

СУЧАСНИЙ СТАН І ОСНОВНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ВИБУХОВОЇ РУДОПІДГОТОВКИ НА КАР'ЄРАХ

(Представлено д.т.н., проф. Федоренком П.Й.)

Виконано аналіз розвитку та сучасного стану буровибухових робіт на залізрудних кар'єрах. Надано порівняльну оцінку впливу природних і технологічних чинників на якість вибухової підготовки руд і подальшої їх переробки. Порівняно та проаналізовано основні технологічні рішення, через управління параметрами яких можна впливати на якість вибухової рудопідготовки. Проаналізовано переваги уповільненого підривання і наведено оцінку різних схем комутації свердловинних зарядів. Керуючи діапазоном інтервалів уповільнення можна забезпечити ефективну взаємодію хвиль напруги. Застосовуючи ту чи іншу схему, можна змінювати коефіцієнт зближення зарядів і лінію найменшого опору. Великі перспективи вдосконалення буровибухових робіт пов'язані з використанням внутріньосвердловинного уповільнення і застосуванням методу підривання в затиснутому середовищі. Зменшення ширини робочих майданчиків і ускладнення гідрогеологічного режиму на глибоких горизонтах кар'єрів обумовлюють зниження ефективності класичних методів управління якістю вибухової рудопідготовки. Визначено основні напрями вдосконалення технології вибухової рудопідготовки з урахуванням параметрів сучасних кар'єрів і істотної зміни гірничо-геологічних та гідрогеологічних умов розробки.

Ключові слова: залізрудний кар'єр; вибухова рудопідготовка.

Постановка проблеми. Геометричні параметри уступу, структура пласта, міцність та інші властивості порід визначають результати дроблення гірничої маси. При цьому основними фізико-механічними параметрами, що впливають на якість відбійки масиву під час вибухових робіт, є: щільність, шпаруватість, межі міцності на стиснення, розтяг і зсув, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона і ряд акустичних параметрів (швидкість поширення поздовжніх і поперечних хвиль, акустична жорсткість, коефіцієнт поглинання пружних коливань). Крім цього, найбільше впливають на якість дроблення гірських порід типи вибухових речовин, засобів підривання, конструкції зарядів, схеми і способи підривання, що використовуються. З перерахованих факторів на результати вибуху можливо впливати лише через технологічні фактори. Теорія гірничої справи ще не має однозначного рішення проблеми визначення оптимальних параметрів вибухової рудопідготовки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У вітчизняній і зарубіжній літературі [1–18] багато робіт присвячено пошукам необхідної енергії заряду для отримання гірничої маси заданої кусковатості під час відбійки крупних гірських порід. Практично була доведена можливість регулювання ступеня дроблення порід за допомогою питомої енергії заряду вибухової речовини (ВР) за будь-якого діаметра заряду.

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз сучасного стану та визначення основних напрямів розвитку процесів рудопідготовки на кар'єрах.

Викладення основного матеріалу і результатів досліджень. Істотному поліпшенню якості дроблення сприяло широке впровадження гранульованих і водонаповнених вибухових речовин. Їх застосування забезпечило високу працездатність, водостійкість і можливість механізованого заряджання свердловин. За своїми характеристиками ці вибухові речовини знаходили застосування в свердловинах великого діаметра. Паралельно з розвитком гранульованих тротиловмісних вибухових речовин розроблялися і впроваджувалися склади на основі аміачної селітри. У СРСР застосування отримав ігданіт – суміш гранульованої аміачної селітри і дизельного палива. Такі ВР знайшли застосування в країнах далекого зарубіжжя. Їх недоліком є низька стабільність суміші, тому знадобилося проведення робіт зі стабілізації суміші шляхом введення спеціальних добавок [1–4].

