енергії фазових переходів. На основі цього постулату пропонується використання енергії фазових переходів дрібнодисперсного аерозолу методом його диспергування за допомогою дошувальних установок імпульсної дії [17,18,19].

Сутність ідеї полягає у формуванні дрібнодисперсного водяного струменя імпульсним способом за допомогою установки циклічної дії, здатної доставити дрібнодисперсний аерозоль фракцією 0.1...0.5 мм на відстань до 200 м. Ефективність ідеї визначається наступними факторами: циклічністю викидів; високою енергоємністю; мінімальним впливом на навколишнє середовище.

Для підтвердження здійсненності принципово нового способу провітрювання проведені експерименти [18] і чисельні розрахунки [20]. Показано, що новий метод провітрювання локальних зон кар'єрів, заснований на дрібнодисперсному зрошенні локальної забрудненої ділянки кар'єру, дозволяє в кілька разів збільшити ефективність провітрювання цієї зони порівняно з наявними способами вентиляції. Повне відновлення чистого повітряного середовища відбувається за 1...1,5 год роботи імпульсних установок.

Проведена оцінка енергетичної ефективності застосування способів інтенсифікації повітрообміну в атмосфері кар'єру.

Практичне застосування мають два способи зволоження повітря: ізотермічний і адіабатичний. Адіабатичне зволоження є набагато більш економічним, оскільки процес пароутворення відбувається за рахунок внутрішніх джерел енергії, а зовнішнє енергоспоживання пов'язано тільки з подоланням сил поверхневого натягу води в ході її розпилення. Генерація 10 кг вологи вимагає в цьому випадку 0,7 кВт·год електроенергії.

Формулювання цілей статті. Задачею дослідження є пошук обґрунтованих технічних рішень для ефективного повітрообміну в просторі глибоких кар'єрів на основі фазових перетворень рідин у нижніх шарах атмосфери робочих зон кар'єру зі створенням позитивного або негативного градієнта температури, задля інтенсифікації циркуляції більш теплого або холодного повітря.

Основна частина. Наявні глибокі кар'єри є недосконалою аеродинамічною системою, яка не дозволяє в ряді випадків ефективно здійснювати повітрообмін у нижніх горизонтах за рахунок природного провітрювання.

Кар'єр як об'єкт провітрювання не має аналогів у світовій виробничій практиці і є

новим етапом розвитку вентиляції. Відбувається перехід від провітрювання закритих систем (цехів, підземних рудників, шахт і т. ін) до відкритих (кар'єрів, розрізів) з нестійкими складними процесами і зв'язками.

Під системою в даному випадку розуміють частину атмосфери в об'ємі кар'єра, у якій чистоту повітря необхідно підтримувати на заданому рівні. Відкрита система тісно пов'язана з навколишнім середовищем. У даному випадку неможливо виділити чітку межу між ними в атмосфері.

Зазвичай прийнято відносити до навколишнього середовища зовнішні відносно системи об'єкти і впливи, які беруть участь у формуванні його властивостей. На відміну від непроникних меж – борти і дно кар'єру, – межа між системою (атмосферою кар'єру) і навколишнім середовищем проходить в атмосфері і є проникною. Вона виражена нечітко і має гіпотетичний характер.

Межею системи можна назвати проникну поверхню об'єму кар'єру, пов'язану з атмосферою навколишнього середовища, яка відокремлює цей об'єм від неї. Якщо мова йде про робочу зону кар'єру, то межа буде умовно відокремлювати цю зону від решти атмосфери кар'єру.

Необхідною умовою провітрювання (вентиляції) будь-якої системи є потоки маси повітря крізь її межі. При цьому потоки зовнішнього і стоки забрудненого повітря повинні бути розосереджені так, щоб унеможливити «коротке замикання» між собою (рециркуляцію забрудненого повітря).

Таким чином, за умовами сполучення з навколишнім середовищем і розподілу повітря всередині об'єму кар'єру відкрита система непорівнянна із закритою. Це призводить до особливого підходу до оцінки впливових факторів. При стійкому стані атмосфери необхідно створити в кар'єрі конвективний рух і забезпечити обмін повітряних мас із зовнішнім середовищем.

Для поліпшення умов праці за газопиловим фактором на нижніх горизонтах глибоких кар'єрів була розроблена водяна гармата. Виконано аналіз ефективності застосування водяної гармати для провітрювання нижніх горизонтів глибоких кар'єрів.

При пострілі водяної гармати проводиться розпилення води вздовж деякого горизонтального напрямку. З плином часу гармата повертається. Віяло таких напрямків утворює горизонтальну площину. Процес носить коливальний і циклічний характер, як у просторі,

так і за часом. Для спрощення вважається, що вода рівномірно розподіляється за площиною, і процес є стаціонарним. Це дозволить визначити середні показники реального процесу.

