

УДК 622.271:502.36

*М.І. Просандєєв,
Л.М. Козлова***ОСНОВНІ ШЛЯХИ АДАПТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ
ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ ДО ВИМОГ
СТАЛОГО РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА***Інститут проблем природокористування та екології НАН України,
Дніпропетровськ*

Визначені основні шляхи адаптації існуючих технологій відкритих гірничих робіт до вимог сталого розвитку суспільства, що дозволить значно зменшити їх негативний вплив на оточуюче природне середовище, покращити його стан та створити умови до прискореного самовідновлення і розвитку порушених екосистем.

Определены основные пути адаптации существующих технологий открытых горных работ к требованиям устойчивого развития общества, что позволит значительно уменьшить их негативное влияние на окружающую природную среду, улучшить ее состояние и создать условия для ускоренного самовосстановления и развития нарушенных экосистем.

Постановка проблеми

У теперішній час найбільше застосовування для розробки родовищ корисних копалин отримав відкритий спосіб внаслідок забезпечення великої продуктивності праці, сучасного рівня механізації гірничих робіт та високих техніко-економічних показників. Проте він також має найбільший негативний вплив на оточуюче природне середовище, що суперечить вимогам сталого розвитку суспільства на перспективу. Дотепер темпи науково-технічного прогресу в світі перевищували темпи погіршення гірничо-геологічних умов розробки родовищ корисних копалин. В результаті питомі витрати на видобуток і переробку мінеральної сировини за останнє сторіччя знижувалися у середньому на 0,8% за рік, але в останнє десятиріччя вони скоротилися до 0,15% за рік. З

урахуванням експонентної форми залежності темпи зниження витрат у майбутньому будуть продовжувати сповільнюватися. Чим нижче буде вихідний вміст цінного компоненту в руді і гірші умови розробки, тим складніше і дорожче буде створювати нові технології розробки корисних копалин. Як показав аналіз наукових праць на найближчу перспективу в гірничодобувній галузі будуть застосовуватись існуючі технології розробки корисних копалин, які характеризуються великою ресурсоемністю, відходністю та значним негативним впливом на навколишнє середовище. Оскільки Україна свій подальший розвиток пов'язує з умовами сталого розвитку, то нині існуючі технології розробки корисних копалин необхідно адаптувати до його вимог.

Аналіз досліджень з вирішення даної проблеми та постановка завдання

Визначенню впливу відкритих гірничих робіт на навколишнє природне середовище присвячені дослідження таких вчених як В.В.Ржевський, К.М. Трубецький, Н.Н. Мельников, А.Г. Шапар, Ю.І. Аністратов, В.І. Папічев, Т.Т. Ісмаїлов, Ю.О. Славинська, А.М. Михайлов, В.І. Мосинець, Е.П. Дороненко, Т.І. Долгова та багатьох інших. Існуючі оцінки впливу відкритих гірничих робіт на навколишнє середовище можливо поділити на дві великі групи: економічні та ресурсні. Економічні критерії ґрунтуються,

в основному, на врахуванні збитку, нанесеному навколишньому середовищу, а ресурсні – на кількості відходів виробництва та обсягів споживання природних ресурсів, які припадають на одиницю виробленої продукції. Застосовується також бальна оцінка забруднення районів, які прилягають до місць розробки корисних копалин. Різноманіття підходів до оцінки впливу відкритих гірничих робіт на навколишнє середовище свідчить про складність її розробки, оскільки вона повинна враховувати велику кількість чинників, які впливають на неї. Достовірною оцінкою впливу різних чинників на стан

© **Просандєєв М.І.,
Козлова Л.М., 2011**

навколишнього середовища, дозволить ранжирувати їх за ступенем та масштабом негативного впливу і вірно обрати шляхи для його зменшення, чого вимагає сталий розвиток.

Постановка завдання полягає у визначенні основних шляхів адаптації технологій відкритих гірничих робіт до вимог сталого розвитку суспільства.

Основний матеріал

Сталий розвиток суспільства висуває наступні вимоги [1, 2]: рівні права на природні ресурси як теперішніх, так і прийдешніх поколінь; вилучення ресурсів з навколишнього середовища і повернення в нього відходів виробництва узгоджується з можливостями природи до самовідновлення; екологічні пріоритети панують над економічними; стратегія сталого розвитку повинна стати справою не тільки міжнародної спільноти чи окремої країни, а й кожної людини.

Наведені вимоги сталого розвитку суспільства потребують реалізації цілісної сукупності наступних основних принципів адаптації технологій відкритих гірничих робіт з на-

вколишнім середовищем: мінімальні ресурсоспоживання, відходність та негативний вплив на навколишнє середовище, максимальні ресурсозбереження, використання вилучених природних ресурсів та відходів виробництва. Реалізація цілісної сукупності вказаних принципів найбільше сприятиме самовідновленню навколишнього середовища. Схема до методології адаптації технологій відкритого видобутку корисних копалин до навколишнього середовища за вимогами сталого розвитку суспільства наведена на рисунку 1. Розглянемо основні шляхи реалізації головних принципів адаптації технологій відкритих гірничих робіт до вимог сталого розвитку.

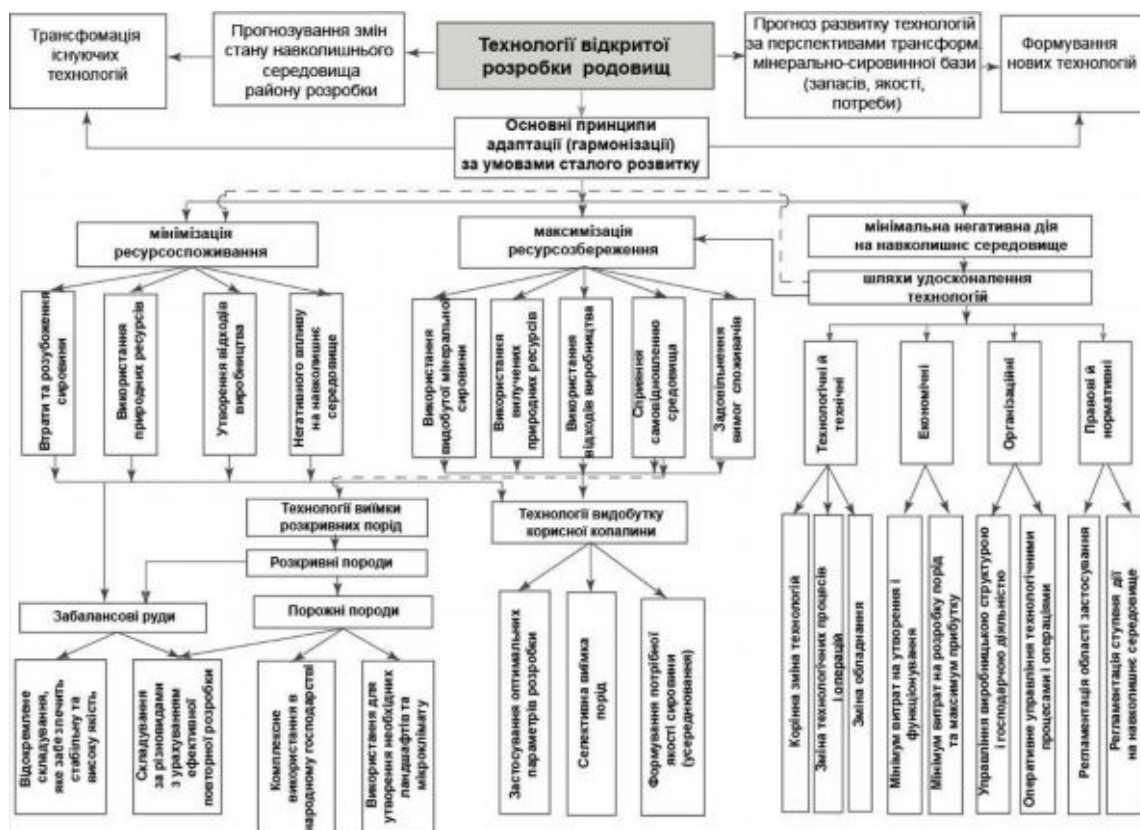


Рисунок 1 – Схема до методології адаптації технологій відкритого видобутку корисних копалин з навколишнім середовищем за вимогами сталого розвитку

Адаптація технологій відкритих гірничих робіт до вимог сталого розвитку повинна виконуватись для окремих операцій технологічних процесів, для технологічних проце-

сів і технологій в цілому та техногенних об'єктів гірничого виробництва. Розглянемо дане положення на прикладі зниження негативного впливу на навколишнє середовище

технологічних процесів відкритих гірничих робіт.

Відкрита розробка скельних гірничих порід розпочинається з технологічного процесу буріння гірського масиву і проходки свердловин. Аналіз способів пилопригнічення показує, що для найбільш поширених механічних способів буріння (шарошечного і ударно-обертального) широке застосування отримали сухе пиловловлювання, повітряно-водне та повітряно-емульсійне пилопригнічення.

Сухе пилопригнічення забезпечується створенням над гирлом свердловини герметичного шламоприймача, який має відносно великий внутрішній об'єм, що знижує швидкість руху аерозолі і сприяє випаданню крупних частинок бурового шламу. У шламоприймальній камері осідає 70-90% загального об'єму продуктів бурового руйнування [3]. Частину залишеного бурового пилу пропонується уловлювати за двоступінчатою схемою: свердловина – шламоприймальна камера – циклон з вентилятором. Проте, дана система не забезпечує необхідного ступеня очищення повітря – його запилення на виході з вентилятора складає 8-15 мг/м³, а в 10 м від верстата (за вітром) – до 56 мг/м³ і в кабіні машиніста – 0,9-14 мг/м³, тобто істотно перевищує ГДК [3].

