

С.О. Жуков, д.т.н.
А.В. Сорокопуд, аспір.
Криворізький технічний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ ПРОХОДКИ СВЕРДЛОВИН

Описано нову технологію утворення вибухових свердловин з котловим розширенням шляхом оббурювання масиву порід комбінованим способом: шарошковим при бурінні та вогневим при розбурюванні й котлоутворенні.

Впровадження нових прогресивних технологій в гірничу промисловість України в умовах ринкової економіки є головною передумовою підвищення конкурентоспроможності виробництва, поліпшення екологічних умов, зниження енерговитрат.

При відкритій розробці міцних залізних руд найбільш витратною операцією є буровибухові роботи, питома вага вартості яких в загальній вартості виробничих гірничих процесів на рудниках гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу складає 40–50 %.

Зі збільшенням міцності гірських порід (понад 16 за шкалою проф. Протод'яконова) та збільшенням їх абразивності різко знижуються техніко-економічні показники традиційних механічних способів буріння, стійкість шарошкових долот знижується у 3–4 рази, вартість буріння зростає у 2–3 рази.

Найбільш високі техніко-економічні показники досягаються при оббурюванні міцних гірських порід комбінованим способом із застосуванням вогневого буріння для розширення свердловин. Можливість формування котлових розширень в міцних гірських породах є основною перевагою термічного способу, що зумовлює низькі витрати на буріння в розрахунку на 1 м³ гірничої маси, а взагалі – високі техніко-економічні показники процесу.

Одним із напрямків вдосконалення комбінованого способу буріння є встановлення закономірностей відбійки міцних магнетитових кварцитів котловими зарядами для підвищення продуктивності та зниження собівартості процесу оббурювання за рахунок збільшення ефективності котлоутворення. При дослідженнях, які були виконані в цьому напрямку, результати досягалися шляхом поопераційного аналізу основних технологічних процесів, що складають процес оббурювання та розробки на основі ефективної ресурсозберігаючої комбінованої технології. За цих умов досліджено і вирішено декілька нових наукових питань:

1. Розроблена математична модель для визначення гранскладу підірваної гірської маси і відповідної раціональної східчастої форми котла свердловини, що забезпечує мінімум витрат на оббурювання.

2. Встановлені закономірності термічного руйнування породи при формуванні котла і визначені на цій основі оптимальні швидкості підйому бурового снаряду при розширенні свердловини.

3. Встановлено, що введення води в надзвуковий струмінь крізь додаткові отвори у соплі істотно (на 70 %) знижує вміст шкідливих газів в продуктах згорання, водночас збільшуючи тепловіддачу в напрямі струмінь–порода.

Вирішувалися означені вище питання завдяки використанню комплексу сучасних методів досліджень таких, як теоретичні з використанням гідро- і газодинаміки, теорій теплопровідності та термопружності, механіки руйнування, стендові випробування для встановлення закономірностей руйнування гірської породи при термічному бурінні і котлоутворенні; випробування в промислових умовах на бурових верстатах; при виборі оптимальних рішень застосовувались методи оптимізації та статистичного моделювання з використанням ЕОМ.

За цих умов були досягнуті досить переконливі результати, ефективність яких підтверджується чисельними промисловими випробуваннями в діючих кар'єрах. Були розроблені:

– комбінована технологія оббурювання міцних гірських порід з використанням для забурювання в межах верхнього шару, що порушується попереднім вибухом, шарошкового верстата з наступним специфічним вогневим бурінням і формуванням котлових розширень;

– спосіб термічного буріння свердловин і котлоутворення з використанням термобурів підвищеної продуктивності, зі збільшеною потужністю і ККД, досягнутих за рахунок підвищення потужності пального, поліпшення розпилення пального, збільшення коефіцієнту використання тепла;

– паспорти БВР для нової технології, розрахунок раціональних параметрів БВР, з урахуванням встановлених залежностей між гранулометричним складом підірваної гірської маси і розрахунковими параметрами тиску при вибуху;

– технічні та організаційні заходи зі зниження допустимого рівню викидів шкідливих газів і пилу при бурінні.