Вільна конвекція, що виникає в атмосфері при нестійкій стратифікації, має свої особливості. Вона відрізняється від конвективних потоків, створених компактними тепловими джерелами. При нестійкій стратифікації немає спрямованого руху повітря. Весь простір розбивається на струминки холодного повітря, що рухаються вниз, і струминки теплого повітря, які підіймаються вгору. Тепломасообмін у такому просторі описується шляхом підбору коефіцієнта турбулентної дифузії.

За просторовими змінними завдання розглядається в одновимірній постановці вздовж вертикальної координати z , м. Це можна обґрунтувати тим, що фізичні умови, які впливають на поширення шкідливих речовин, слабо змінюються в горизонтальному напрямку. Припущення одновимірності, крім того, породжує умова повного відбиття шкідливих речовин стінками кар'єру. Це найгірший випадок з точки зору провітрювання.

Проведені дослідження щодо визначення оптимального діаметра крапель. Після пострілу водяної гармати в водоповітряній суміші починається випаровування води. Відносна вологість повітря, %, зростає, а температура, К, падає. Процес триває, доки не випаруються всі краплі чи не утвориться рівновага води і водяної пари, тобто за відносної вологості 100 %. У зайнятому сумішшю об'ємі повітря виникає область зниженої температури, К. Вона утворюється під водоповітряним шаром за рахунок гравітаційного осідання крапель. При термодинамічному аналізі ця область має чітко окреслені межі. За рахунок вертикального тепломасообміну горизонтальні фронти розмиваються, що призводить до зменшення вертикального температурного градієнта і до зниження якості провітрювання.

Визначений діапазон зміни температури, К, і вологості повітря, %, в локальній зоні кар'єру від часу роботи установки імпульсного дрібнодисперсного зрошення (табл. 1, 2 і рис. 1). Отже, через певний час відносна вологість у горизонтальному шарі, що займає приблизно половину висоти кар'єру, досягає 100 % (для великої гармати - через 18 хв, для малої - через 30 хв).

У наступні моменти часу краплі будуть просто «пролітати» крізь шар без змін. Процес випаровування, аналогічний початковому, буде відбуватися в нижній половині кар'єру.

Таблиця 1

Параметри повітря після пострілу великої гармати дальністю польоту струменя 200 м, об'єм води, що викидається за цикл, 1000 дм³

Час, хв	Зміна температури, °С	Зміна вологості, %
1,12	-0,93	2,14
1,99	-1,65	3,88
5,11	-4,22	10,82
10,02	-8,25	24,47
15,15	-12,43	44,12
16,18	-13,27	48,99
18,71	-15,32	62,83

Таблиця 2

Параметри повітря після пострілу малої гармати дальністю польоту струменя 100 м, об'єм води, що викидається за цикл, - 200 дм³

Час, хв	Зміна температури, °С	Зміна вологості, %
1,11	-0,51	1,17
1,97	-0,90	2,08
4,91	-2,26	5,42
10,04	-4,61	11,95
15,17	-6,95	19,61
19,98	-9,13	28,06
25,10	-11,45	38,85
28,63	-13,04	47,64

Звідси випливає висновок, що через деякий час (у разі великої гармати – через 36 хв, малої – через 60 хв) відносна вологість повітря у всьому повітряному просторі нижче рівня гармати досягне 100%. Температура встановиться постійна, і стратифікація стане байдужою.

Оптимальним часом роботи гармати слід вважати 18 хвилин для великої і 30 хвилин для малої. Ці значення залишаться справедливими і при врахуванні вертикального тепломасообміну, хоча перепад температури 13 К не буде досягатися.

Таким чином, проведене дослідження дозволило оцінити максимальний перепад температури, К, який може бути досягнутий, і необхідний для цього час (який прийнято за оптимальний). Крім того, тривала робота водяної гармати є неефективною.

Одним із шляхів зниження енерговитрат на установки для інтенсифікації повітрообміну внутрішньокар'єрного простору може бути застосування далекуструминних дощувальних установок [18].

На підставі проведених теоретичних розрахунків зроблено висновок, що використання установки імпульсного дрібнодисперсного

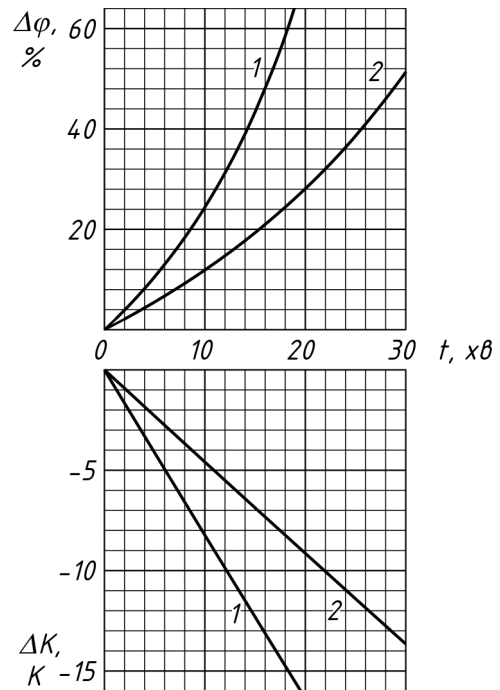


Рис. 1. Зміна відносної вологості $\Delta\phi$, %, та температури ΔT , К, повітря після пострілу гармати: 1 – великої, 2 – малої