Системи сухого пиловловлювання можуть бути використані тільки для попереднього очищення повітря від пилу фракцій до 10 мкм. Застосування тканинних фільтрів для уловлювання пилу даної фракції нераціонально у зв'язку із значним збільшенням площі поверхні, що робить їх громіздкими і важко розміщуємими на верстатах. Проте використання тканинних фільтрів для осадження середніх і дрібних пилових частинок підвищує ККД систем сухого пиловловлювання до 99,6% і забезпечує зниження запилення повітря до санітарних норм.

Пилопригнічення повітряно-водною сумішшю зменшує кількість виділяемого пилу в 30-50 разів. Проте, використання води для скріплення пилу має ряд істотних негативних сторін. Так, дану суміш доцільно застосовувати тільки для цементуемого бурового шламу, оскільки відсутність даної властивості після висихання шламу призводить до його інтенсивного здування поривами вітру або рухом транспорту. Мокре пилопригнічення знижує техніко-економічні показники

найбільш поширеного шарошечного буріння внаслідок зростання опору відриву частинок бурового шламу від забою свердловини, уповільнення їх транспортування до стінок свердловини і по затрубному простору внаслідок великої в'язкості водно-повітряного середовища в порівнянні з повітряним. Це створює вторинне переподібнення бурового шламу на забої свердловини, викликає підвищений знос шарошок і зменшує швидкість буріння на 10-15% [4]. Стійкість шарошечних доліт при переході від повітря на водно-повітряну суміш знижується в 2-3 рази. Захист шарошечних доліт від даного фактору спрямований, перш за все, на запобігання проникнення пилу в їх опори або регулювання місця подачі води: вище свердловинного забою за долотом або поблизу гирла свердловини на денній поверхні.

Для усунення деяких недоліків водно-повітряного продування свердловин для їх очищення використовується повітряно-емульсійна суміш. Повітряно-емульсійна суміш утворюється додаванням 0,3-0,5% масла за об'ємом до водно-повітряної суміші. Повітряно-емульсійна суміш в 1,6-3 рази зменшує пиловиділення в порівнянні з водно-повітряною сумішшю. Крім того, при цьому збільшується зносостійкість шарошечних доліт і пневмоударників, підвищується на 10-12% швидкість буріння, а у витаючих частинках пилу вміст вільного двоокису кремнію зменшується в 2,0-2,5 рази. Широкий діапазон варіювання величини зниження кількості пиловиділення обумовлений особливостями фізико-механічних властивостей і гідрологічними умовами залягання буримих порід, станом використовуемого устаткування та застосуванням різних типів бурових коронок. Ефективність пиловловлювання обумовлюється відповідністю застосовуемого для даних цілей устаткування гранулометричному складу утворюемого бурового пилу.

Залежно від розмірів частинок буровий шлам розділяють на буровий дріб'язок – частинки з розмірами більше 500 мкм і буровий пил – частинки розміром менше 500 мкм. Оскільки буровий дріб'язок добре осаджується гравітаційними методами вже на першій стадії знепилювання (близько 90% пилу випадає з аерозолі у гирла свердловини під шламоприймачем), основний інтерес для пиловловлювання представляє буровий

пил, який залежно від класу крупності має свої засоби пиловловлювання [3]:

- клас крупності 100-500 мкм – легко випадає із повітряного потоку і добре уловлюється камерами і циклонами (60-80%);

- клас крупності 10-100 мкм – дрібний пил, що осідає в спокійному середовищі і утримується в неспокійному повітрі, уловлюється батарейними циклонами, мокрими пиловловлювачами, фільтрами (80-90%);

- клас крупності 0,1-10 мкм – пил, який важко осідає навіть в спокійному середовищі і уловлюється рукавними і електрофільтрами, мокрими пиловловлювачами (90-95%);

- клас крупності 0,1-0,008 мкм – дуже тонкий пил, який знаходиться в броунівському русі, не осідає в звичайних умовах і уловлюється за допомогою коагуляції (98-99%).

Крім того, при сухому пиловловлюванні для виключення викидів пилу з даної системи, застосовується спеціальний підсос чистого повітря в об'ємі 80-100% від обсягу, що подається на очищення забою від бурового шламу. Це дозволяє зменшити концентрацію дисперсної фази на виході з відсмоктуючої системи до 0,05-0,450 кг/м³ при шарошечному бурінні і термічному – до 0,01 кг/м³, 0,02 кг/м³ – при розбурюванні (створенні котельної порожнини) і до 0,17 кг/м³ – при продуванні свердловини від бурового шламу [3].

Більш низьке значення запиленості повітряного середовища у верстатів термічного буріння пов'язане із зростанням газоподібної складової за рахунок додавання до стислого повітря від компресора продуктів згорання і парів охолоджуємої води.

Одним з основних чинників впливу на ефективність пилопригнічення при термічному бурінні є спосіб охолодження пального термобуру. Дослідженнями ВДІБПГ встановлено, що при водному охолодженні пального зі свердловини виносяться частинки шламу в 5 разів більше, ніж при повітряному, а пилу – в 8-240 разів менше.

Крім пиловиділення термічні верстати викидають в атмосферу отруйні гази. Для боротьби з ними застосовується оптимальний підбір співвідношення і витрати компонентів горючої суміші, використання ефективніших способів спалювання палива, розрідження отруйних газів, застосування нейтралізаторів і так далі. Значне зниження оксиду вуглецю, альдегідів і окислу азоту від-

бувається при коефіцієнті надлишку окислювача більше 1,3. Зниження викидів шкідливих газів може бути досягнуте також шляхом удосконалення форсунок для більш тонкого розпилювання пального та вибором оптимальних параметрів камери згорання.

Одним з напрямів зменшення шкідливого газовиділення є його нейтралізація: подача нейтралізуючих речовин разом з охолоджуючою водою або паливом в зону роботи пального, застосування нейтралізаторів, використання водопаливних емульсій. Так, дослідженнями ВДІБПГ встановлено, що при вмісті 8% води в паливі, кількість оксиду вуглецю у виділяємих газах знижується до 60%, а альдегідів і діоксидів азоту – до 100%.

Буріння свердловин нерозривно пов'язане з виробництвом вибухових робіт для розпушення скельних порід, які підлягають розробці відкритим способом. Масові вибухи в кар'єрах є потужним джерелом пилогазовиділення – 200-600 т пилу/рік, 6,0-8,0 тис. м³ шкідливих газів за вибух. Миттєвий викид такої кількості шкідливих речовин вимагає контролю за станом зміни їх концентрацій в атмосфері, переміщенням, розсіюванням, нейтралізацією і можливістю управління деякими процесами. Управління складом атмосфери кар'єру при вибухах необхідно виконувати шляхом застосування способів і засобів боротьби зі шкідливими викидами, які повинні здійснюватися на етапах підготовки до вибуху, під час його проведення і після його виконання. Заходи щодо впливу на атмосферу кар'єрів при вибухах включають: технологічні, інженерно-технічні і організаційні [5].

Одним з основних технологічних чинників, що забезпечують значне зниження виділення шкідливих газів при вибуху (у 2-9 разів), є застосування для руйнування порід вибухових речовин (ВР) з нульовим або близьким до нього кисневим балансом.

Дана проблема може бути вирішена двома найбільш перспективними шляхами: широке застосування емульсійних вибухових речовин (ЕВР) (наприклад, україніт-ПМ, грануліт – НМПМ, емульхім, пауергель), а також модернізованих ВР, тих що ллюються гарячими, типу ГЛТ-15ГУ, з іншого - використання ВР найпростішого складу (ігданіт і ВД-5, ПВС-1У).

ЕВР вважаються самими «екологічно чистими» за викидами шкідливих газів і мають

наступні переваги: високу водостійкість і щільність, низьку чутливість до механічних і теплових впливів, високу безпечність при виготовленні та використанні, низьку газову шкідливість при проведенні підривних робіт, можуть використовуватися для заряджання як сухих так і обводнених свердловин. Виготовлення емульсійної вибухової речовини здійснюється безпосередньо на місці майбутнього вибуху: компоненти змішуються у спеціальних пристроях і по черзі заливаються у свердловину, що підвищує безпеку робіт. Емульсійні ВР неігроскопічні, не вимиваються з обводнених свердловин і тому мінімально забруднюють поверхневі та підземні води. Кисневий баланс вибухової суміші легко регулюється при виробництві, тому обсяг викидів шкідливих речовин можна звести до мінімуму. Шляхом підбору компонентів регулюються також фугасність та бризантність суміші, яка необхідна для конкретної міцності породи. Компоненти ЕВР не є вибуховими речовинами. Вартість емульсійних ВР, в залежності від обсягу виробництва, складає 250-280\$ за тону при середній вартості застосовуваних у Кривбасі ВР 490\$ за тону.

