

## **АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА КАР'ЄРАХ З ВИДОБУВАННЯ ОБЛИЦЮВАЛЬНОГО КАМЕНЮ З ВИСОКОМІЦНИХ ПОРІД**

При виконанні аналізу технологічних процесів, пов'язаних із підготовчими та видобувними операціями в межах дії технологічного комплексу, на кар'єрах з видобування блочного каменю високої міцності, було виділено наступні ключові технологічні операції:

- проведення підготовчих операцій для відокремлення масиву;
- відокремлення моноліту від основного масиву;
- проведення операції з завалювання моноліту;
- розділення моноліту на товарні блоки.

Такий систематичний підхід до розгляду технологічних процесів дозволяє вдосконалити управління видобувним процесом та забезпечити ефективну організацію виробничих процесів на кар'єрі, що сприяє оптимізації виробничих витрат та збільшенню продуктивності гірничого підприємства.

В більшій частині покладів облицювального каменю присутні скельні розкриті породи, які попередньо потрібно відпрацювати. При цьому важливо забезпечити цілісність гірської породи та її фізико-технічних та декоративних властивостей для основного масиву. Це, в свою чергу, обмежує використання різноманітних методів підготовки порід до видобутку. Практично застосовують два підходи: вибуховий та механічний.

Вибухова дія бризантних вибухових речовин дозволяє отримати розірвану гірську масу, кускуватість якої гарантує ефективну роботу виймально-навантажувального обладнання. Проте їх використання може створити нові техногенні тріщини.

При невеликій потужності скельного розкриття можна використовувати метод шпурових зарядів, який забезпечує ефективне розділення порід потужністю менше 2 метрів. Однак недоліком є великий обсяг бурових робіт на 1 м<sup>3</sup> породи, необхідність підривання великої кількості зарядів для забезпечення продуктивної роботи виймально-навантажувального обладнання та значні витрати на засоби підривання.

Існує значна кількість методів відокремлення монолітів від масиву та їх поділу на товарні блоки. Для належної організації технологічного процесу видобування товарних блоків необхідно правильно вибрати метод відокремлення моноліту від масиву та поділу моноліту на товарні блоки.

В роботі було проаналізовано різні способи відокремлення, які можна найбільш ефективно використовувати для родовищ високоміцних порід: габро, граніту та лабрадориту.

Кожен із зазначених нижче методів відокремлення має свої плюси та мінуси.

### *Механічний спосіб*

#### *Застосування канатного різання.*

Позитивні сторони: висока швидкість різання; значна довжина різання при невеликій ширині пропилу; висока якість пропилу, що зменшує втрати сировини; ефективність в економічному плані; низьке енергоспоживання; можливість видобування блоків великих розмірів.

Негативні сторони: різкий спад продуктивності та техніко-економічних показників при високій тріщинуватості масиву та наявності в породі твердих включень; наявність підготовчих робіт, зокрема буріння свердловин для заведення канату; значні витрати на канат; сезонність виконання робіт.

*Суцільне оббурювання.* Шляхом суцільного оббурювання передбачається формування щілини вздовж контуру блоку, який відокремлюється. Для цього проводять буріння ряду свердловин, розташованих впритул одна до одної на всю висоту блоку.

Позитивні сторони: висока збереженість каменю; точність розмірів відокремлених монолітів.

Негативні сторони: великий обсяг бурових робіт; значні втрати при утворенні щілини; висока трудоемність; можливість відхилення робочого інструменту від заданого напрямку буріння.

*Відокремлення монолітів розклинюванням.* Передбачає формування стрічки шпурів, де встановлюються клини. Розпірні сили виникають внаслідок ударів по клину (ручні клини) або завдяки тиску гідравлічної сили (гідроклинів) – цей метод виявляється більш ефективним для високоміцних дрібнозернистих порід, зокрема типу габро.

При використанні ручних клинів відзначаються такі переваги: якість блоків; не вимагає застосування дорогих машин та механізмів; максимальне використання тріщинуватості масиву.

Однак існують недоліки: залучення ручної праці; обмежена продуктивність; великий обсяг буріння шпурів; обов'язкове формування трьох вільних площин у вибої.

При використанні гідроклинів спостерігаються такі позитивні сторони: полегшення умов праці робітників; покращення якості блоків; збільшення продуктивності видобувних робіт; простота та безпека експлуатації; можливість відокремлення блоків різних розмірів; максимальне використання тріщинуватості масиву.

До недоліків можна віднести: збільшення об'єму буріння шпурів; висока собівартість блоків (близько 80%, яке припадає на бурові роботи); обов'язкове формування трьох вільних площин у вибої; значні витрати на відходи каменю через знос розколювання – діагональний скол, направлений під кутом до наміченої площини відколювання.