зрошення можливо не тільки для локального пилогазоподавлення при масових вибухах, але і для інтенсифікації повітрообміну в робочих зонах кар'єру. При цьому на підставі теоретичних і модельних досліджень показано можливість використання установки імпульсного дрібнодисперсного зрошення (ІДДЗ) з робочим об'ємом виплеску 200 дм³.

Разом з тим, засобів дрібнодисперсного імпульсного зрошення в даний час розроблено недостатньо. Практика ведення гірничих робіт у кар'єрах показує необхідність розробки більш потужних установок ІДДЗ.

Установка характеризується безмашинним перетворенням енергії. Вода в атмосферу витісняється газами, які утворюються при спалюванні стиснутої паливної суміші. Високі тиски виплеску отримуються при порівняно низьких питомих витратах енергії (0,26...0,3 г бензину, газу або іншого виду палива на літр води).

На основі обчислювального експерименту розглянуто тепломасообмін, що відбувається в атмосфері кар'єру під водоповітряним шаром при роботі великої і маленької гармат.

Для розрахунку турбулентного тепломасообміну з урахуванням вільної конвекції застосована програма «Слабосжимаемая жидкость» з пакету прикладних програм FlowVision. В ній використовується k - ϵ модель турбулентності для конвективних потоків повітря і рівняння конвективно-дифузійного переносу в наближенні Бусинеска для тепломасооб-

міну.

Для великої гармати вважаємо, що її далекобійності достатньо для того, щоб створити водоповітряний шар, який повністю покриває нижню частину кар'єру в плані. Тоді на верхній межі розрахункової області (водоповітряний шар) ставляться такі граничні умови: «Вільний вхід / вихід» для швидкості з тиском, рівним атмосферному (101000 Па); постійна температура 317,921 К (44,771 °С) і нульова концентрація СО (над шаром повітря вважається чистим).

Вважаємо, що в початковий момент часу (початкова умова) «повітря в області спокою», температура дорівнює 318,15 К (45 °С), і присутнє забруднення у вигляді чадного газу з концентрацією 10 ГДК (ГДК СО = 20 мг/м³).

Результати обчислювального експерименту для різних проміжків часу (рис. 2) дозволяють зробити висновок, що для очищення повітря в об'ємі атмосфери досить 40 хв.

При розгляді малої гармати (200 дм³) верхня гранична умова має бути поставлена інакше. Її далекобійності не вистачає для створення водоповітряного шару, що буде повністю покривати нижню частину кар'єру в плані. Верхня квадратна грань розрахункової області повинна бути розбита на дві прямокутні частини: водоповітряний шар і залишок. На частині верхньої межі, що відповідає водоповітряному шару, ставиться гранична умова, аналогічна попередньому пункту: «Вільний вхід / вихід» для швидкості з тиском, рівним атмосферному; постійна температура 318,023 К (44,873 °С) і нульова концентрація СО.

Результати обчислювального експерименту для різних проміжків часу (рис. 3) свідчать про те, що при роботі великої гармати конвективні потоки – хаотичні в просторі та за часом вертикальні струмени. Характер конвективних потоків при роботі малої гармати, навпаки, упорядкований. Помітно виникнення великої вихрової зони під водоповітряним шаром. У її центрі утворюється застійна зона. Це є причиною зниження якості провітрювання й появи області підвищеної концентрації забруднення (світло-зелена пляма на рис.4.3 д-ж).

Таким чином, результати обчислювального експерименту свідчать про більшу ефективність застосування великої водяної гармати порівняно з малою для провітрювання нижніх горизонтів глибоких кар'єрів. Для очищення повітря в запиленому об'ємі атмосфери під водоповітряним шаром (принаймні - в разі великої гармати) достатньо 40 хв її роботи.

Практичне застосування. Аналіз даних досліджень [21] показує, що при вологовмісті атмосферного повітря більше 9,3...9,5 г/кг у Первомайському і Ганнівському кар'єрах спостерігається стійке зменшення концентрації оксиду вуглецю зі збільшенням глибини розробки. Концентрація СО на нижчих горизонтах нижче, ніж на верхніх. При вологовмісті атмосферного повітря менше 5,4 г/кг на обох кар'єрах відбувається зростання концентрації оксиду вуглецю зі зниженням зони гірських робіт. Аналогічні залежності мають спостерігатися і в інших кар'єрах, оскільки ситуаційно-технологічні схеми відпрацювання і провітрювання схожі.