Промислове застосування ЕВР свідчить, що україніт-ПМ є у 1,4-1,5 разу потужнішим ніж грамоніт та акватол і може використовуватися як в сухих, так і в обводнених скельних породах найвищої міцності. Окрім того, україніт-ПМ має у своєму складі понад 14% води, що у перерахунку на 1,0 м³ гірської маси (з урахуванням продуктів вибуху) складає 0,62 кг/м³. При такій концентрації води вміст пилу і шкідливих газів у хмарі в порівнянні з іншими ВР (грамонітом 79/21, 50/50; гранулотолом; ГЛТ-20) за однакових умов знижується на 50%, а час її розсіювання у 2-3 рази менше, ніж при використанні акватолу Т-20ГТ. Окрім того, застосування емульсійних вибухових речовин також дозволило зменшити сейсмічний вплив масових вибухів на промислові і цивільні будівлі. Широке застосування даних ЕВР на практиці в Україні обмежено відсутністю передових технологій їх виробництва і цілком незалежних від закордонних поставок сировини або обладнання.

Екологічно чистими вважаються і ВР найпростішого складу, зокрема, ПВС-1У, ігданіт ІВД-5 і грануліт Д-5, які все ширше застосовуються замість тротиловміщуючих

вибухових матеріалів. До очевидних переваг найпростіших ВР відносяться: дешевизна, відсутність у складі високотоксичних речовин, можливість виготовлення на місцях застосування, внаслідок чого відпадає необхідність транспортувати шляхами загальногo користування вибухонебезпечні вантажі, а також є необхідне устаткування для їх виготовлення і тому на даному етапі вони мають пріоритет у застосуванні перед ЕВР. Проте проблема застосування ВР найпростішого складу у обводнених породах вирішується складно і поки що знаходиться на стадії пошуку і випробувань (осушення свердловин перед заряджанням ВР у поліетилєнові рукава, пневмозаряджання ВР у рукава та ін.). Тому більш виправданим і ефективним у теперішній час є їх використання у сухих породах. Застосування ВР найпростішого складу веде також до зниження обсягів пилових викидів, що підтверджено розрахунками і практикою ведення вибухових робіт в умовах кар'єрів нерудної промисловості. Нарощування обсягів використання найпростіших ВР обумовлене зменшенням у 1,5-2 рази витрат на придбання вибухових речовин. Використання у складі найпростіших ВР масових промислових відходів значно знижує їх вартість. Так, 1 т грануліту-НМ у 1,5 разу дешевше грануліту-А6 і у 2 рази - грамоніту 79/21. Впровадження найпростіших ВР у практику підривних робіт на Навоївському гірничо-металургійному комбінаті для дотримання вимог охорони навколишнього середовища від негативного впливу шкідливих газів та пилу, забезпечило також значний економічний ефект.

У той же час завдання вибору раціонального асортименту ВР для різних умов може бути вирішене тільки при визначенні фізико-технічних параметрів, які найбільше впливають на формування і розповсюдження пилогазової хмари, що утворюється у разі масового вибуху. Розрахунки, виконані В.Н. Ситенковим [6], показують, що з практичної точки зору перевагу слід надавати таким типам ВР, які характеризуються більш високою щільністю заряджання свердловин при меншій теплоті вибуху і найбільшій кількості пари води у продуктах детонації. Тому для кожного кар'єру треба визначити раціональний асортимент ВР, застосування якого забезпечує не тільки певні техніко-економічні показники подрібнення масиву і

виділення найменшої кількості отруйних газів, але й обумовлює мінімізацію зони розповсюдження пилу та газу у навколишньому середовищі.

Зменшення шкідливих газів (більш ніж в 2 рази – за даними Північнокавказького гірничо-металургійного інституту), що викидаються при вибуху, можливе також шляхом додавання у ВР заліза спільно з водяною забійкою. У разі підривання ВР з добавкою 10% Fe_2O_3 кількість оксиду вуглецю зменшується на 31%. При підриві обводнених свердловин заміна гранулолиту на насичений водою грамоніт 79/21 дозволяє в 2-12 разів скоротити кількість газів, що утворюються.

Іншим напрямом підривання обводнених свердловин є використання в них неводостійких ВР, розміщених в поліетиленових рукавах, що дозволяє скоротити об'єм газів, що викидаються, в 8-10 разів.

Значне зниження пило-газових викидів спостерігається при підриванні уступів в затиснутому середовищі (на неприбрану гірську масу – підпірну стінку). Ширина підпірної стінки повинна бути не менше 20-30 м, її використання дозволяє через 2-3 години після вибуху досягти нормативних значень концентрації шкідливостей на майданчику.

Підривання високих уступів (від 30 м і більше) сприяє зменшенню в 1,25 разу висоти підйому пилогазової хмари і утворенню оксидів азоту, а у затиснутому середовищі – знижує пилогазовиділення в 2 рази.

Мінімізація обсягів блоків, які підриваються, у країнах СНД застосовується переважно на кар'єрах будівельних матеріалів, а у дальньому закордонні - практично на усіх кар'єрах з продуктивністю по гірській масі до 15 млн м^3 /рік. При цьому у кожному екскаваторному вибої (їх не більше 3-4) технологічний цикл "буріння-підривання-екскавація" здійснюється впродовж відносно короткого проміжку часу (1-3 доби). Мінімізація обсягу блоку, який підривається, неможлива без забезпечення високої дисципліни праці, оскільки процеси технологічного циклу повинні виконуватися у жорстко регламентованому режимі і масові вибухи здійснюються у кожному екскаваторному вибої один раз на добу. Зазначений режим достатньо чітко був реалізований у кар'єрах Am Platz та Venetia (ПАР). Мінімізація обсягів підриваних блоків дає можливість практи-

чно повністю припинити залпові викиди пилу та газів до навколишнього середовища з осадженням пилогазової хмари у межах кар'єрного простору або (крайній випадок) санітарно-захисної зони. Розрахунки, виконані Зберовським А.В. у роботі [7], свідчать, що обсяг пилогазової хмари при проведенні підриваних робіт малою кількістю ВР зменшується у десятки разів, а викиди пилу і газів до навколишнього середовища - у 1,5 - 3,0 рази.

Принципове значення при цьому має обґрунтування розміру блоку, який підриватиметься, з технологічних, технічних, економічних та екологічних міркувань з урахуванням збереження виробничої потужності кар'єру. Перехід на масові вибухи з малим обсягом ВР повинен здійснюватися на основі урахування гірничотехнічних особливостей кар'єру та створення індивідуальних енергетичних і транспортних комунікацій для кожного вибою.

Інженерно-технічні способи і засоби пилогазопригнічення при вибухових роботах зводяться до наступного: застосування ефективною забійки свердловин, зрошування зони випадання пилу з пилогазової хмари водою або пилозволожуючими добавками з розрахунку 10 л води на 1 м^2 зрошуваної площі. Зона зрошування влаштовується на відстані 50-60 м від межі підриваемого блоку.

Забійка свердловинних зарядів ВР є важливою умовою скорочення пило-газових викидів у атмосферу кар'єрів за рахунок зниження температури продуктів детонації у результаті підвищення на 15-20% ступеня використання енергії вибуху, збільшення часу впливу продуктів детонації на стінки свердловини, зменшення зони дії ударної повітряної хвилі та розкидання грудок породи. У той же час матеріал забійки викидається при вибуху із свердловини у пилогазову хмару, яка формується. Тому кількісні і якісні параметри забійки у свердловині повинні бути раціоналізовані.

Якість матеріалу забійки визначається його опором зрушенню, який характеризується кутом внутрішнього тертя. Цей параметр підвищується зі збільшенням у матеріалі забійки частки порід крупнозернистої фракції, оскільки у разі вибуху забійний матеріал стискається, порідні зерна розклинюються, утворюючи якісну забійку. З цієї точ-

ки зору найбільш ефективною є забійка із суміші піску (40%) і щебеню (60%) фракції від 8-10 до 20-25 мм.

При оцінці механізму взаємодії продуктів детонації ВР і забійки виникає питання щодо ефективної маси матеріалу забійки у свердловині. Дослідженнями і на практиці роботи кар'єру Мурунтау встановлено, що при використанні у якості матеріалу забійки бурового дрібняку раціональна маса забійки складає 50-60% від маси ВР у свердловині. Це зменшує надходження матеріалу забійки до атмосфери кар'єру без погіршення якості подрібнення порід вибухом [6].

Розробка методів і засобів пригнічення пило-газових викидів при підричних роботах у кар'єрах ведеться за багатьма напрямками, основними з яких є: застосування забійки на рідинній основі; зрошення або покриття піною поверхні блоку, який підривається; вплив на пило-газову хмару тепло-, пило- та газопригнічуючими реагентами, тощо.

На думку ряду дослідників, найбільш ефективні способи зменшення пило-газових викидів при масових вибухах у кар'єрах засновані на подавленні викидів пилу і газів безпосередньо у момент вибуху. Для цього більш придатні забійки свердловин на рідинній основі - гідрогелева і гідравлічна.

Гідрознепилювання здійснюється за допомогою гідрозабійки свердловин з поліетиленових емкостей, які розміщуються відносно свердловини: ззовні, внутрішньо і комбіновано. Ефективність гідрознепилювання – 53% для зовнішньої гідрозабійки (питома витрата води $Q_6 = 1,38 \text{ кг/м}^3$ гірської маси), 84,7% – для внутрішньої ($Q_6 = 0,78 \text{ кг/м}^3$) і комбінованої – 89,4% ($Q_6 = 1,04 \text{ кг/м}^3$). Скорочення пиловиділення можливо також використанням гідрогелю для внутрішньої гідрозабійки (рекомендації Криворізького гірничорудного інституту). Гідрогель складається з аміачної селітри – 4%, рідкого скла – 8%, синтетичних жирних кислот – 2% і води 86%, а його ефективність в якості забійки при висоті 2-4 м досягає 34-54%. Оптимальна витрата гідрогелю складає 0,4-0,6 кг/м^3 гірської маси. В умовах Кривбасу застосування гідрогелю дозволяє знижувати концентрацію пилу у вибуховій хмарі в 2,5-3,5 рази, а оксидів азоту в зруйнованій породі – в 1,5-2,0 рази. До складу свердловинної забійки можуть також входити хімічно активні речовини-нейтралізатори [8]: 1) гашене вап-

но, хлорні сполуки, солі основних лужних металів; 2) розведений водний розчин соди. Вивчення цих нейтралізаторів показало, що найбільш простими й ефективними є вода і слабо-лужні розчини.