*Відколювання розпірними пристроями або гідроросплітерами* – полягає у формуванні ряду шпурів

(свердловин), в які вставляють розпирні пристрої – гідророксплітери. Руйнування гірських порід здійснюється завдяки навантаженню на стінки свердловини пуансонами, які ініціюють утворення тріщин у визначеному напрямку.

Переваги цього методу включають такі аспекти: простота конструкції (не вимагає гідравлічної суміші для зворотного ходу); можливість використання в стиснених умовах; зменшена маса та компактність; різноманітні технологічні схеми використання (паралельне або послідовне з'єднання гідророксплітерів у робочі системи).

У той же час, існують певні недоліки: обмежений робочий хід (8-18 мм), що робить застосування гідророксплітерів менш ефективним для міцних порід; діаметр свердловини при використанні гідророксплітера повинен перевищувати діаметр пристрою на 2-5 мм.

#### *Вибуховий спосіб*

*Вибійка з використанням димного пороху.* Різновиди вибухової відбійки включають одиночну свердловину, групову, шпурову, парно-зближену свердловину або шпурову, та контурну. В площині необхідного відколу формують стрічку шпурів (свердловини), заповнену димним порохом у спеціальних водонепроникних обгортках. Щоб уникнути «прострілу» заряду, шпур тісно заповнюють піском, дерев'яною або алюмінієвою трубкою. Ініціюючими елементами можуть бути ДШ або електрозапальники.

Переваги цього методу включають: можливість використання для видобування різних гірських порід; застосування при ускладнених гірничо-геологічних умовах; невисока енерго- та матеріальноємність процесу підготовки блоків до виймання; простота процесу.

Недоліки включають: порушення монолітності породи (що може призвести до зменшення виходу готової продукції); утворення небажаних системних мікротріщин; необхідність проведення вибуху виключно спеціалізованими службами; можливість відмови заряду; складність зберігання і перевезення вибухових речовин.

*Використання детонаційно-шнурового вибухового матеріалу (ДШ).* Для вибуху зарядів ДШ використовують магістральний дріт детонуючого ДШ, до якого послідовно приєднують зростки, що йдуть від кожного шпура заряду. Ініціювання виконується капсуль-детонатором або електродетонатором. Одночасне підривання всіх відрізків ДШ за допомогою промислових електродетонаторів неможливе. Відривання моноліту відбувається через тиск газоподібних продуктів детонації та прямих хвиль напруги. Швидкість детонації ДШ становить приблизно 6 500 м/с, відстань між шнурами складає 15-50 см, а час затримки для кожного заряду – 50-70 мкс.

Переваги цього методу включають: збереження монолітності; можливість відколу моноліту від масиву та його переміщення; максимальний вихід блоків при мінімальних витратах; висока продуктивність.

Недоліки включають: великий обсяг бурових робіт; високі вимоги до точності буріння (шпури повинні бути строго паралельними та мати однакову відстань один від одного).

#### *Фізико-технічні способи*

*Використання термогазоструминних пальників.* Термогазоструминне різання здійснюється за допомогою пальника з температурою 2 000 К та газів, що витікають із сопла пальника і створюють тепловий ударний імпульс при дотику з поверхнею каменю. Термогазодинамічне різання використовує кінетичну енергію термоструменя для руйнування каменю шляхом безпосередньої газодинамічної дії, досягнутої пальниками пульсуючого типу.

Переваги включають: низька трудомісткість порівняно з бурінням і вибуховим методом; висока якість видобутих блоків; високий вихід блоків.

Недоліки цього методу включають: висока вартість експлуатації через підвищення цін на паливо в умовах сучасної економіки; великі втрати каменю на пропили; значний обсяг ручної праці; високий рівень шуму під час роботи; висока загазованість робочого приміщення; обмежена швидкість проходження щілин; вимоги до безпеки ведення робіт; низька продуктивність при великій тріщинуватості масиву; можливість використання методу тільки для кварцевмісних порід.

*Застосування неініційованого розтріскування порід.* Принцип полягає у створенні шпурів, куди потім вводять розчин невибухової руйнуючої суміші (НРС). Після змішування суміші з водою отриманий розчин подають в шпури, робочий розчин згущується, збільшуючи свій об'єм і створюючи тиск, який призводить до руйнування порід у заданому напрямку.