Що стосується безпосередньо розробленої на основі проведених досліджень комбінованої технології оббурювання міцних магнетитових кварцитів, то вона пройшла експериментально-промислові випробування на рудниках ПГЗКа, з економічною ефективністю 100000 тис. грн. на 1 млн. м³ гірської маси. Ці результати були досягнуті шляхом вирішення ряду питань, які головним чином перешкоджають широкому розповсюдженню вогневого буріння, це, насамперед, висока його собівартість, зумовлена вартістю виробництва окислювача – кисню, – а також вибірковість вогневого буріння (низька продуктивність на погано термобуримих породах); низький рівень санітарно-гігієнічних умов праці. Тому передусім була розроблена комбінована технологія оббурювання підрильних блоків в міцних залізних рудах з використанням термічних бурових верстатів з окислювачем-повітрям для буріння та котлоутворення при шарошковому забурюванні вибухових свердловин. Підвищення ефективності буровибухових робіт було досягнуто за рахунок застосування котлів раціональної форми (нижня циліндрична частина висотою 4 м та діаметром 440 мм і верхня циліндрична частина висотою 6 м та діаметром 300 мм), з оптимальною швидкістю підйому пальника при котлоутворенні (при забурюванні нижньої частини 15 м/год., верхньої – 20 м/год.), використання сітки свердловин 10×11 м та перебору 1,5 м.

Відомо, що при термічному руйнуванні гірської породи під дією високотемпературного газового струменю розрізняють два режими: буріння та розширення. При бурінні струмінь з надзвуковою швидкістю контактує з гірською породою – вибоєм свердловини (температура 1500–3000 °С, площа контакту мала, тепловіддача 103–104 Вт/м²). Час крихкого відділення часток гірської породи 0,1–0,5 с, товщина “лусочок” – 0,1 мм. В режимі розширення – струмінь паралельний стінці свердловини, площа контакту велика, коефіцієнт тепловіддачі 102–103 Вт/м² град., час відділення “лусочок” – 1–100 с. і більше, а їхня товщина – 0,5–7 мм.

При дослідженні механізму термічного руйнування при вогневному бурінні та розширенні свердловин встановлено, що розширення відбувається внаслідок утворення термічних мікротріщин, пов'язаних з неоднорідностями в крупно- та дрібнозернистих міцних гірських породах. При цьому температура нагріву для дрібнозернистих складає 700–800 °С, для крупнозернистих – 500–600 °С, мікротріщини руйнують шар, прогрітий до температури руйнування. При цьому, якщо товщина прогрітого шару стає більшою за розміри зерен, відділяються “лусочки”. Таким чином, дрібнозкраплені гірські породи руйнуються при більш високій температурі (700–900 °С) тонкими “лусочками” (1–2 мкм) при швидкому нагріві (1–2 с.). Крупнозкраплені руйнуються при більш низькій температурі більш товстими “лусочками” та за більш тривалий час.

При забурюванні вогневим способом швидкість буріння в верхньому, порушеному попереднім вибухом шарі мала – 2–4 м/год., швидкість шарошкового буріння в цьому шарі велика – 20 м/год., стійкість долот до 300 м. При подальшому бурінні в монолітній непорушеній породі швидкість його (як вогневого, так і шарошкового) приблизно рівна (8–12 м/год.), проте при вогневному бурінні не втрачаються дорогі, дефіцитні шарошкові долота. Котлоутворення ж в нинішній час можливе лише вогневим способом.

Порівняння техніко-економічних показників технологій оббурювання масиву міцних залізних руд ($f = 16\text{--}20$) наведено в табл. 1.

На основі обладнання, що випускається промисловістю, була запропонована комбінована технологія, що сполучає переваги обох способів буріння:

1. На блоці міцних залізних руд, що оббурюється, виконується попереднє забурювання верстатами СБШ-250 на глибину порушеного попереднім вибухом шару (3–5 м) за розширеною сіткою свердловин, що передбачається при застосуванні котлових зарядів діаметром 250 мм.
2. З використанням забурених свердловин виконується буріння на проектну глибину станками СБК-400 діаметром 180–220 мм з використанням повітря як окислювача.
3. При русі пальника станка СБК-400 догори виконується розширення свердловини на висоту 10 м до діаметра 350 мм; швидкість підйому бурового снаряду 15 м/год.
4. Виконується чистка свердловини.