У зв'язку зі збільшенням обводненості масивів на глибоких горизонтах виникла необхідність у розробці водостійких вибухових речовин, що залежно від складу і способу приготування поділяються на суспензійні, гелеподібні і емульсійні. Знайшла широке застосування вибухова речовина ГЛТ-20, для чого було створено спеціальне устаткування для прикар'єрних комплексів з приготування ГЛТ-20 і змішувально-зарядних машин – Акватол. Такі комплекси продуктивністю 30 тис. т на рік успішно застосовуються на кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів. На кар'єрах США водовмісні вибухові суміші виробляють на стаціонарних пунктах і в процесі заряджання свердловин змішувально-зарядними машинами шляхом змішування попередньо підготовлених компонентів. Одним з недоліків цих ВР є неможливість їх застосування в сильнотріщинуватих обводнених породах, оскільки вони проникають у наскрізні тріщини і вимиваються проточними водами, що призводить до збільшення їх питомої витрати та витрат на проведення вибухових робіт, разом з непрогнозованим вибоєм тротилу і нітратів. У цьому аспекті явні переваги мають суспензійні ВР, пластифіковані водним гелем, проте недостатня їх потужність і відсутність спеціальних змішувально-зарядних машин для закачування в'язких складів під стовп води обмежили їх область застосування. Сучасні водогелеві ВР являють собою багатоконпонентні суміші з досить складною технологією виготовлення. Вони складаються з рідкої та твердої фаз, якими служать концентрований розчин і гранульована аміачна, натрієва або кальцієва селітра. До складу входять також горючі компоненти і сенсibilізатори. Багатоваріантність процентного вмісту різних компонентів дозволяє отримати склади з широким діапазоном властивостей. Іноді їх питома теплота вибуху змінюється від 2900 до 6100 кДж/кг, а щільність – від 0,8 до 1,6 г/см³.

Значний інтерес становить новий різновид водомістких сумішей – емульсійні ВР, що розроблені і почали застосовуватися в кінці 60-х років у США й переважають у даний час в умовах обводнених порід. Відмінною рисою цих ВР є велика поверхня контакту між окиснювачами і паливом, через тонке диспергування. Їм властива також висока працездатність, безпека в обігу і екологічна чистота, можливість регулювати їх детонаційні характеристики, стабільність складу і водостійкість. Український варіант емульсійної ВР під назвою Україніт-Д розроблений під керівництвом Р.С. Крисіна [5–7]. До його складу входить висококонцентрований розчин бінарного окислювача, комплексний емульгатор, случений перлітовий пісок. За своєю сенсibilізуючою здатністю перлітовий пісок, запаси якого в Україні значні, рівноцінний більшості мікросфер, але швидкість детонації емульсійного ВР за його використання трохи нижча. Емульсійна ВР Емульхім ШМ має щільність 1,15–1,35 г/см³ і теплоту вибуху 2633 кДж/кг, що становить 0,62 тротилового еквівалента. Цього недостатньо для дроблення міцних і дуже міцних порід.

Викладене дозволяє зробити висновок про те, що розробка у різний час у різних країнах промислових вибухових речовин для ведення відкритих гірничих робіт йшла шляхом збільшення питомої ваги вибухових речовин місцевого приготування з невибухових компонентів. При цьому прагнули до поліпшення їх екологічних характеристик, у тому числі і шляхом виведення з ужитку тротиловісних ВР. Для глибоких залізородних кар'єрів, що відпрацьовують обводнені родовища, найбільше підходять емульсійні ВР.

Під час розробки родовищ відкритим способом використовують два види ініціювання – лінійне і точкове (багатоточкове), що може бути реалізоване за допомогою різних засобів підривання [8–10].

Практика показала, що найбільш ефективним способом ініціювання свердловинних зарядів у кар'єрах є точкове ініціювання з використанням потужних бойовиків [11–12].

Розробці нових надійних, безпечних засобів і способів ініціювання сприяла велика різноманітність вибухових речовин і гірничотехнічних умов розробки родовищ. Одним з таких досягнень у технології вибухових робіт є створення, розробка і широке впровадження надійних систем неелектричного ініціювання з уповільненням у свердловині. Такими системами є Нонель, Деталайн, Прімадет, Херкудет та ін., що гарантують безпеку, не піддаються впливу сторонньої електрики і грозових розрядів. Упродовж тривалого часу широко використовувалися детонаційні реле типу КЗДШ або РП, що дозволяли забезпечити задану послідовність підривання, але не могли забезпечити внутрішньосвердловинного сповільнення.