Отримані за даними натурних досліджень залежності зміни концентрації оксиду вуглецю зі збільшенням глибини кар'єру наочно показують, що при зміні густини повітря, кг/м³, за рахунок зміни його вологовмісту, г/кг, концентрація оксиду вуглецю за висотою кар'єру не є постійною величиною. При низькому вологовмісті повітря підвищення концентрації оксиду вуглецю спостерігається у верхніх шарах атмосфери кар'єра, а при високому вологовмісті – у нижній його частині.

Дослідження показують, що кар'єри протягом доби в усі сезони року провітрюються в основному силою вітрового потоку, тобто динамічна циркуляція повітря в кар'єрі спостерігається значно частіше, ніж теплова. У той же час, у нічні години вплив динамічного фактору слабшає, і у зв'язку з цим збільшується ймовірність утворення теплових, тобто конвективних і інверсійних схем провітрювання.

Одним з основних призначень установки імпульсного дрібнодисперсного зрошення є її використання для зниження пікових навантажень за викидами шкідливих речовин з кар'єрів в навколишнє середовище, а також для нормалізації складу атмосфери глибоких кар'єрів. Значні пікові викиди шкідливих домішок у кар'єрах відбуваються при масових вибухах і ситуаціях зі створенням внутрішньокар'єрних інверсійних зон.

Застосування установок імпульсного дрібнодисперсного зрошення дозволить виконувати внутрішньокар'єрні технологічні роботи на глибині понад 500 метрів із застосуванням автотранспортної системи доставки руди на перевантажувальні пункти циклічно-поточної технології. В іншому випадку, при ігноруванні розробки системи щодо нормалізації атмосфери робочих зон і ділянок у глибоких кар'єрах, все частіше буде спостеріга-

тися підвищення загазованості атмосфери кар'єру зі збільшенням часу і частоти простою.

Кількість установок вибирається із умови потреби зрошувальної рідини для ефективного провітрювання застійної зони або залежно від інтенсивності пило- та газовиділення на цій ділянці. Розрахунки слід проводити індивідуально для кожного кар'єру з урахуванням:

- географічного розташування;
- впливу рози вітрів;
- наявності додаткових факторів, що впливають на повітрообмін і виділення шкідливостей в атмосферу кар'єру.

Установка імпульсного дрібнодисперсного зрошення в період між вибухами та інтенсифікацією повітрообміну в кар'єрі може бути використана для боротьби з пилом, що витає в атмосфері кар'єру та прилеглий території. Особливо це стосується вузлів концентрації гірничого і транспортного устаткування на горизонтах кар'єру (перевантажувальні майданчики, застійні зони в тупикових вибоях, при проходці траншей тощо).

Режим роботи установки, що використовується при придушенні пилу, який витає, повинен бути повторно-короткочасним [22]. Так, увімкнення установки здійснюється після того, як концентрація пилу або газів у зазначених місцях кар'єру стає вище гранично-допустимої. Після декількох залпів установки концентрація пилу повинна знизитися до заданої величини (наприклад, до 1 мг/м^3 при ГДК 2 мг/м^3). Потім робота установки припиняється і відновлюється лише після зростання концентрації пилу більше ГДК – і цикл роботи повторюється.

Слід зазначити, що збільшення глибини кар'єра понад 500 м призведе до значного погіршення аеродинаміки вітрових потоків на нижніх горизонтах кар'єру, що знизить енергію вітрових потоків і збільшить імовірність зага-

зованості робочих зон у нижній частині кар'єру. Крім цього слід враховувати значну концентрацію автотранспорту на нижніх горизонтах кар'єру, що призведе до збільшення загазованості і в самій зоні роботи автотранспорту.

Висновки. Головними чинниками, що призводять до погіршення повітрообміну в кар'єрах, є поєднання штилю з температурною інверсією. Імпульсне дрібнодисперсне зрошення є найбільш перспективним на сьогодні напрямком забезпечення повітрообміну та боротьби зі шкідливостями на відкритих кар'єрах. Розроблені водяні гармати дозволяють знизити концентрацію шкідливих речовин у кар'єрі. Через 36 хв після пострілу великої гармати дальністю польоту струменя 200 м і об'ємом води за цикл 1000 дм^3 відносна вологість повітря у всьому повітряному просторі нижче рівня гармати досягне 100 %. Для малої гармати дальністю польоту струменя 100 м і об'ємом води за цикл 200 дм^3 цей час становить 60 хв. При цьому температура встановиться постійна, і стратифікація стане байдужою. Створюються умови для відновлення повітрообміну. Також дрібнодисперсне розпилювання води є ефективним засобом пилоподавлення. При цьому режим роботи гармат має бути повторно-короткочасним до встановлення концентрації пилу на заданому рівні нижче гранично-допустимої.