Матеріал (тип і якість) і довжина забійки впливають на склад і кількість утворюваних токсичних газів. Наприклад, заміна глиняної забійки на вапняну знижує вміст NO_x і CO у газах вибуху, причому цей вплив тим більше, чим більше вміст токсичних газів у продуктах вибуху даної ВР. Забійка з гашеного вапна у порівнянні з глиняною знижує вміст CO на 30%, забійка з вапняного пилу – приблизно на 10%. Зменшення вмісту оксидів азоту у присутності гашеного вапна складає у середньому 25%, вапняного пилу – 15%. Використання 10 кг гашеного вапна на заряд масою 600-800 кг акваполу ГЛТ-20 або грамоніту 79/21 дозволяє практично повністю нейтралізувати виділяємий NO_x і на 40-69% понизити вміст CO .

Михайлівським ГЗКом і Північним ГЗКом запропоновано використовувати в якості забійки водні розчини поверхнево активних речовин (ПАВ – сульфат натрію). ПАВ заливається в поліетиленовий рукав, який розміщується в свердловині. При вибуху в свердловині утворюється піна, яка під дією продуктів детонації основного заряду ВР викидається із свердловини, утворюючи над підірваною хмарою аерозольну хмару. При цьому висота підйому пилогогазової хмари в епіцентрі вибуху зменшується в 2,6-3 рази, а кількість пилу скорочується в 2 рази [5]. КазПТІ рекомендує використання зовнішньої забійки з легко-механічної піни з ефективністю 41,7%.

У зимових умовах зниження пиловиділення в 3-5 разів можливе за рахунок нанесення штучного снігу на вибуховий блок і прилеглу територію з витратою 8-13 кг/м^2 поверхні. У даний період можна застосовувати внутрішню сніжно-крижану забійку свердловин, при якій її верхня частина заливається 20 л води при температурі $-4 - -8 \text{ }^\circ\text{C}$, що зменшує пиловиділення в 5-6 разів.

Зниження шкідливостей пилогогазової хмари на 70-80% здійснюється гідрозавісами, які утворюються вентиляторами-зрошувачами НК-12КВ або установками імпульсного дощування, а також розміщенням поліетиленових рукавів з водою між рядами свердловин.

Істотним чинником пилогазопригнічення є діаметр свердловини. З його збільшенням від 105 до 320 мм (тобто в 3 рази) загальний об'єм виділяємих газів зростає до 80 разів, а середня швидкість вильоту із свердловини – в 5,8 рази, що збільшує висоту підйому пилогазової хмари і негативну зону її дії [5].

Зниження пило-газових викидів при вибухах в кар'єрах можна досягти за рахунок зміни форми вибухової порожнини, застосування комбінованих зарядів, розосереджених повітряними проміжками зарядів, спарених зарядів малого діаметру, а також вибору точки ініціації заряду. Використання свердловин з різним діаметром - малим угорі і великим знизу (котельна порожнина) - дозволяє досягти ефекту замикання продуктів підривання в свердловині, чим зменшується кількість пило-газових викидів.

Великого поширення на кар'єрах набули комбіновані свердловинні заряди з декількох типів ВР, де в нижній частині свердловини розташовують водостійкі ВР (гранулотол), а у верхній – неводостійкі ВР (грамоніт 79/21, ігданіти). Це дозволяє зменшити витрату гранулотолу, а, отже, і викид шкідливих газів, Використання грамоніту 79/21 і ігданіту знижує переподрібнення порід, а з ним і пилотиділення.

Свердловинні заряди з повітряними, інертними, водними проміжками дозволяють не тільки поліпшити ступінь дроблення порід, але і зменшити викид шкідливих речовин в навколишнє середовище. Так, при підриванні порід середньої міцності, необхідно використовувати конструкцію свердловинного заряду з утворенням повітряного або водного проміжку в перебуді свердловини [9]. Сумарну довжину повітряних проміжків можна приймати в наступних межах: слабкі породи – 0,32-0,4 довжини заряду; міцні породи – 0,15-0,20 довжини заряду. Величину верхньої частини заряду приймають 0,25-0,35 його загальної довжини. Коли повітряний проміжок складає 3,5-4,0 м, заряд розосереджують на декілька частин з ініціацією кожної з них.

До організаційних заходів щодо зниження шкідливого впливу вибухових робіт на навколишнє середовище відноситься проведення масових вибухів в період максимальної вітрової активності. Для умов Кривбасу цей період припадає на 12-13 годин, що дозволяє зменшити час провітрювання кар'єру

на 15-20%. При цьому необхідний напрям вітру, орієнтований у бік відсутності розташування житлових густонаселених районів. Якщо кар'єр оточений житловими спорудами, то проведення вибухів повинне бути приурочене до часу мінімальної вітрової активності.

Дослідженнями ВНДБПГ встановлений оптимальний об'єм одноразового вибуху за дією на навколишнє середовище. Так, оптимальна кількість ВР, що висаджується в блоці без засобів пилопригнічення для умов Кривбасу складає 25-31 т і загальному об'ємі вибухівки 200-380 т і 33-41 т – із засобами пилопригнічення при загальному об'ємі ВР 350-750 т і двох вибухах в місяць. Крім того, для запобігання злиттю пило-газових викидів окремих блоків в єдиний об'єм, що сприяє збільшенню в ньому шкідливих концентрацій, необхідно між блоками дотримувати мінімально допустиму відстань, яка для зарядів 80-100 т складає не менше 220-250 м.

Наступним технологічним процесом адаптації до вимог сталого розвитку суспільства є виймально-навантажувальні роботи. Аналіз тенденцій розвитку виймально-навантажувальних робіт показав, що їх вдосконалення спрямоване на застосування устаткування великої одиничної потужності. Це веде до підвищення інтенсивності пилотиділення. Так, застосування екскаватора ЕКГ-10 замість ЕКГ-8І, веде до зростання продуктивності на 11%, тоді як питома пилотиділення збільшується на 20-30% [6]. Тому розробка засобів і способів пилопригнічення, а також їх ефективність повинна випереджати підвищення продуктивності механізмів гірничих робіт. З метою визначення найбільш ефективних з них була проведена їх класифікація.

Для оцінки важливості способів боротьби з пилом при виймально-навантажувальному процесі у ВНДБПГ була проведена робота з їх патентного огляду і експертного аналізу. Обробка результатів експертного дослідження проводилася за типовими методами математичної статистики в додатку до прогностичного матеріалу. Оцінка основних способів і засобів поліпшення умов праці в кар'єрах проводилася в балах від 0 до 100. Важливість кожного напрямку оцінювалася за середньою величиною, а однотайність поглядів експертів визначалася за стандартним відхиленням або коефіцієнтом варіації. При роз-

рахунку показників експертної думки, окрім середньої або коефіцієнта варіації, підраховувалися також частота максимально можливих оцінок і сума рангів оцінок, отриманих різними засобами і способами [10].

Найбільш ефективними визнані засоби боротьби з пилом, які включають використання як попереднього зволоження гірської маси перед виїмкою, так і зрошування витаючого пилу у момент екскавації. Для зволоження пилу, що знаходиться в масиві розробляємих порід, використовуються поливальні установки на базі кар'єрних автосамоскидів, оснащених гідромоніторами, якими подають на зрошувану поверхню 30-100 л води/с струменями дальністю 60-120 м. Максимальний ефект досягається при вологості розробляемого скельного масиву ($f = 8-12$) не менше 6-7% (витрата води 40-60 л/м³). Разом з водою для зволоження гірської маси можуть застосовуватися розчини різних хімічних речовин. У зимовий час передбачається застосування антифризних добавок в розчини або водні розчини солей, а також розігріта вода.

Звичайна вода може використовуватися для зрошування забоїв екскаваторів при температурі повітря до -5°C. Гаряча вода може застосовуватися при температурах повітря до (-10) – (-15)°C. При нижчих температурах треба застосувати водні розчини різних солей.

Перспективним для боротьби з пилом при виймально-навантажувальних роботах при негативних температурах є використання штучно створюваного снігу, що направляється в екскаваторні забої. Як показали дослідження А.А.Громова і І.І.Іванова, при зміні питомої витрати води на снігоутворення від 0,8 до 4,7 кг/т ефективність пилопригнічення складає 27-68 %.

Досить актуальним та перспективним є спосіб попереднього просочення гірничої маси водою або розчинами та хімічними добавками за допомогою пересувних та стаціонарних установок. Останні необхідно використовувати на стаціонарних забоях, складах, навантажувальних пунктах.

Зниження запилення повітря при виймально-навантажувальних роботах може бути здійснене шляхом винесення пилу з екскаваторного забою за допомогою штучної вентиляції, осадження пилу, що зметнувся, за рахунок його коагуляції і обважніння, а та-

кож зволоженням пилу, що знаходиться в розробляемому масиві або насипі. Ці способи можуть використовуватися окремо або в комбінації один з одним.