Значно впливає на показники буровибухових робіт під час відкритої розробки родовищ конструкція свердловинного заряду. За цим показником існуючі конструкції підрозділяються на кілька груп.

У свердловинних зарядах із суцільною колонкою вибухової речовини за точкового ініціювання фронт детонаційної хвилі складає з віссю заряду в першому наближенні кут 90°. У цьому випадку хвилі напружень у середовищі утворюють на ділянці циліндричного заряду, де відбувається активний процес детонації, конічний або сферичний фронт, залежно від співвідношень швидкостей детонації ВР і звукової хвилі в середовищі.

Дуже важливим є місце розміщення точки ініціювання заряду. Дослідженнями встановлено, що в точці сполучення укусу уступу з підшовою величина напруг, що викликає деформацію зсуву по площині підшви, в два рази більша при ініціюванні знизу, ніж при ініціюванні згори. При цьому питання дотичних напружень по лінії укусу в цій точці протилежні за напрямком. У [13] показано, що при

нижньому ініціюванні змінюється кут між фронтом хвилі напруг і укосом уступу, що призводить до підвищення інтенсивності дроблення і покращує якість відпрацювання підшви уступу. При цьому зроблено важливий висновок про те, що напрямок детонації в заряді має вирішальне значення в розподілі імпульсів вибуху в середовищі. Це саме підтверджено в [9], де зазначається, що при ініціюванні свердловинних зарядів знизу досягалося зниження виходу негабариту на 6–10 % і на 10–12 % – загальних витрат на проведення буровибухових робіт. Щодо багатоточкового ініціювання, то його ефективність оцінюється по-різному. При цьому наголошується можливість забезпечення зустрічі детонаційних хвиль у кожному, заздалегідь обраному місці свердловини або шпурі. Завдяки багаторазовому збільшенню тиску під час взаємодії двох детонаційних хвиль відбувається інтенсивне дроблення гірничої маси. Найбільший ефект спостерігається під час зустрічі хвиль на рівні підшви уступу. Вказується також на взаємодію полів напружень у середовищі у випадку поширення детонаційних процесів назустріч один одному. Ряд дослідників вважає, що лінійне ініціювання зарядів ВР детонуючим шнуром паралельно до осі заряду збільшує вибухову вирву, ступінь дроблення середовища. Ці явища пов'язують зі зменшенням часу вибухового перетворення ВР у заряді. При лінійному ініціюванні заряду змінюється не лише швидкість, але й напрям поширення детонаційної хвилі [14, 15].

Значний обсяг досліджень із вивчення можливостей лінійного ініціювання в умовах кар'єрів Кривбасу виконано фахівцями підприємства «Кривбасвибухпром», при цьому розроблено різні конструкції свердловинних зарядів із застосуванням лінійних ініціаторів, комбінаціями малопотужних і потужних шнурів, а також схемами взаємодії зарядів різних конструкцій.

Певну зацікавленість викликають комбіновані заряди, сформовані з різних типів ВР, що дозволяє змінювати конструкції енергії ВР за висотою уступу, що руйнується залежно від властивостей гірських порід, які складають масив. У практиці використовувалися також розосереджені заряди, що складаються з двох або більше частин, розділених повітряними проміжками. Така конструкція є ефективною у разі послідовного ініціювання нижньої і верхньої частин заряду, що дозволяє збільшити час і ступінь впливу вибуху на масив і використовувати різні типи ВР.