Перспективи подальших досліджень. Одним із перспективних шляхів вирішення питань нормалізації атмосфери робочих зон глибоких кар'єрів є використання дрібнодисперсного аерозолю в якості тепло- і масообмінного реагенту для штучного процесу вентиляції застійних зон. На наш погляд, це може позитивно вплинути на якість повітряного середовища на робочих місцях на нижніх горизонтах глибоких кар'єрів.

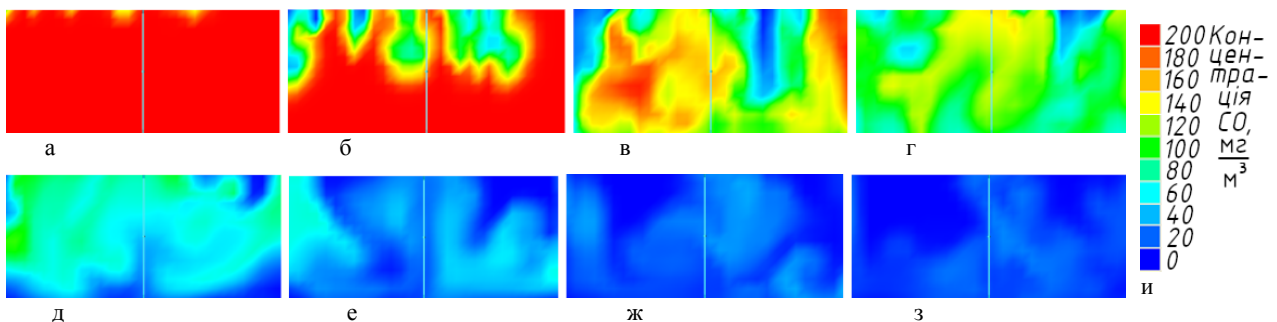


Рис. 2. Розподіл концентрації CO під водоповітряних шаром залежно від часу для великої гармати: а – 5 хв; б – 10 хв; в – 15 хв; г – 20 хв; д – 25 хв; е – 30 хв; ж – 35 хв; з – 40 хв; и – палітра

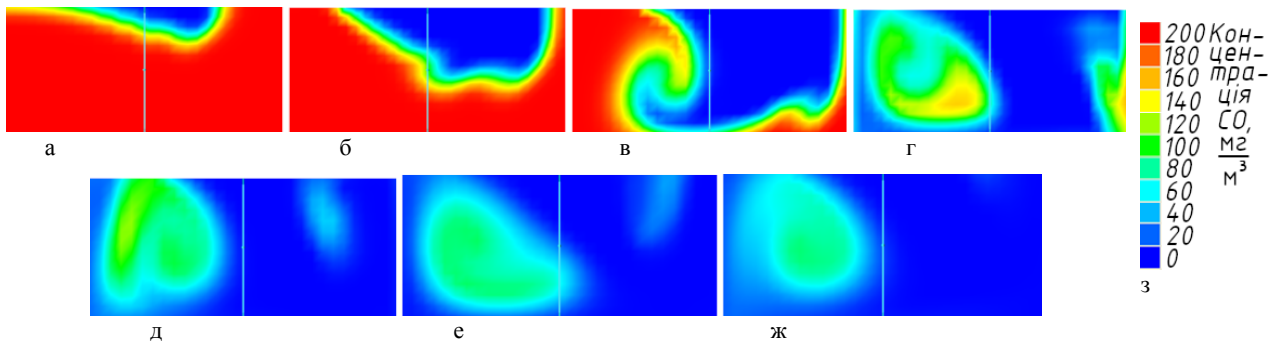


Рис. 3. Розподіл концентрації CO під водоповітряним шаром залежно від часу для малої гармати:
а – 5 хв; б – 10 хв; в – 15 хв; г – 20 хв; д – 25 хв; е – 30 хв; ж – 35 хв; з – палітра