Штучна протипилова вентиляція екскаваторних забоїв може бути здійснена за допомогою пересувних вентиляційних установок з вільними струменями. Їх продуктивність і далекобійність визначаються виходячи з параметрів виймально-навантажувального устаткування і розмірів забоїв. Основним перспективним напрямом осадження пилу, що зметнувся, для його коагуляції і обважніння є використання водоповітряних струменів, які містять краплі води, що взаємодіють з витаючими порошинками. При використанні зрошувально-вентиляційної установки екскаватора на кар'єрі ПівГЗКу, концентрація пилу в кабіні машиніста була знижена з 2,5-11,1 до 0,1-1,6 мг/м³, а за межами кабіни на стрілі екскаватора – з 2,2-8,8 до 0,3-1,1 мг/м³ тобто у 7-8 разів.

Одним із способів обважніння витаючих пилових частинок є конденсація на них вологи, що може бути досягнуто при подачі в забій водяної пари, хоча внаслідок дорожнечі цей спосіб навряд чи отримає широке застосування.

Запилення повітря при екскавації може бути знижено шляхом використання технологічних заходів. Так, висота шару виймання гірської маси на уступі або на тимчасовому складі не повинна перевищувати висоти черпання екскаватора, особливо при розробці сухих порід, що містять фракції які легко здіймаються. Порушення цього положення призводить до зростання інтенсивності пиловиділення в 1,4-4,8 разу як в забої, так і уздовж пилового факела. Зменшення висоти розвантаження ковша і кута повороту екскаватора при навантаженні веде до зниження запилення повітря на 30-40%. Навантажена гірська маса переміщується транспортними засобами на збагачувальну фабрику (сира руда) чи відвали розкривних порід.

Основним джерелом пилогозового забруднення атмосфери кар'єрів і прилеглих територій є технологічний транспорт і автодороги. На даний час самим поширеним видом збирального і магістрального транспорту на відкритих гірничих роботах є автосамоскиди, якими перевозиться 60-80% всієї гірської маси при різноманітних схемах транспорту-

вання. Відпрацьовані гази (ВГ) дизельних двигунів автосамоскидів містять значну кількість токсичних речовин, альдегідів та органічних компонентів. Існує три основних напрямки зменшення шкідливих викидів автосамоскидів: створення малотоксичних двигунів, очистка або нейтралізація відпрацьованих газів і використання екологічно "чистого" газового палива. Достатньо простим і результативним рішенням проблеми зниження викидів токсичних компонентів у відпрацьованих газах двигуна є використання удосконалених дизельних двигунів з малотоксичними робочими процесами, а також використання двигунів інших видів і типів (газотурбінних або електродвигунів з автономним живленням від спеціальних джерел). Оскільки це пов'язане з розробкою принципово нових рішень їх роботи, які відповідатимуть конструктивним змінам і вимогам до виду і якості палива, тому даний напрямок може бути реалізований лише у віддаленій перспективі.

Другий спосіб зниження викидів токсичних речовин це застосування на двигунах внутрішнього згорання систем зі знешкодження відпрацьованих газів (ВГ), у тому числі нейтралізаторів. Існують нейтралізатори трьох типів: термічні, каталітичні і рідинні. Термічні нейтралізатори знижують токсичність ВГ на 90%. Недоліками термічних каталізаторів є необхідність застосування спеціальних жаростійких матеріалів для виготовлення реакційної камери, деяке зменшення потужності двигуна і зростання (до 16%) питомої витрати палива внаслідок зростання опору випуску. Ефективність каталітичних нейтралізаторів складає 70-90%. Найбільш універсальними є каталізатори на основі благородних металів (рутенію, родію, паладію, платини) і деяких окислів металів (оксидів міді, хрому, нікелю). Застосування каталітичних нейтралізаторів ВГ стримується їх малим робочим ресурсом, зниженням ефективності нейтралізації з часом і високою вартістю. Значним недоліком каталітичних нейтралізаторів є недостатній ступінь очистки ВГ від оксидів азоту та сажі (до 10%), яка володіє сорбційними властивостями і через це утворює небезпечні газозаерозольні композиції, зокрема, з бенз(а)піреном. Такі часточки знаходяться у повітрі тривалий термін і переносяться на значну відстань. Останнім часом набули

поширення окисні каталізатори з невеликим додаванням благородних металів (0,1%). По активності і довговічності вони займають проміжне положення між термічними каталізаторами і каталізаторами на основі благородних металів. Рідинні каталізатори це обладнання для поглинання сажі і бенз(а)пірену до 50-100%, але вони не вловлюють окис вуглецю і вуглеводні. Для істотного зменшення викидів за всіма основними токсичними компонентами застосовують комбінації різних систем нейтралізації. Але нейтралізатори не завжди є кращим способом зниження викидів токсичних речовин. За певних умов можливе застосування сажових фільтрів – допалювачів з електронним управлінням, здатних знижувати вміст твердих часток до 70-90%.

Більш реальним і перспективним рішенням проблеми досягнення мінімального негативного впливу автосамоскидів на атмосферу кар'єру є використання природного газу у якості палива. Це дозволяє майже у 10 разів скоротити димність відпрацьованих газів, у 2-3 рази - викиди оксиду вуглецю, в 1,3-1,4 рази – оксидів азоту. Токсичність забруднюючих речовин у двигунів, що працюють на природному газі, у 1,5-5 разів менша, ніж у дизельних двигунів. Цей екологічний захід є й дуже економічно вигідним, оскільки природний газ у 3 рази дешевше дизельного пального. Найефективнішим є застосування метану у розрідженому або стисненому стані. Але практичного використання ця система ще не отримала, оскільки має істотні недоліки: підвищену пожежотавибухонебезпечність газоподібного палива, при його витокі – додаткове забруднення атмосфери домішками природних газів (пентан, бутан, пропан, етан), які є важкішими за повітря і будуть накопичуватися у нижніх горизонтах кар'єру. Окрім того, використання газоподібного палива вимагає застосування надійного обладнання, високої відповідальності і кваліфікації обслуговуючого персоналу, жорсткого дотримання вимог безпеки, що істотно ускладнює і здорожує його експлуатацію.

Практичний інтерес викликає метод зниження токсичності викидів дизелів технологічного автотранспорту шляхом пропускання відпрацьованих газів через гірську масу, яка перевозиться. Остання, у даному випадку, виконує, по відношенню до ВГ, роль приро-

дно фільтра. Проходячи скрізь навал гірської маси, відпрацьовані гази частково звільнюються від сажі за рахунок інерційного осадження її на стінках фільтраційних каналів і від отруйних газоподібних компонентів за рахунок адсорбційного зв'язування газів гірською масою і сажею, яка осіла на ній. Ефективність очистки ВГ із застосуванням цього методу складає: від оксидів азоту – 30-40%; оксидів вуглецю – 20-40%; сажі з бенз(а)піреном – 60-70%. Ступінь зниження токсичності відпрацьованих газів за транспортний цикл (плече відкатки 2 км, 110-тонний самоскид), приведена до СО, складає 30%. Не менш важливими у зменшенні викидів відпрацьованих газів є технічний стан двигунів, дотримання правил експлуатації, вживання якісного пального.

Дослідженнями доведено, що кількість пилу, який утворюється на автодорогах кар'єру, досягає 70-90% від загальної кількості пилу, яка виділена всіма його джерелами [11]. Широко поширений метод знепилення доріг шляхом гідрозрошення є мало ефективним із-за обмеженості часу дії (6-12 годин) і залежить від кліматичних умов, а пилоподавлення хлористим кальцієм, нафтою, топочним мазутом викликає корозію металічних вузлів автомобілів та забруднює нафтопродуктами руду і навколишнє середовище. Застосування таких пилов'язуючих речовин, як універсін і сульфіт-спиртова барда (30-40%-ва сульфід-дріжджова бражка, гліцериновий гудрон та ін.) дозволяє знизити запиленість повітря до нормального рівня протягом 30 діб, але потребує попередньої підготовки полотна доріг (видалення пилу та грязі, утримання, посипання щебенем).

Ще однією можливістю зменшення негативного впливу процесу транспортування на атмосферу довкілля є скорочення кількості задіяних автосамоскидів і відстані транспортування цим видом транспорту шляхом застосування циклічно-поточної технології з нарощування довжини діючих конвеєрних підйомників. Але нарощування довжини діючих конвеєрних підйомників стримується складністю обладнання перевантажувальних майданчиків і переносу стаціонарних дробарок крупного подрібнення типу ККД-1500/180. Створення мобільних дробарок такого типу дозволяє більш просто вирішити цю задачу. Це підтверджує досвід кар'єру

ПГЗКа, де за новою схемою відстань відкатки гірської маси автосамоскидами було знижено до 1,5-1,8 км, за рахунок чого визволено із експлуатації 5 автосамоскидів великої вантажопідйомності і відповідно скорочено 5 одиниць забруднювачів.

Скорочення відстані транспортування пустих порід автосамоскидами у 2-5 разів відповідно скорочує і пило газові викиди, а також повна відмова від використання залізничних перевезень на поверхні досягаються також застосуванням нових природоохоронних технологій з внутрішнім відвалоутворенням. Окрім істотного оздоровлення екологічного стану у регіоні на цих технологіях отримують значну економію грошових, матеріальних та енергетичних ресурсів.