У практиці вибухової справи мали місце конструкції зарядів із повітряними проміжками вище заряду і замикаючих пристроїв, а також підривання частин заряду з внутрішньосвердловинними сповільненнями. Застосовувалися також конструкції свердловинних зарядів з котловими розширеннями, з осьовими порожнинами, а також зі східчастими зарядами. Заслужує на увагу застосування в конструкціях зарядів спеціальних, так званих універсальних канальних бойовиків, що успішно проходять випробування в поєднанні з новою вибуховою речовиною Україніт-М. Відомі випадки застосування в обводнених свердловинах з непроточною водою комбінованих зарядів з водостійких і неводостійких вибухових речовин. Позитивні результати мали місце під час використання спеціальних конструкцій зарядів з повітряними та інертними проміжками при відбійці гірських порід у безпосередній близькості до об'єктів, що охороняються, з метою зниження руйнування масиву. У цьому випадку застосовують також звичайне контурне підривання з попереднім щілиноутворенням. У додатково пробурених зближених свердловинах формують заряди зі зменшеною лінійною масою, з радіальними повітряними проміжками.

Одним із найважливіших досягнень в області вибухових робіт є застосування багаторядного сповільненого підривання, що забезпечує якісне дроблення гірничої маси і зниження сейсмічного ефекту. Одним із основних факторів, що визначають ефективність використання сповільненого підривання, є інтервал часу сповільнення між вибухами зарядів або серіями зарядів. За сповільненого підривання відбувається накладення процесів, що мають місце у породі на момент вибуху, та їх взаємодія на різних стадіях розвитку. Залежно від величини сповільнення змінюється і характер взаємодії зарядів. Щодо умов взаємодії зарядів існує кілька гіпотез, які показують, що дроблення порід за такого способу підривання поліпшується в результаті взаємодії хвиль напруг і використання напруженого стану масиву, викликаного попереднім вибухом суміжних зарядів, утворення додаткової вільної поверхні або поверхні розділу між частинами масиву, що зруйновані і руйнуються, яка дозволяє йому при подальшому вибуху деформуватися і переміщуватися в бік новоутвореної поверхні; співудар мас породи, що переміщаються вибухом. На процес руйнування гірських порід за допомогою сповільненого підривання істотно впливає механізм вибухового руйнування порід з різними властивостями.

Діапазон зміни інтервалів сповільнення, що забезпечує взаємодію хвиль напруг і використання напруженого стану порід, залежить від параметрів хвилі напружень і швидкості пружних хвиль. Існує кілька способів визначення інтервалу сповільнення. Кожен з цих способів ґрунтується на поглядах автора щодо механізму вибухового руйнування. Найбільш відомі методи визначення інтервалу сповільнення за Г.І. Покровським, А.Н. Ханукаєвим, В.Н. Мосінцем. Усі запропоновані методи дозволяють лише орієнтовно встановлювати раціональні інтервали сповільнення для конкретних умов. У процесі проведення дослідних вибухів його уточнюють, щоб довести режим сповільненого підривання

до оптимального, з метою отримання найкращих результатів дроблення і розвалу підірваної гірничої маси [16].

За відкритої розробки на практиці використовують безліч різних схем підривання. Застосовуючи ту чи іншу схему, можна змінювати коефіцієнт зближення зарядів і лінію найменшого опору. За кількістю вибухових навантажень, що діють на призму гірських порід, обмежену найближчими зарядами, схеми можна розділити на групи, кожна з яких забезпечує певний режим вибухових навантажень: одно-, дво-, три- або чотириразове навантаження.

У напрямку фронту відбійки, щодо бровки уступу, схеми сповільненого підривання поділяють на поздовжні, поперечні, діагональні, а також з ламаним і дугоподібним розташуванням щодо груп зарядів, що підриваються. При цьому більшість схем мають прямолінійну конфігурацію фронту відбійки, що утворюється в результаті одночасного ініціювання зарядів, розташованих по прямій лінії, відстань між якими не перевищує подвійного радіуса руйнування. Кутова конфігурація фронту відбійки отримується в результаті послідовного сповільненого підривання зарядів, розташованих в одному ряду. Крім того, існує також так звана зубчаста лінія відбійки, яка утворюється за одночасного підривання зарядів, розташованих на відстані, що перевищує подвійний радіус руйнування, а також ламана лінія вибою, яка виходить за клинових і трапецієподібних схем підривання. Обмежене застосування має дугоподібна лінія відбійки, що характерна для радіальних схем підривання [17].