Література

1. Абрамов Ф. А. К вопросу о проветривании глубоких карьеров / Ф. А. Абрамов // Материалы межобластной научно-технической конференции по открытой разработке месторождений Украины. – ДГИ. – Днепропетровск, 1957.
2. Конорев М. М. Искусственная вентиляция и пылегазоподавление в атмосфере карьеров: дис. ... докт. техн. наук.: 05.26.01 : защищ. 1999 / Конорев, Михаил Максимович; Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, 1999. – 364 с.
3. Коркин Ю. М. Создание и применение карьерных вентиляторных установок типа УМП / Ю. М. Коркин и др. // Горный журнал. – 1984. – № 11. – С. 43-45.
4. Филатов С. С. Конструктивные особенности и технико-экономические показатели карьерного вентилятора-оросителя НК-12КВ-1М / С. С. Филатов, М. М. Конорев, Г. Ф. Нестеренко и др. // Горный журнал. – 1981. – № 6. – С. 43 - 46.
5. Конорев М. М. Система вентиляции и всесезонного пылегазоподавления / М. М. Конорев и др. // Горный журнал. – 1990. – № 7. – С. 47-49.
6. Сытенков В.Н. О целесообразности искусственного проветривания глубоких карьеров / В.Н. Сытенков // Горный журнал. – 2003. – №8. – С. 89-93.
7. Пат. РФ № 2162944. Способ вентиляции рудника / С.Н. Кузьмин, И.В. Бригадин; БИПМ № 4, 2001.
8. Пат. РФ № 2319837. Способ вентиляции карьера / С.Н. Кузьмин, И.М. Фадин; БИПМ № 20, 2008.
9. Бригадин И.В. Экспериментальное и теоретическое обоснование возможности вентиляции глубокого карьера каскадным взрывом ТВС / И.В. Бригадин, М.А. Затевахин, С.Н. Кузьмин // Физические проблемы разрушения горных пород. – Институт проблем комплексного освоения недр РАН. – 2005. – С. 267-270.
10. Битколов Н.Э. Аэрология карьеров / Н.Э. Битколов, И.И. Медведев. – Москва: Недра, 1992. – 302 с.
11. Кузьмин С.Н. Технология импульсного струйного проветривания глубоких карьеров. / С.Н. Кузьмин // Технично-технологические проблемы сервиса. – №2 (8). – 2009. – С. 60-61.
12. Козырев С.А. Пути нормализации атмосферы глубоких карьеров / С.А. Козырев, П.В. Амосов // Вестник МГТУ. – Т. 17. – № 2. – 2014. – С. 231-237
13. Вассерман А.Д. Эффективно ли решается проблема оздоровления атмосферы глубоких карьеров / А.Д. Вассерман // Горный журнал. – 1989. – № 11. – С. 49-51.
14. Вассерман А.Д., Козырев С.А. Научные основы создания и поддержания безопасного состояния воздушной среды при обработке месторождений полезных ископаемых / А.Д. Вассерман, С.А. Козырев // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. Апатиты. – КНЦ РАН. – 2005. – С. 144-149.
15. Нестеренко Г.Ф. Управление аэрогазодинамическими и тепломассообменными процессами при нормализации атмосферы карьеров: автореф. дис. ... докт. техн. наук.: 25.00.20 / Нестеренко Г.Ф. ; Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук. – Пермь, 2008. – 47 с.
16. Анисимов В.Н. Пылегазоподавление при крупномасштабных массовых взрывах на карьерах с помощью тонкодисперсных водяных завес. / В.Н. Анисимов, В.А. Белин, Дугарцыренов А.В. // Горный журнал. – 2007. – №12. – С. 101-103.
17. Наливайко В.Г. Расчет эффективности пылеподавления мелкодисперсным дождеванием после массовых взрывов в карьерах / В.Г. Наливайко // Борьба с опасными и вредными производственными факторами на горнорудных предприятиях. – Москва: Наука, 1988. – С. 45-52.
18. Бересневич П.В. Способ борьбы с загрязнением атмосфера продуктами взрывов / П.В. Бересневич, В.Г. Наливайко, В.В. Ежов и др. // Безопасность труда в промышленности. – 1988. – № 5. – С. 44-19.
19. Наливайко В.Г. Оценка влияния массовых взрывов в карьерах на состояние атмосферы и обоснование способа пылеподавления мелкодисперсным орошением: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 11.00.11 / Наливайко В.Г. ; Институт проблем комплексного освоения недр. – Москва, 1989. – 19 с.

20. Заключительный отчет «Разработка способов и средств по нормализации атмосферы рабочих зон карьера ПАО «ИНГОК» в связи с продвижением горных работ в северном направлении». – НИГРИ ГВУЗ "КНУ" Договор № 2079-34 от 12.03.2012 г. – Кривой Рог, 2012. – 159 с.21.

21. Гладырь В.В. Управление газодинамическими процессами в атмосфере Первомайского и Анновского карьеров ОАО «Северный ГОК» / В. В. Гладырь, В. М. Куроченко // Разработка рудных месторождений. – 2011. – Т. 94. – С. 157-161.

22. Конорев М.М. Оценка влияния температурной стратификации пылегазового облака (ПГО) и атмосферы на процесс его подъема и рассеяния / М.М. Конорев // Проблемы безопасности и совершенствования горных работ (Мельниковские чтения): Тез. докл. междунар. конф. Москва-С-Пб.-Пермь, 1999. – С. 102-104.

References

1. Abramov F. A. *K voprosu o provetrivanii glubokikh karerov. Materialy mezhoblastnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii po otkrytoy razrabotke mestorozhdenij Ukrainy*. DGI, 1957.