Таблиця 1

Спосіб буріння	Загальна потужність, кВт	Діаметр свердловини, мм	Швидкість буріння, м/год.	Питома потужність, кВт год/дм ³	Об'ємна продукт., дм ³ /год.
Шарошкове буріння	386	250	5	1,57	245,4
Вогневе буріння (кисень)	700	180–220	8–12	1,5–3,4	204–456
Вогневе розширення (повітря)	1000	400–500	10	0,7	1256–1964
Вогневе буріння (повітря)	1000	200	7,5	5–6	200–220

Комбінована технологія за собівартістю не перевищує шарошкове буріння, разом з тим, не потребує дорогих і дефіцитних шарошкових долот, завдяки їй використанню досягається найбільша продуктивність, знижується шкода, яка завдається навколишньому середовищу.

Для експериментального дослідження запропонованої комбінованої технології, яка виконувалась без переробок обладнання на тих верстатах, що є на рудниках Кривбасу і знаходяться в експлуатації, було проведено оббурювання блоків магнетитових кварцитів на родовищі ПГЗКа. За цих умов досягнуті такі показники.

Параметри котлоутворення: витрати повітря 25 м³/хв., тиск 6,5 Па, витрати гасу 105–112 кг/год., довжина котлових розширень 10 м. Лінійна швидкість котлоутворення 16 м/год. Середній час котлоутворення 40–45 хв., час продувки – 14–16 хв. Середній діаметр котла 380–400 мм.

Середній вихід гірської маси з одного метра свердловини склав 64 м³/м (при шарошковому – 37 м³/м, тобто збільшився на 72,9 %). Собівартість 1 м³ відбитої гірської маси – 2,62 грн./м³ (при шарошковому – 3,5 грн./м³) (табл. 2).

Таблиця 2

Міцність пород, f	16–18
Сітка свердловин, м	8×8
Кількість свердловин	18
Глибина свердловин, м	18
Довжина котлів, м	10
Діаметр котлів, мм	360
Вихід гірської маси з блоку, м ³ /м	54

Необхідно відзначити визначальну роль діаметра котла в досягненні максимальних техніко-економічних показників.

Для вдосконалення операції вогневого буріння свердловин з окислювачем-повітрям, а також для дослідження впливу конструкції сопла на ефективність руйнування породи виконувалися дослідження термічного впливу на гірську породу на стенді. Стенд являв собою робочу частину верстата вогневого буріння з можливістю регульованої подачі бурового снаряду, регулювання швидкості обертання та подачі пального. Методикою випробування передбачалося порівняння ефективності конструкції сопел термобура для визначення найбільш перспективних рішень. Всього було випробувано 16 сопел різноманітної конфігурації. Найбільш перспективними виявилися 4 конструкції, в тому числі й зі свердленням для подачі води прямо в сопло. Швидкість руйнування при бурінні склала 100–300 дм³/год. При моделюванні на стенді процесу розширення свердловини вогневим способом об'ємна продуктивність досягала 1000 дм³/год.

При вдосконаленні конструкції бурового снаряду за мету було поставлено збільшення потужності пальника бурового верстата і самого верстата, для чого виконувалися такі заходи:

1. Здійснено перехід на компресор продуктивністю 32 м³ повітря на хвилину (замість 25 м³, що забезпечує більш повне згорання гасу (тип компресора 6ВЗ–37/7).
2. Для збільшення потужності термобура в пальнику для розпилення пального встановлено тангенціальну форсунку, що забезпечує більш дрібне його розпилення, краще перемішування з

повітрям, більш широкі межі регулювання подачі газу (до 200 л/год.). Тангенціальна форсунка більш надійна і довговічна, в порівнянні з іншими форсунками.

- Для збільшення коефіцієнту корисної дії при теплообміні надзвукового вогневого струменю з гірською породою частина води, що подається на охолодження камери згорання крізь додаткові отвори в соплі, подається в надзвуковий струмінь, збільшуючи його тепловіддачу.