За допомогою схем підривання можна керувати параметрами розвалу і коефіцієнтом розпушення гірничої маси. Підвищення якості дроблення гірських порід значно залежить від умов відбійки. В останні роки успішно застосовується відбійка гірничих порід у так званому затиснутому середовищі. Цей метод підривання виконується в декількох варіантах, що різняться кількістю і розташуванням поверхонь оголення, характером підірної стінки та послідовністю підривання окремих зарядів, які визначають схему підривання. До першого варіанта належить підривання в абсолютно затиснутому середовищі, коли є лише одна вільна площа (проведення розрізної траншеї, зумпфа та інших спеціальних виробок). Другий варіант – підривання системи зарядів у блоці уступу на підірну стінку, величина якої або повністю виключає видиме горизонтальне зміщення підірваної гірничої маси, або сприяє значному скороченню ширини розвалу. Третій варіант належить до підривання значної кількості поздовжніх рядів свердловинних зарядів (більше 5–6) у разі застосування діагональних або поперечних схем підривання. У цьому випадку підірпа стінка з неприбраної гірничої маси не є обов'язковою. Метод підривання в затиснутому середовищі є досить ефективним, оскільки дозволяє керувати енергією вибуху для якісної підготовки гірничої маси.

Враховуючи зростаючі обсяги вибухових робіт і розташування блоків, що підриваються на значних відстанях один від одного, виникла необхідність у розробці систем управління вибухом на відстані. Такі системи були розроблені в Ленінградському гірничому інституті, Київському інституті автоматики і підприємстві «Кривбасвибухпром» спільно з НДІЧермет. Однак на практиці знайшла застосування лише система радіопідривання «Грім». Цей пристрій складається з командного і виконавчих блоків. Командний блок спільно з прийомопередавачем радіостанції встановлюється за межами небезпечної зони на борті кар'єру і забезпечує передачу кодованих команд для перевірки радіоканалу і підривання. Блок може встановлюватися в спеціально обладнаному автомобілі. Кількість виконавчих блоків, що працюють з одним командним, не обмежується. Застосування радіопідривання на кар'єрах дозволяє скоротити витрату детонуючого шнура, зменшити трудові витрати на монтаж вибухової мережі і підвищити сейсбезпеку робіт.

Враховуючи збільшення обводнення масивів гірських порід з глибиною розробки, особливого значення набувають методи ведення вибухових робіт у таких умовах. Вище нами згадані сучасні водостійкі вибухові речовини. Однак для їх використання необхідно мати чітку інформацію про обводнені ділянки покладів. При цьому особливе значення має стан води в свердловині. Практика показує, що в деяких свердловинах швидкість фільтрації води досягає до 10 м/добу. З метою визначення обводнених ділянок розроблені спеціальні гідрокарти. В умовах Кривбасу обводнення частина кар'єрного поля умовно поділяється на чотири зони: з непроточною, слабо проточною, проточною і сильно проточною водою з чисельними значеннями швидкостей фільтрації води, використовуючи при цьому розроблену В.Н. Удаловим класифікацію вибухових робіт за гідродинамічним режимом. Для збереження заряду в умовах високої швидкості фільтрації води потрібно гідроізолювати стінки свердловин або заряди ВР. Спроби використовувати для цього поліетиленову плівку (рукави) в процесі заряджання поки не дають бажаних результатів через зниження продуктивності зарядних машин і низьку надійність гідроізоляції. Тому як основні методи ведення вибухових робіт в обводнених умовах можуть слугувати лише водостійкі тротиловмісні вибухові речовини [18].

Висновки та напрямки подальших досліджень. Аналізуючи сучасний стан вибухових робіт на кар'єрах, можна зробити наступні основні висновки.

На досягнутих глибинах сучасних кар'єрів істотно змінилися гірничо-геологічні та гірничо-технологічні умови ведення гірничих робіт. Значно зросла питома вага міцних, тріщинуватих,

обводнених, різномісних гірських порід. Зменшилася ширина робочих площадок, що не дозволяє повною мірою використовувати багаторядне сповільнене підривання для отримання якісного дроблення, формування компактного розвалу підірваної гірничої маси і високого ступеня опрацювання підшви.