2. Konorev M. M. *Iskusstvennaia ventilatsiia i pylegazopodavlenie v atmosfere karerov*. Diss. Institut gornogo dela Uralskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 1999.

3. Korkin Yu. M. i dr. "Sozdanie i primeneniie karernykh ventilatornykh ustanovok tipa UMP". *Gornyi zhurnal*. 1984. № 11. P. 43-45.

4. Filatov S. S., Konorev M. M., Nesterenko G. F. et al. "Konstruktivnye osobennosti i tehniko-ekonomicheskie pokazateli karernogo ventilatora-orositelia NK-12KV-1M". *Gornyi zhurnal*. 1981. No 6. P. 43-46.

5. Konorev M. M. et al. "Sistema ventilatsii i vsezonnoogo pylegazopodavleniia". *Gornyi zhurnal*. 1990. No 7. P. 47-49.

6. Vasserman A.D. "Effektivno li reshaetsia problema ozdorovleniia atmosfery glubokikh karerov". *Gornyi zhurnal*. 1989. № 11. P. 49-51.

7. Vasserman A.D., Kozyrev S.A. "Nauchnye osnovy sozdaniia i podderzhaniia bezopasnogo sostoiianiia vozduшной srede pri otrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh". *Formirovanie osnov sovremennoj strategii prirodopol'zovaniia v Evro-Arkticheskom regione. Apatity*. KNC RAN. 2005. P. 144-149.

8. Sytenkov V.N. "O tselesoobraznosti iskusstvennogo provetrivaniia glubokikh karerov". *Gornyi zhurnal*. 2003. №8. P. 89-93.

9. Kuzmin S.N., Brigadin I.V. "Sposob ventilatsii rudnika." Patent RF № 2162944, BIPM № 4, 2001.

10. Kuzmin S.N. Fadin I.M. "Sposob ventilatsii ka'era." Patent RF № 2319837, BIPM № 20, 2008.

11. Brigadin I.V., Zatevahin M.A., Kuzmin S.N. "Eksperimentalnoe i teoreticheskoe obosnovanie vozmozhnosti ventilatsii glubokogo karera kaskadnym vzryvom TVS". *Fizicheskie problemy razrusheniia gornyh porod*. Institut problem kompleksnogo osvoeniia neдр RAN. 2005. P. 267-270.

12. Bitkolov N.Je., Medvedev I.I. *Aerologiiia karerov*. Nedra, 1992.

13. Kuz'min S.N. "Tekhnologiiia impulsnogo struinogo provetrivaniia glubokikh karerov". *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa*. №2 (8) 2009. P. 60-61.

14. Kozyrev S.A., Amosov P.V. "Puti normalizatsii atmosfery glubokikh karerov". *Vestnik MGTU*. T. 17. № 2. 2014. P. 231-237.

15. Nesterenko G.F. *Upravlenie aerogazodinamicheskimi i teplomassoobmennymi processami pri normalizatsii atmosfery karerov*. Diss. abstract. Institut gornogo dela Uralskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2008.

16. Anisimov V.N., Belin V.A., Dugarcyrenov A.V. "Pylegazopodavlenie pri krupnomasshtabnykh massovykh vzryvakh na karerakh s pomoshchu tonkodispersnykh vodjainykh zaves". *Gornyi zhurnal*. 2007. №12. P. 101-103.

17. Nalivaiko V.G. "Raschet effektivnosti pylepodavleniia melkodispersnym dozhdevaniem posle massovykh vzryvov v karerakh". *Borba s opasnymi i vrednymi proizvodstvennymi faktorami na gornorudnyh predpriiatijah*. Nauka, 1988. P. 45-52.

18. Beresnevich P.V., Nalivaiko V.G., Ezhov V.V. i dr. "Sposob borby s zagriazneniem atmosfery produktami vzryvov". *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 1988. № 5. P. 44-19.

19. Nalivaiko V.G. *Ocenka vliianiia massovykh vzryvov v karerakh na sostoianie atmosfery i obosnovanie sposoba pylepodavleniia melkodispersnym orosheniem*. Institut problem kompleksnogo osvoeniia neдр, 1989.

20. *Zakljuchitel'nyj otchet «Razrabotka sposobov i sredstv po normalizatsii atmosfery rabochih zon kar'era PАО «INGOK» v svjazi s prodvizheniem gornyh работ v severnom napravlenii»*. NIGRI GVUZ "КНУ" Договор № 2079-34 от 12.03.2012. Krivoj Rog, 2012.

21. Gladyr V. V., Kurochenko V. M. "Upravlenie gazodinamicheskimi processami v atmosfere Первомайского и Анновского кар'еров ОАО «Северный ГОК»". *Razrabotka rudnykh mestorozhdenij*. 2011. V. 94. P. 157-161.