При розвантаженні автосамоскидів біля рудоспусків пилоподавлення здійснюється за допомогою повітряно-механічної піни. Поліпшенню екологічного стану кар'єрів також буде сприяти розширення за певних геологічних умов сфери застосування електрифікованого залізничного транспорту, дизель - та гідро-тролейвозів. Фахівці оцінюють гідро-тролейвоз як абсолютно чистий у екологічному відношенні транспортний засіб, а у дизель - троллейвозів можливе доведення остаточної токсичності до 10-15% від рівня автосамоскидів. При оцінці доцільності застосування дизель-тролейвозного транспорту істотне значення має не тільки екологічний ефект, а й економічний, який залежить від зниження витрат дизельного пального (на 60-90%) і електроенергії; збільшення у 1,7-1,8 разів швидкості руху дизель-тролейвозів при одночасному зростанні на 10-25% їх продуктивності; збільшення терміну служби двигунів і т. ін.

Значно знижуються викиди пилу і газів до атмосфери при застосуванні на залізничних кар'єрах перспективних типів думпкарів вантажопідйомністю від 105 до 180 т. Це відбувається, по-перше, за рахунок зменшення на 20% обсягів буріння через скорочення виходу негабариту, по-друге, за рахунок зниження з 0,44 до 0,37 м²/т питомої поверхні гірської маси, з якої зривається пил під час руху потягу [12].

Для зменшення впливу на забруднення атмосфери кар'єру конвеєрних підйомників пропонується використовувати конвеєри з підвісною опорною стрічкою, притисною стрічкою для вантажу, зі згорнутими, трубу-

частими і шланговими стрічками. Їх істотною перевагою є відсутність пиловиділення впродовж всієї відстані транспортування. Але дані додаткові механізми значно ускладнюють конвеєрну конструкцію, здорожують її, знижують продуктивність і тому, ймовірно, не знайдуть широкого застосування у гірничій практиці. Кількість пилу значно зменшується при розміщенні конвеєра у критій галереї. Економічною перевагою конвеєрного транспорту в умовах глибоких кар'єрів є те, що його енергетична ефективність у 1,9-2,2 рази вища, ніж електрифікованого залізничного, і у 2,4-3,0 рази вище, ніж автомобільного.

Крутонахилені конвеєри з притисковою стрічкою (КНК) забезпечують транспортування вантажу при кутах нахилу до 80°. Слід зазначити, що в умовах зростання глибини кар'єрів, найбільш повна реалізація ефективності нових систем циклічно-потоккових технологій (ЦПТ) із пересувними дробильно-перевантажувальними установками (ДПУ) досягається саме при використанні круто-нахиленого конвеєрного підйому. Так, наприклад, результатами техніко-економічних розрахунків ефективності упровадження на Костомукському кар'єрі внутрішньокар'єрних комплексів ЦПТ з КНК-підйомом і напівстаціонарними ДПУ показали, що обсяг поточного розкриття скорочується на 5 млн м³ (етап 1). При розміщенні ЦПТ з КНК на постійному південному борті (етап 2) обсяги розкриття у кінцевих контурах скоротяться на 17,6-18,0 млн м³ у порівнянні з існуючою технологічною схемою розробки з використанням автомобільно-залізничного транспорту (базовий варіант). В цілому, обсяги гірничо-капітальних робіт зменшуються у 3,5-4,5 рази, витрати дизельного палива – у 1,8-2,5 рази, пиловиділення і викиди токсичних компонентів знижуються на 35-45%. Металоємність КНК у порівнянні зі звичайними конструкціями конвеєрів (з кутом нахилу до 16°) при роботі їх в ідентичних умовах нижча на 12-18%.

Екологічними перевагами застосування скіпового виду транспорту є можливість підйому крупно-грудкової гірської маси без попереднього подрібнення, а також зменшення відстані транспортування (за рахунок більшого кута підйому) і меншої площі поверхні гірської маси для пилення. Пилопо-

давлення на дробарних і перевантажувальних пунктах носить локальний характер і його обсяги можуть бути значно зменшені (70-80%) за рахунок використання існуючих засобів пилоподавлення і пиловловлювання.

Відвалоутворення є невід'ємним процесом відкритих гірничих робіт, оскільки виїмка корисної копалини неможлива без попереднього вилучення порожніх порід і їх складування в зовнішні або внутрішні відвали. У теперішній час найбільше розповсюдження отримали: екскаваторне відвалоутворення – при залізничному транспорті і бульдозерне – при автомобільному. Процес відвалоутворення екскаваторами аналогічний виймально-навантажувальним роботам, які виконуються даними механізмами, хоча має і ряд особливостей, що визначають інтенсивність пиловиділення. Запиленість повітря при екскаваторному відвалоутворенні залежить від висоти розвантаження і кількості одночасно розвантажуваних думпкарів, висоти розвантаження ковша і кута повороту екскаватора, швидкості вітру і фізико-механічних властивостей складуваних порід та вмісту в них пилових фракцій [10].

При розвантаженні думпкарів 2ВС-105 вантажопідйомністю 105 т виділяється в 2,69-2,78 рази пилу більше ніж при розвантаженні сорокатонного БілАЗу-548. Проте, в перерахунку на 1 т вивантаженої породи інтенсивність пиловиділення при розвантаженні думпкара і автосамоскида розрізняється на 3-6%, що говорить про їх наближену рівність. У свою чергу інтенсивність пиловиділення при відвалоутворенні, яка припадає на 1 м³ ковша екскаватора для ЕКГ-8И в 1,33-8,56 рази більше, ніж для ЕКГ-4,6. Тому при виборі моделі екскаватора для проведення відвальних робіт необхідно враховувати і інтенсивність пиловиділення.

Зіставлення пиловиділення при укладанні порід екскаваторами і бульдозерами показує, що для бульдозерів воно менше в 3 і 7 разів, відповідно, для ємкості ковша 4,6 і 8 м³. В той же час бульдозери є також джерелами викидів шкідливих газів, сумарне приведення яких до СО дає умовний викид 128,1 од., а ЕКГ-8И - 79,2 од., тобто в 1,62 рази менше. Отже, за чинником меншої сумарної пило-газової негативної дії на навколишнє середовище треба надавати перевагу застосуванню порівнюваного устаткування. Основним напрямом пилопригнічення при

роботі відвального устаткування є складування зволожених при виймально-навантажувальних роботах порід. Застосування зволожуючих способів пило пригнічення в процесі відвалоутворення повинно узгоджуватися зі стійкістю відвального масиву.

Крім відвального устаткування істотним джерелом пиловиділення є відвальна поверхня [10]. Аналіз величини питомої здувності пилу на відвалах Зиряновського кар'єру і кар'єрів Кривбасу показує, що вони відрізняються в 10-80 разів. Така значна відмінність обумовлена характером складованих порід – на Зиряновському кар'єрі – рихлих, а в Кривбасі – скельних. Розрахунками встановлено, що для скельних відвалів Кривбасу пиловиділення становить 0,11-0,86 т/га на добу відповідно при швидкості вітру 2,0 та 5,5 м/с, а для рихлих порід Зиряновського кар'єру – 2,3-21,56 т/га на добу, відповідно для такої ж швидкості вітру. Значний вплив на питому здуваемість пилу з поверхні відвалу має його висота і швидкість вітру. Кількість здуваного пилу по висоті відвалу буде різною внаслідок зміни швидкості вітру від даного чинника і змінюється від 0,4 до 9,0 т/добу·га.

Пиляча поверхня відвалу зростає в процесі його формування і має проміжне та кінцеве положення при досягненні ним проектних контурів. При проміжних контурах відвальної поверхні пилопригнічення на ній необхідно виконувати дешевими в'язучими розчинами. Після досягнення відвальної поверхні кінцевих проектних контурів для пилопригнічення її покривають мульчею з суміші біологічно активних речовин та насіння рослин для створення можливості прискороного формування рослинного покриву. Даний напрямок адаптації характерний для скельних відвалів висотою більше 70-80 м.

Існуючими нормативами передбачена рекультивация поверхні відвала для використання у господарських або оздоровчорекреаційних цілях шляхом формування штучних екосистем. Але, як показали дослідження ІППЕ НАН України, штучне відтворення екосистем на поверхні скельних відвалів малоефективне і його треба замінити прискореним відновленням натуральних вторинних екосистем шляхом формування оптимального рельєфу відвальної поверхні. Даний рельєф повинен забезпечувати задане

переміщення енергії та речовини для прискороного формування та довгострокової життєдіяльності екосистем в найбільш сприятливих умовах. Вірність та ефективність даного напрямку відновлення натуральних вторинних екосистем підтверджена створенням в умовах Кривбасу ландшафтних заказників «Візирка», «Вершина» та «Інгулецький».

Технологічний процес відвалоутворення відрізняється від раніше розглянутих технологічних процесів відкритих гірничих робіт впливом не тільки на атмосферу, але потребує також відчуження значних земельних площ для розміщення розкривних порід. Основними шляхами зменшення використання земельних площ для розміщення зовнішніх відвалів є: застосування внутрішнього відвалоутворення при розробці крутопадаючих покладів, засипка виробленого простору кар'єрів та зон обвалення від проведення підземних робіт розкривними породами кар'єрів. Дослідженнями встановлено, що у виробленому просторі існуючих кар'єрів Кривбасу в досягнутих проектних контурах деяких ділянок можливо розташувати внутрішні відвали об'ємом близько 660 млн м³ розкривних порід і зменшити кількість порушених земельних площ на 940-1320 га. Окрім того застосування внутрішнього відвалоутворення дозволить у 2-5 разів зменшити шкідливі викиди в атмосферу за рахунок значного скорочення відстані доставки порід.