Залишається нерозв'язаною проблема управління вибуховою підготовкою гірничої маси з попереднім вибуховим розміщенням шматків.

Виникла необхідність у вирішенні двох основних завдань для гірничо-збагачувального переділу: отримання вихідного якісного дроблення і розміщення для шарового подрібнення й отримання заданого співвідношення між фракціями різних розмірів для млинів самоподрібнення.

У зв'язку з викладеним, актуальною є розробка ефективних методів підривання залізородних кварцитів, що забезпечують ефективний гірничо-збагачувальний їх переділ з урахуванням змінених умов сучасних гірничо-збагачувальних комбінатів.

Список використаної літератури:

1. Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США / В.Л. Барон, В.Х. Контор. – М. : Недра, 1989. – 336 с.
2. Взрывные работы в горнорудной промышленности / Л.И. Барон, М.Н. Докучаев, Г.А. Васильев и др. – М. : Госгортехиздат, 1960. – 182 с.
3. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах / М.А. Кук. – М., 1980. – 280 с.
4. Покровский Г.И. Взрыв / Г.И. Покровский. – М. : Недра, 1980. – 192 с.
5. Крысин Р.С. Новые взрывчатые вещества / Р.С. Крысин // Горный журнал. – 1999. – № 6. – С. 45–47.
6. Светлов Б.Я. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ / Б.Я. Светлов, Н.Е. Еременко. – М. : Недра, 1973. – 232 с.
7. Совершенствование ассортимента промышленных ВВ за рубежом / В.М. Скоробогатов, Б.Н. Кукиб, З.Г. Поздняков и др. // Взрывное дело. – М. : Недра, 1985. – Вып. 87/44. – С. 174–182.
8. Ефремов Э.И. Взрывание с внутрискважинными замедлениями / Э.И. Ефремов. – К. : Наук. думка, 1971. – 172 с.
9. Власов О.Е. Основы теории взрыва / О.Е. Власов. – Воениздат, 1958. – 95 с.
10. Баум Ф.А. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко. – М. : Наука, 1975. – 704 с.
11. Воробьев В.Д. Исследование каскадного инициирования удлиненных цилиндрических зарядов ВВ / В.Д. Воробьев, И.Н. Ковтун, А.А. Дауэтас // Использование взрыва при разработке нескальных грунтов. – К. : Наук. думка, 1978. – С. 62–67.
12. Ефремов Э.И. Механика взрывного разрушения пород различной структуры / Э.И. Ефремов, В.Д. Петренко. – К. : Наук. думка, 1984. – 192 с.
13. Кучерявый Ф.И. Влияние нижнего инициирования на качество взрыва / Ф.И. Кучерявый, А.В. Олейников // Разработка рудных месторождений. – № 5. – К. : Техника, 1968. – С. 89–92.
14. Федоренко П.И. Взрывные работы на глубоких карьерах / П.И. Федоренко, В.И. Борисов, К.А. Гапоненко. – Кривой Рог : Минерал, 1996. – 154 с.
15. Применение многоточечного инициирования при взрывании высоких уступов на карьере № 1 ЦГОКа / Г.Н. Шулин, О.В. Дымченко, П.И. Федоренко и др. // Горный журнал. – 1977. – № 6. – С. 24–25.
16. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом / А.Н. Ханукаев. – М. : Недра, 1974. – 222 с.
17. Клевцов И.В. Схемы взрывания на карьерах и качество дробления горной массы / И.В. Клевцов, П.И. Федоренко. – К. : Техника, 1981. – 104 с.
18. Мец Ю.С. Взрывные работы в сложных гидрогеологических условиях / Ю.С. Мец. – К. : Техніка, 1979. – 109 с.

ЛЕВИЦЬКИЙ Андрій Павлович – генеральний директор ТОВ «МІ-Центр».

Наукові інтереси:

– технологія відкритих гірничих робіт у залізородних кар'єрах;

– буровибухові роботи.

Тел.: (056) 410-01-49.

E-mail: levitskyuap-micentre@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 13.05.2015