22. Конорев М.М. "Ocenka vliianiia temperaturnoi stratifikatsii pylegazovogo oblaka (PGO) i atmosfery na процесс ego podioma i rasseianiia". *Problemy bezopasnosti i sovershenstvovaniia gornyh работ (Mel'nikovskie chteniia): Tез. dokl. mezhdunar.onf*. Mooskva-S-Pb.-Perm, 1999. P. 102-104.

УДК (622.807:622.235.3)

Разработка эффективных способов и средств нормализации атмосферы рабочих зон карьеров

В. Г. Наливайко¹, В. А. Коновалюк²

¹к.т.н., Криворожский национальный университет, г. Кривой Рог, Украина vadim.moris@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4452-6111

²к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина,
viktoria.konovalyuk@gmail.com ORCID: 0000-0001-5115-7188

Аннотация. В результате натурных исследований состояния воздушной среды действующих карьеров получены зависимости изменения концентрации оксида углерода с увеличением глубины карьера. Установлен недостаточный воздухообмен с окружающей средой во время штудий и температурной инверсии. Расчётно-аналитическими и экспериментальными исследованиями установлено, что для интенсификации воздухообмена в глубоком карьере целесообразны установки импульсного орошения с помощью мелкодисперсного аэрозоля. Для улучшения условий труда была разработана установка импульсного мелкодисперсного орошения УИМО (водяная пушка). При её выстреле вода распыляется в горизонтальном направлении. Исследовалась эффективность работы установок с различными характеристиками: большая пушка (дальность полёта струи – 200 м, объём воды, выбрасываемый за цикл, – 1000 дм³) и малая пушка (дальность полёта струи – 100 м, объём воды выбрасываемый за цикл – 200 дм³). Результаты эксперимента показывают, что для проветривания и очистки воздуха в запыленном объёме атмосферы нижних горизонтов глубоких карьеров большую эффективность имеет применение большой пушки. Количество установок выбирается из условия необходимости оросительной воды для эффективного проветривания застойной зоны или из условий интенсивности пыли- и газовой выделения на этом участке. Установка УИМО в период между взрывами и интенсификацией воздухообмена в карьере может быть использована для борьбы с пылью, витающей в атмосфере карьера, и на прилегающей территории. Особенно это касается узлов концентрации горного и транспортного оборудования на горизонтах карьера (перегрузочные площадки, застойные зоны в тупиковых забоях, при проходке траншей и т.д.). Применение установок УИМО позволит выполнять внутрикарьерные технологические работы на глубине более 500 м с применением автотранспортной доставки руды на перегрузочные пункты циклично-поточной технологии.

Ключевые слова: проветривание, загазованность, атмосфера карьера, ветровой поток, импульсная установка.

UDC (622.807:622.235.3)

Development of effective methods and means of normalizing the atmosphere of working zones of open-cast mines

V. Nalyvaiko¹, V. Konovaliuk²

¹PhD, associate professor. Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, vtdengub@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4452-6111

²PhD, associate professor. National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.
viktoria.konovalyuk@gmail.com ORCID: 0000-0001-5115-7188

Abstract. The search for technical solutions for effective air exchange in the space of deep open-cast mines. Since intensive air exchange is necessary to remove and disperse harmful impurities from the open-cast mines, improvement can be achieved mainly by intensifying natural air exchange based on phase transformations of liquids in the lower atmosphere of the working zones of the open-cast mines by creating a positive or negative temperature gradient. New technical solutions are considered that provide support for the sanitary-hygienic parameters of the atmosphere of the deep open-cast mines at the normative level. The formation of an ascending gas stream by a cascade explosion of a fuel-air mixture has the greatest efficiency. The proposed method allows for the implementation of a pulsed ventilation mode with a power of the outgoing air flow of more than 1010 W with a blasting fuel mass of 30 tons. It has been established by analytical and experimental studies that it is advisable to use pulsed fine irrigation systems to intensify air exchange in a deep open-cast mines, using the double effect, ventilating gaseous working zones and cleaning them from harmful substances with the help of a fine aerosol freely floating in space. It is also advisable to use such facilities to reduce peak loads on emissions of harmful substances from the open-cast mines into the environment and to normalize the composition of the atmosphere of the deep open-cast mines. Significant peak emissions of harmful impurities in open-cast mines include mass explosions and situations involving the creation of internal inversion zones. In a computational experiment, there are two water guns: big gun (the water jet range is 200 m, water volume per one cycle is 1000 dm³) and small gun (the water jet range is 100 m, water volume per one cycle is 200 dm³). The results of the experiment indicate greater efficiency in the use of a large water gun for airing the lower horizons of the deep open-cast mines. The use of pulsed fine irrigation systems will allow for carrying out internal technological work at a depth of more than 500 meters using a motorized ore delivery system to transfer points of cyclic-flow technology.

Keywords: ventilation, gas contamination, open pit atmosphere, wind flow, impulse installation.

Надійшла до редакції / Received 25.06.2020