Разом з існуючим дефіцитом земельних площ для розміщення зовнішніх відвалів в Кривбасі існують 1200-2300 га площі зон порушених земель, утворених від підземного видобутку багатих залізних руд. В даних зонах, в залежності від їх глибини, можливо заскладувати близько 240-1150 млн м³ розкривних порід. Засипка зон, порушених підземними гірничими роботами, можлива до рівня денної земної поверхні або вище нього. В обох випадках на рівні денної поверхні засипаємої зони порушень необхідно створити гідрозахисний, екрануючий шар, який забезпечує неможливість потрапляння поверхневих вод у зону порушення і подальшого забруднення поверхневих та підземних вод. З метою запобігання розвантаження підземних водних горизонтів у зону порушення на ділянках розташування водоносних пластів та території їх впливу створюються водоза-

хисні баражні завіси, економічна доцільність будівництва яких визначається відповідними розрахунками у порівнянні з іншими проти-водними захисними дренажними системами. В залежності від рівня засипки зон порушення вибираються також шляхи пилопригнічення на їх поверхні, які аналогічні для пилопригнічення на поверхні зовнішніх відвалів з урахуванням особливостей поверхні засипаних зон з домінуючим природнім формуванням на них вторинних екосистем.

Формування висотних відвалів відносять до шляхів адаптації техногенних об'єктів гірничого виробництва до вимог сталого розвитку, яке включає відсіпку на одній з ділянок проектного відвального контуру відвалу зразу на його кінцеву висоту. Після чого розвиток фронту відвальних робіт виконується до решти проектних контурів. Формування висотного відвалу забезпечує мінімальне порушення земельних площ у часі і мінімальне пилоутворення за рахунок скорочення площі поверхні відвалу та можливості відтворення на ній вторинних екосистем у найкоротші терміни. По кінцевій формі контуру у плані зовнішні відвали повинні максимально наблизитися до вірних геометричних фігур (коло або квадрат), що дозволить до мінімуму скоротити зону впливу на прилеглі території на 20-40% за рахунок забезпечення найменшого периметру.

Адаптація параметрів кар'єру до вимог сталого розвитку виконується за рахунок зростання генеральних кутів укосів його бортів до 50-60°, що в цілому по Кривбасу дозволить зменшити обсяг вилучаємих розкривних порід на 4,0-7,0 млрд м³ та значно скоротити площу відчуження земель під відвали та кар'єри. Але даний напрямок потребує вирішення питань провітрювання глибоких горизонтів кар'єру, яке значно погіршується із зростанням глибини розробки та кутів укосів його бортів. Як відомо глибокі кар'єри є також джерелом порушення та забруднення підземних та поверхневих вод. Найбільш ефективним способом захисту кар'єру від підземних вод та порушення гідрологічного режиму району розробки є застосування баражних завіс. Так для захисту неробочого борту Лебединського кар'єру КМА з боку р. Осколець була запроєктована лінійна щільна завіса шириною – 0,5 м, довжиною – 1880 м, середньою глибиною – 50 м

з допустимим пропуском вод – 4,5 м³/добу, а також рівень водоносного горизонту біля зовнішньої стінки – 136,7 м та внутрішньої – 100 м. Також баражна щільна завіса з бетонним заповнювачем була запроєктована УкрНДІПроектом для Бейського вугільного розрізу протяжністю – 21,4 км, глибиною – 15 м з заглибленням у скельні породи – 0,5-1,0 м та шириною – 0,5 м, яка споруджується навколо розрізу до початку його експлуатації на відстані 100-150 м від його контуру. Витрати на спорудження баражної завіси складають біля 8,0 млн грн., що на 7 млн грн. менше за витрати на іншу дренажну систему. Сформована баражна завіса дозволить зберегти від забруднення біля 167,0 млн м³ підземних вод.

Аналіз існуючих технологій видобутку корисних копалин показав, що на даний час вимогам сталого розвитку суспільства відповідають технології відкритих гірничих робіт з внутрішнім відвалоутворенням та підземні технології видобутку мінеральної сировини з закладкою виробленого простору. Технології відкритих гірничих робіт з внутрішнім відвалоутворенням знайшли широке застосування при розробці горизонтальних та похило-падаючих родовищ (Нікопольський, Олександрійський, Іршанський басейни). Але при розробці крутопадаючих родовищ вони не отримали значного використання внаслідок постійно зростаючої глибини розробки і недостатніх параметрів покладів по простяганню. Найбільше застосовується внутрішнє складування порід у виробленому просторі кар'єру на його ділянках, які досягли кінцевих контурів, а решта ділянок знаходяться у розробці.

На теперішній час існують три основних технологічних схеми застосування внутрішнього відвалоутворення при розробці крутопадаючих покладів: 1) створення на одному з флангів кар'єрного поля кар'єру першої черги до кінцевої глибини розробки з розміщенням його порід у зовнішні відвали та подальше посування кар'єру до іншого флангу з розміщенням порід у внутрішніх відвалах; 2) блоковий спосіб розробки, де кар'єрне поле ділиться на блоки, з яких в першу чергу відпрацьовується блок з мінімальним коефіцієнтом розкриву. Вироблений простір блоку родовища слугує місцем складування порід, які виймаються у наступних блоках; 3) внутрішнє відвалоутворення

при багатократній переєкскарвації порід, яке передбачає поділ кар'єру по глибині на горизонтальні шари. Шари послідовно відпрацьовуються зверху вниз з переєкскарвацією порід вищележачих шарів відносно шару, який знаходиться у розробці. Застосування конкретної технологічної схеми розробки порід крутопадаючих покладів з внутрішнім відвалоутворенням визначається зіставленням їх техніко-економічних та екологічних показників експлуатації родовища.

Михальченко В.В., Прокопенко С.А. провели систематизацію можливих тринадцяти технологічних схем відпрацювання крутопадаючих покладів із внутрішнім відвалоутворенням, а також виконали їх екологічну оцінку за коефіцієнтом екологічної чистоти (КЕЧ), який характеризує сумарний вплив на усі види природних ресурсів. Установлено, що для технологій з будівництвом піонерного кар'єру до кінцевої глибини відпрацювання і подовжньо-поперечному переміщенні фронту гірничих робіт КЕЧ = 0,3-0,5. При будівництві піонерного кар'єру з поетапним заглибленням гірничих робіт за простяганням покладу і консервацією частини запасів корисної копалини під внутрішнім відвалом, КЕЧ = 0,3-0,6.

Для подовжньої заглибочної, подовжньо-поперечної і суцільної поперечної технологій розробки з наступною виїмкою частини законсервованих запасів, КЕЧ = 0,7. Найбільш ефективною і екологічно чистою, з відомих технологій, є суцільна поперечна з внутрішніми відвалами і наступним підземним відпрацюванням законсервованих запасів із закладкою виробленого простору, КЕЧ = 0,8. Наведені коефіцієнти екологічної чистоти технологій розраховані для похилих і крутих покладів горизонтальною потужністю 50-100 м, які відпрацьовуються на глибину 375 м при продуктивності 3 млн т/рік і довжині кар'єрного поля 5000 м. Технологія, яка має найвище значення КЕЧ, володіє також і найкращими техніко-економічними показниками: зменшення кількості автосамоскидів у 3,5-4 рази, гірничого устаткування в 1,4 рази, вартості основних фондів у 3 рази і собівартості видобутку 1 т вугілля в 3,1-4,4 рази [13].

При підземному видобутку руд вимогам сталого розвитку суспільства найбільше відповідають технології з закладкою виробленого простору, які приблизно вдвічі здорож-

чують собівартість розробки мінеральної сировини та ускладнюють технологічний процес, особливо при виїмці потужних покладів багатостадійним способом. Вказані недоліки є основними причинами, стримуючими їх широке застосування, незважаючи на велику екологічну безпеку. Але з підвищенням екологічних вимог та витрат на природоохоронні заходи дана технологія підземного видобутку буде набувати все більшого застосування. Зростання виробничих витрат при використанні твердючої та гідровлічної закладок в обсягах відповідно 60-70 та 30-40% від обсягу порожнеч досягає 30-50%. Ці витрати можуть окупитися за рахунок зниження втрат та засмічення руди, скорочення водопритоків, зменшення виплат за відчуження земель та екологічного збитку. Перші два показники особливо вагомими для підземної розробки руд кошових та кольорових металів, що обумовило широке застосування технології з закладкою при експлуатації вказаних родовищ [14].