Результати випробувань наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Найменування	Одиниці виміру	ТБВ-1000	ТБВ-1500
Вхідний діаметр свердловини	мм	250	220
Діаметр котла	мм	320–440	360–500
Глибина свердловини	м	19	19
Продуктивність компресора	м ³ /хв.	25	32
Тиск стиснутого повітря	мПа	0,7	0,7
Витрати компонентів: повітря	м ³ /год.	1920	2458
Газ	кг/год.	100	130
Вода	м ³ /год.	1,5	1,5
Температура струменя	°С	1100	1450
Найбільша продуктивність: буріння розширення	дм ³ /год.	250	350
	дм ³ /год.	600	1200
Середня продуктивність: буріння розширення	дм ³ /год.	200	250
	дм ³ /год.	500	900
Найменша продуктивність: буріння розширення	дм ³ /год.	150	200
	дм ³ /год.	350	700

Для дослідження ефективності застосування котлів було запропоновано модель, що дозволяє визначити гранулометричний склад гірської маси після вибуху,

При зіставленні результатів моделювання з результатами вибуху отримано задовільну відповідність між розрахунковим і фактичним гранскладом. Ця ж модель дозволила порівняти результати вибуху з використанням котлів різної форми. Найбільш раціональною було визнано форму котла, при якій заряд міститься в порожнині, що складається з двох циліндрів: \varnothing 400 мм та \varnothing 300 мм, довжиною 6 м та 4 м з перебором 1,5 м. При такій формі заряду досягається високий ступінь подрібнення без значних порушень масиву в першому ряді наступного блоку.

При обробці експериментальних даних було отримано залежність діаметра котла від швидкості термічного буріння за умов, що параметри пального і термобуримість гірської породи залишаються сталими.

Розроблена модель котлоутворення допомогла встановити раціональну швидкість підйому бурового ставу для отримання заданого діаметра котла, яка складає в нижній частині 15, а в верхній – 20 м/год.

При обробці експериментальних даних з розбурювання котлів для апроксимації залежності термічного розширення від швидкості термічного буріння одержано залежність, що описує продуктивність розбурювання від швидкості підйому пального.

Для боротьби з пилом було модернізовано систему пилогазовідводу верстата СБК-400, таким шляхом:

- Збільшено об'єм шламозбірника та змінена його конфігурація.
- Між верхньою кришкою шламозбірника і штангою верстата встановлено ущільнююче кільце.
- Застосовано воду для пилоподавлення.
- Виконувалась подача води безпосередньо в палиник, що дозволило збільшити об'єм продуктів викиду за рахунок пароутворення, що, в свою чергу, дозволяє більш ефективно очищати свердловину.
- Збільшено надлишок окислювача (більше стехіометричного в 3–6 разів), що зменшує надходження шкідливих газів в атмосферу, а також застосовано форсунки з більш тонким і рівномірним розпиленням, подовжена камера згорання, що дозволяє зменшити утворення і виділення шкідливих газів в 2–10 разів.

На практиці в виробничих умовах встановлено, що розроблена комбінована технологія є дійсно ефективною, за собівартістю вона більш вигідна, в порівнянні з шарошкковим бурінням, практично не вимагає дорогих і дефіцитних шарошккових долот, має перевагу за продуктивністю та виходом гірської маси з 1 м свердловини.

Таким шляхом була вирішена задача розробки і вдосконалення нової комбінованої технології оббурювання міцних залізних руд з використанням вогнеструйних термобурів з повітряним окислювачем,

що дозволяє забезпечувати високу ефективність буровибухових робіт при значному поліпшенні економічних і екологічних показників.

На основі виконаних досліджень розроблено методику розрахунку раціональних параметрів БВР, яка передана інституту “Кривбаспроект” для використання. Комбінована технологія вогневого буріння і розширення вибухових свердловин термобурами з повітряним окислювачем, а також на підставі досліджень розроблені оптимальні параметри БВР при оббурюванні міцних залізистих кварцитів за новою комбінованою технологією, яку впроваджено на кар'єрі Північного ГЗКа.

ЖУКОВ Сергій Олександрович – доктор технічних наук, проректор Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- комплексне освоєння родовищ корисних копалин;
- вдосконалення буровибухових робіт.

СОРОКОПУД Андрій Володимирович – аспірант Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- розробка ефективних технологій ведення бурових робіт в кар'єрах.

Подано 15.05.2001