Переваги цього методу включають: відсутність шуму; НРС розвивають великі зусилля в шпурах, що дозволяє регулювати розміри монолітів та блоків з мінімальними витратами матеріалу; збереження цілісності масиву, оскільки навантаження на саме напружене зростає плавно до повного розколювання порід; високий вихід блоків високої якості; можливість виконання декількох операцій одночасно; відсутність необхідності в складному та високовартісному обладнанні.

Недоліки методу включають: обмежена можливість використання невибухових руйнуючих сумішей при низьких температурах; висока гігроскопічність порошку; необхідність точного дотримання співвідношення НРС і води в робочій суміші, порушення якого не лише знижує продуктивність, але може призвести до повної його втрати.

#### *Комбіновані способи*

Існує значна різноманітність комбінованих методів видобування. Для високоміцних порід застосовуються наступні підходи:

Механічне нарізання щілин полягає у поєднанні суцільного оббурювання та використання вибухової відбійки; поєднання механічної підрізки моноліту з іншими методами його остаточного відокремлення.

Способи з термонарізанням щілин: поєднання термонарізання з використанням вибухового відбивання; поєднання термонарізання з клиновим розколюванням; поєднання термонарізання з неініційованим розтріскуванням.

Способи з використанням початкового НРС: поєднання НРС із процесом гідророзколювання; поєднання НРЗ із використанням електроімпульсних установок.

Відокремлення монолітів від масиву. Включає дві основні операції: відокремлення моноліту від масиву та його завалювання для подальшого розділення на блоки, іноді ці етапи можуть поєднуватись.

Найпоширеніші методи завалювання монолітів:

- завалювання монолітів гідродомкратами;
- переміщення та завалювання моноліту за допомогою пристроїв, що розширюються;
- переміщення та завалювання моноліту за допомогою колісного фронтального навантажувача зі знімним обладнанням.

Завалювання монолітів гідродомкратами передбачає використання комплексу двоступеневого насоса, з робочим тиском 70 МПа, на візку та двох гідродомкратів, пов'язаних із насосом гнучкими шлангами.

Переваги: збереження монолітності каменю; мобільність та маневреність; великі розпірні сили (до 1 280 кН і більше); можливість використання як при відриванні від вертикальної площини, так і похилій чи горизонтальній; простота й безпека експлуатації; можливість відокремлення блоків різних розмірів; максимальне використання тріщинуватості масиву.

Недоліки: необхідність створення додаткової пом'якшувальної «подушки» та спеціальних ніш; значна вага гідродомкратів (від 64 до 90 кг); необхідність ручної установки обладнання; великі втрати часу на переміщення моноліту.

Переміщення та завалювання монолітів з використанням пристроїв, які розширюються (спеціальних пневмоподушок із твердої гуми). При наповненні повітрям подушки розширюються, що дозволяє здійснювати посування моноліту із зусиллям до 550 кН. Кожні 15-20 см переміщення подушку знімають, переміщують у потрібне місце та знову наповнюють компресором до досягнення потрібної величини переміщення моноліту.

Переваги: збереження монолітності каменю; невелика маса обладнання; мобільність та маневреність; відсутність потреби в утворенні спеціальних ніш для розстановки опорних пристроїв; можливість відокремлення блоків різних розмірів.

Недоліки: стандартні розміри подушок (0,6×0,6×0,4 та 0,6×0,8×0,4 м) є досить товстими, тому їх часто неможливо вводити вузькі щілини відокремленого моноліту; висока вартість подушок; існує ризик пошкодження подушок гострими кутами каменю, після чого їх використання може стати неможливим.

Переміщення та завалювання моноліту за допомогою колісного фронтального навантажувача включає в себе використання змінного навісного обладнання (стріли та вил), а також використання сили двигуна навантажувача та його власної маси. Вилами можливе відривання та підняття моноліту від горизонтальної поверхні, тоді як стріла з особливим металевим зубом дозволяє посування моноліту від вертикальної поверхні в напрямку навантажувача.

Переваги: відсутність ручної праці; мінімальні втрати часу під час переміщення моноліту; відсутність втрат матеріалу.

Недоліки: обмежений розмір монолітів, які можна переміщувати.

Після відокремлення моноліту від масиву та його завалювання, переходять до розділення моноліту на товарні блоки. Цей процес виконується подібними методами, які використовуються для відокремлення моноліту від масиву, але він має певні технологічні відмінності.

Найпоширенішими методами поділу моноліту є: розколювання моноліту ручними клинами та гідроклинами; поділ монолітів гідророзколюючими пристроями; розколювання монолітів підриванням детонуючого шнура; поділ моноліту на товарні блоки за допомогою установки канатного різання; використання фізико-технічних методів.