Дослідженнями НДГРІ було встановлено, що область застосування систем з закладкою виробленого простору при видобутку рядових руд обмежена родовищами з високим вмістом корисного компоненту. На Україні підприємством, де застосовуються технології з закладкою виробленого простору при видобутку багатих залізних руд є Запорізький залізорудний комбінат, який розробляє Південно-Білозірське родовище. Воно представлено шароподібними рудними тілами, які залягають під високонапірним Бучакським водоносним горизонтом, представленим пливунними пісками. Крутопадаючі поклади потужністю від 15-20 до 100-180 м розвідані до глибини 1100 м. Встановлено вплив закладки виробленого простору на інтенсивність зрушення вміщуючі порід. Так, із зростанням висоти камер не тільки зменшуються втрати руди, але й зростає коефіцієнт заповнення камер закладним матеріалом, збільшується компресійне стиснення закладеного масиву, його щільність та боковий опір на вміщуючі породи. На комбінаті розроблена та застосована схема розкриття здвоєними поверхами висотою по 100 м. Виїмка руд виконується ромбовидними камерами з закладкою по схемі «камера – цілик». Висота та ширина камер відповідно 100 і 30 м, довжина – до 60 м. Втрати корисної копалини – 8%, а засмічення – 3% і є найкращими

показниками не тільки для підземних гірничих підприємств чорної, але і кольорової металургії. Повністю збережений рельєф денної поверхні від порушення, а також гідрорежими підземних вод. Водопритоки в шахту зменшилися з 5 до 1,8-2,0 тис. м³/год. та мають тенденцію до зниження. Закладка виробленого простору тверднучими та гідравлічними сумішами виконується з використанням відходів власного та суміжних виробництв. Повністю використовуються породи, розміром до 30 мм. Раніше відсипаний відвал використовується як компенсаційний склад закладки, котрий буде доведений до мінімальних розмірів через 8 років. Сумарний економічний ефект від застосування технології з закладкою виробленого простору шахти за роки експлуатації сягає більше 100 млн дол. США [14].

За кількістю вироблених відходів технології поділяються на безвідходні, маловідходні і відходні. Однак дотепер немає науково обґрунтованого критерію зазначеного поділу. На наш погляд, це пов'язано з тим, що для різних галузей промисловості, виду використовуваної сировини, обсягів виробництва і застосованих технологій цей критерій повинен мати індивідуальні значення. На нашу думку, для технологій, пов'язаних з відкритим видобутком корисних копалин, даний критерій може базуватися на точності визначення кількості основного компонента видобутку – корисної копалини, яка встановлює величину відходів. Згідно В.М. Крейтеру, точність визначення величини запасів корисної копалини за категоріями А і В становить відповідно ± 15 і 30%, а у світовій практиці $\pm 10-20\%$. Тоді до безвідходних можна віднести гірничі технології, де використовується більше 80% відходів, до маловідходних – переробляється до 60-70% відходів і до відходних – де використовується менше 60% відходів. Вказані показники використання відходів можуть бути змінені на відповідну величину комплексного використання розкривних порід. Кількісним критерієм маловідходності технологій в досліджуемому регіоні повинна також бути кількісна міра відходів, яка не може порушувати нормального функціонування і здатності до самовідновлювання природних систем регіону, де застосовується дана технологія. Дана кількість є визначаючою за рівнем впливу на оточуюче середовище.

Одним з основних напрямків створення маловідходних технологій у теперішній час є комплексне використання сировини, а також розробка принципово нових процесів і схем одержання відомих видів продукції з альтернативної сировини, переважне застосування систем замкненого (багаторазового) використання будь-якої сировини і природних ресурсів. У свою чергу, кількість споживання поновлюваних ресурсів не повинна перевищувати обсяги їх природного відтворення. Непоновлювані ресурси необхідно використовувати в замкнених циклах, які підлягали законам природного круговороту елементів у природі.

В залежності від використовуємих сировинних ресурсів можливі наступні форми комплексного освоєння родовищ:

- комплексне використання видобутої мінеральної сировини;
- комплексне освоєння близько розташованих, спільно залягаючих покладів з істотно різним мінерально-хімічним складом корисних копалин;
- комплексне освоєння родовищ з використанням порід розкриття.

Дослідженнями доведено, що утилізуючи відходи гірничого виробництва, можливо також скоротити обсяги видобуваної гірничої маси в країні на 20-25% і знизити загальну собівартість гірничодобувної продукції на 10-15%. Підприємства Кривбасу, використовуючи породи розкриття і відходи збагачення, можуть задовольнити більшу частину потреби у будматеріалах (бутовий камінь, щебінь, пісок) самого Кривбасу та суміжних районів. При цьому капітальні та експлуатаційні витрати на отримання цих матеріалів будуть у 2 рази нижчими порівняно з видобутком тих самих матеріалів на спеціальних підприємствах Мінбудматеріалів.

Найбільша кількість використаних відходів видобутку та збагачення припадає на виробництво фракційного щебеню та піску, а також виробів з важких бетонів – плит дорожнього покриття, елементів мощення, виготовлення бетонних та залізобетонних труб, шлакоблоків, фундаментних блоків та ін. Однак, перевезення у великих кількостях щебеню та піску з Кривбасу до споживачів, особливо залізничним транспортом, при існуючих обсягах перевезення товарної заліз-

ної руди, буде надто проблемним у зв'язку з наявним переважанням та обмеженою пропускною здатністю залізничних колій Придніпровського регіону.

Економічно ефективним напрямком утилізації відходів збагачення є також виготовлення з них гостродефіцитних стінових будівельних матеріалів – цегли, дрібних стінових блоків з пористого бетону, черепиці, облицювальних плиток, які виготовляються на великих заводах з метою здешевлення продукції. Виготовлення блоків з якісного пористого бетону дозволяє знизити у 2-4 рази сумарні енерговитрати на умовну оди-

ницю продукції у порівнянні з керамічною цеглою, в 1,1-1,3 рази – з силікатною цеглою і в 2,0-2,1 раз – з керамзитобетоном. Продуктивність праці при укладці пористих блоків у 2,5-3 рази вище, ніж при укладанні цегли.

Таким чином, на основі виконаних досліджень встановлені основні шляхи адаптації існуючих технологій відкритих гірничих робіт до вимог сталого розвитку суспільства, що дозволить значно зменшити їх негативний вплив на оточуюче природне середовище, покращити його стан та відтворити умови до прискороного самовідновлення і розвитку порушених екосистем.

Перелік посилань

1. Максимович Н.И. Днепр и его бассейн / Н.И. Максимович – Киев : типография С. Шапар А.Г. Методичні вказівки з розробки регіональних стратегій сталого розвитку / Шапар А.Г., Ємець М.А., Копач П.І. – Дніпропетровськ: Моноліт, 2003, – 131 с.
2. Першочергові заходи щодо втілення концепції переходу України до сталого розвитку в законодавчі акти. Екологія і природокористування / [Буркінський Б.В., Голубець М.А., Кухар В.П. та ін.]. – Дніпропетровськ : ІППЕ НАН України . – Вип. 10. – 2007. – С. 6-10.
3. Латкин А.С. Пылеподавление при бурении / Латкин А.С. – М.: Недра, 1992. – 165 с.
4. Борьба с пылью в рудных карьерах / [Михайлов В.А., Бересневич П.В., Борисов В.Г. и др.]. – М. : Недра, 1981. – 262 с.
5. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / [Ефремов Э.И., Бересневич П.В., Петренко В.Д. и др.]. – Днепропетровск : Січ, 1996. – 181 с.
6. Сытенков В.Н. Управление пылегазовым режимом глубоких карьеров / Сытенков В.Н. – М. : ООО «Геоинформцентр», 2003. – 288 с. ISBN 5-900357-85-6.
7. Зберовский А.В. Охрана атмосферы в экосистеме «карьер – окружающая среда – человек» / Зберовский А.В. – Днепропетровск, 1997. – 156 с.
8. Воеводка А., Кравец В.Г. Влияние технологических и конструктивных характеристик зарядов промышленных взрывчатых веществ на содержание токсических компонентов в газах взрыва / А. Воеводка, В.Г. Кравец // Вісник Національного технічного університету України „КПІ”. Сер. ”Гірництво” : Зб. наук. праць. – Київ : НУТУ „КПІ”: ЗАТ „Техновибух”. – 2000. – Вип. 4. – С. 59-65.
9. Рациональная технология ведения взрывных работ при разработке месторождений открытым способом с минимизацией техногенного загрязнения окружающей среды / Симоненко В.И., Пацера С.В., Гопанюк Д.Г. и др. // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 8. – С. 200-203.
10. Михайлов В.Д. Пылеподавление при выемочно-погрузочных работах на рудных карьерах / В.Д. Михайлов, П.В. Бересневич. – М. : Недра, 1976.
11. Потапов М.Г. Экологическая оценка технологических схем открытых горных разработок / М.Г. Потапов, А.Н. Комаров // Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 81-86.
12. Фесенко С.Л. Экологическая оценка применения перспективных типов вагонно-самосвалов / С.Л. Фесенко, В.С. Торос // Горный журнал. – 2004. – № 5. – С. 95.
13. Михальченко В.В. Землесберегающая технология отработки мощных наклонных и крутых залежей / В.В. Михальченко, С.А. Прокопенко, В.Г. Орлов // Уголь. – 1991. – № 5. – С. 44-46.

14. Сторчак С.А. Природоохранные технологии подземной разработки рудных месторождений в Украине / С.А. Сторчак, В.Г. Близиюков, Е.П. Чистяков и др. // Горный журнал. – 2005. – № 4. – С. 67-70.

N.I. Prosandeev, L.M. Kozlova **THE BASIC WAYS OF ADAPTATION OF
TECHNOLOGIES OF THE OPENED MOUNTAIN
WORKS TO THE REQUIREMENTS OF STEADY
DEVELOPMENT OF SOCIETY**

*Institute for Nature Management Problems and Ecology of National Academy
of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk*

The basic ways of adaptation of existent technologies of the opened mountain works are certain to the requirements of steady development of society, that will allow considerably to decrease their negative influence on a natural environment, to improve its state and create terms for speed-up self-restoration and development of broken ekosistem.

*Надійшла до редколегії 1 лютого 2011 р.
Рекомендовано членом редколегії канд. техн. наук М.А. Ємцем*