Зазвичай відокремлений від масиву моноліт розколюють на блоки, використовуючи гідроклини. Для цього в моноліті формують площину розколу шляхом буріння шпурів для установки гідроклинів. Відстань між робочими шпурами приймають у межах 0,2-0,4 м, а глибину – не менше 0,5 м. У деяких випадках для зниження міцності породи в площинах розколу бурять проміжні шпури на всю висоту моноліту. При розколюванні великих монолітів іноді застосовують ручні клини для створення попередніх розтягуючих напружень, що полегшує подальшу роботу гідроклинів.

Метод поділу монолітів гідророзколюючими пристроями дещо схожий на попередній спосіб. Згідно із заданими розмірами блоків в моноліті формують площину відколу шляхом буріння вертикальних шпурів діаметром 42 мм. Відстань між шпурами, де встановлюють гідророзколюючі пристрої, становить 0,3-0,5 м, залежно від міцності породи на розрив, її в'язкості, висоти моноліту та інших характеристик.

Для послаблення площини розбиття між робочими шпурами доцільно свердлити пусті шпури на всю висоту моноліту, при цьому вони можуть мати більший або менший діаметр, ніж робочі. Робочі шпури свердлять на глибину не менше 0,5 висоти моноліту, що розбивається. У робочі шпури встановлюють циліндричні гідророзколюючі пристрої діаметром 40 мм, які за допомогою маслостійких рукавів високого тиску з'єднують з маслостійкою гідравлічною станцією, що розвиває тиск до 600 атм. Усі гідророзколюючі пристрої вмикають в роботу одночасно, працюючи синхронно. Моноліт піддається розтягу, що призводить до розбиття каменю по заданому напрямку.

При видобутку масивів високоміцних порід з великими міжпластовими тріщинами (понад 5-7 метрів), виникають суттєві труднощі з поділом великих монолітів на блоки. В даному випадку більш ефективним

виявляється розколювання монолітів на блоки за допомогою вибуху детонуючого шнура (ДШ) в шпурах малого діаметра. У площині розколювання бурять шпури діаметром 32-36 мм на всю висоту моноліту з недобором 0,2 м. Відстань між шпурами встановлюється від 0,15 до 0,50 м, залежно від петрографічної будови, анізотропії породи та її в'язкості. Розколювання монолітів на блоки досягається одночасним підриванням відрізків ДШ в шпурах, розміщених в одному ряді.

Переваги використання вибухового методу для поділу моноліту на блоки виявляються у зменшенні часу, необхідного для проведення процесу, та в невеликих витратах коштів на виконання робіт. Основним недоліком є утворення техногенних тріщин у зоні навколо шпурованого каменю, значний обсяг бурових операцій та підвищена небезпека, пов'язана з проведенням вибухових робіт.

Метод поділу моноліту на товарні блоки за допомогою установки алмазно-канатного різання ставши загальнопоширеним на сучасних кар'єрах високоміцного каменю. Його популярність обумовлена високою ефективністю різання порівняно з іншими техніками поділу, мінімальними втратами матеріалу при пропилюванні, низькою енергоспоживаністю і можливістю розділення блоків різних розмірів. Крім того, цей метод усуває необхідність подальшого вирівнювання граней товарних блоків, зберігає цілісність моноліту та уникає виникнення зайвих напружень, що можуть призвести до формування небажаних тріщин. Незважаючи на ці переваги, його недоліками є сезонність робіт, обумовлена потребою в подачі охолоджуючої рідини у пропили, а також небезпека при розділенні, пов'язана з можливістю обриву канату та високою зносостійкістю алмазного канату при роботі з міцними породами та його високою вартістю.

У сприятливих кліматичних умовах використовується метод розділення монолітів за допомогою невибухових руйнуючих сумішей (НРС). Для його застосування в моноліті формують площину розділення на блоки відповідно до зазначених лінійних розмірів. У цих площинах пробурюють вертикальні шпури для заливання в них НРС на висоту 0,9 від висоти моноліту, який підлягає розділенню; для порід дрібнозернистих і середньозернистих, що мають крихкі властивості, допускається менша глибина шпурів, але не менше 0,8 від висоти моноліту. Між шпурами встановлюють відстань, яка залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід, для гранітів ця відстань складає 0,3 м.

Перевагами цього методу є можливість видобування блоків із порід усіх генетичних типів в будь-яких гірничо-геологічних умовах, низькі матеріало- та енергоємність процесу, та висока якість отриманих блоків. До недоліків відносять значний об'єм буріння при розділенні монолітів, залежність якості розділення від температурних та погодних умов, та високі трудомісткість приготування робочої суміші НРС та її заливання в шпури.