

plied, and a method of technical analysis was used for develop recommendations on the advisability of using cyclic and continuous mining equipment.

Findings. There are four main groups of factors influencing the mining equipment choice for the development of man-caused deposits. These include the origin of the materials in the man-caused deposit were formed, the formation method of the man-caused deposit, its geometry, area, the physical and mechanical properties of the rocks.

The originality. The obtained results differ from the existing ones in that systematization takes into account the origin of materials in the man-caused deposit, its geometry and area, the formation method, physical and mechanical properties of the rocks.

Practical implications. The obtained results can be applied for the development the selecting mining equipment method for mining man-caused deposits.

Keywords: *mining, man-caused deposits, mining equipment, systematization*

УДК 622.235:622.271

© А.А. Скачков, С.О. Жуков

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЇ ПІДРИВАННЯ ПОРІД СВЕРДЛОВИННИМИ ЗАРЯДАМИ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМ ЕНЕРГОНАСИЧЕННЯМ МАСИВУ

© A. Skachkov, S. Zhukov

CONSTRUCTION DEVELOPMENT OF DROPPING DRAINING TECHNOLOGIES WITH DIFFERENTIAL CIRCULATION ENERGY MASH

Проаналізовано основні чинники впливу вибуху на якість подрібнення порід за умов застосування розроблених авторських рішень щодо конструкцій свердловинних зарядів, формування породних оголень, створення додаткових відбиваючих хвилі екранних щілин, а також стійкості вертикальних укосів уступів. Розглянуто руйнування порід зі зміною порядку підривання зарядів у рядах свердловин в напрямі від другого або третього – до першого.

Проанализированы основные факторы влияния взрыва на качество измельчения пород в условиях применения разработанных авторских решений по конструкции скважинных зарядов, формированию породных обнажений, созданию дополнительных отражающих волны экранных щелей, а также устойчивости вертикальных откосов уступов. Рассмотрены разрушения пород с изменением порядка подрывания зарядов в рядах скважин в направлении от второго или третьего – к первому.

Постановка проблеми. Чисельні спостереження, наукові дослідження та практика буровибухових робіт (БВР) в кар'єрах свідчать про те, що уступ гірських порід найбільш нерівномірно руйнується в зоні, прилеглої до відкосу, в результаті чого утворюється гірнична маса з найбільш неоднорідною кускуватістю. Нерівномірний напружено-деформований стан масиву в цій частині при взаємодії свердловинних зарядів, що підриваються в першому і другому від укосу рядах, є однією з головних причин неконтрольованого виходу перездрібненої породи та негабаритів. Тому завдання пошуку шляхів вирішення даних негативних наслідків вибуху є вельми актуальним, так як у свою чергу сприяє вирішенню проблеми підвищення ефективності БВР.

Як показує аналіз останніх досліджень з теорії вибухового руйнування кристалічних масивів і практики БВР [1-2], одним з найменш досліджених теоретично і невіршених практично питань є нерівномірне формування під дією вибуху напружено-деформованого стану крайової зони уступу, оптимізувати що стає можливим шляхом диференційованого енергонасичення породного масиву, удосконалення механізму взаємодії свердловинних зарядів ВР та технології БВР, зокрема – способів створення реально працюючих додаткових відбиваючих пружні хвилі екрануючих щілин та конструкцій зарядів для цього [3-5]. У зв'язку з чим в дослідження закладалася ідея застосування вертикальних відкосів уступів, висотою до 10 м, та поглиблення диференційованого енергонасичення масиву вибухом за рахунок спеціально розроблених різнотипних зарядів ВР, для вирішення чого задачі досліджень формулювалися згідно з нею, а саме: заряди першого ряду свердловин (основні заряди рихлення) ініціюються тільки після проходження скрізь них прямої та відбитої укосом уступу хвилі вибуху зарядів другого ряду (заряди попереднього знеміцнення породи й утворення екрануючої щілини), створюючи завдяки цьому умови для симетричної дії основних зарядів між двома відбиваючими поверхнями – вертикального відкосу уступу з одного, та екрануючої щілини – з іншого.

Викладення матеріалу досліджень. Відомо, що зниження якості дроблення порід в зоні, прилеглої до відкосу уступу, зумовлюється його нахилом, внаслідок чого крайній шар породи між ним і вертикальними свердловинами першого ряду має трапецієвидний поперечний переріз, на відміну від наступних прямокутних, що змушує технологів концентрувати збільшену масу вибухівки в нижній частині свердловин для гарантованого здолання вибухом ЛОПП, неминуче отримуючи підвищений вихід, як негабариту, так і перездрібненої маси. Саме ця обставина власне й наштотхнула авторів на ідею пошуку рішень щодо уникнення даного фактору. А це стає можливим лише за умови формування вертикальних укосів уступів, що в свою чергу зіштовхується з вимогами безпеки стосовно стійкості цих укосів та чинних норм проектування.

Аналіз світового досвіду розробки родовищ природного каменю та міцних крупноблочних порід широко демонструє виробничу практику застосування вертикальних відкосів висотою 10 м і більше. Тому автори дослідження зверну-

ли особливу увагу на кар'єр «Північний» ГЗК «Укрмеханобр», де застосовуються уступи висотою 10 м і породи – достатньо стійкі.

Дослідження виконувалися протягом 2005-2017 рр. і зосереджувалися головним чином на декількох напрямках:

1. Взаємодія свердловинних зарядів з урахуванням суперпозиції пружних хвиль від різних джерел та варіюванням вільних поверхонь.
2. Залежності результатів та наслідків вибухів від маси ВР в одному ступені підривання.
3. Залежності стійкості створюваних породних оголень від технології БВР та конструктивних рішень.
4. Взаємозв'язок параметрів та режиму масового вибуху і його сейсмічного прояву.
5. Розробка й обґрунтування технології диференційованого енергонасичення гірських порід за умов масового підривання свердловинних зарядів у кар'єрах.

На кар'єрі «Північний» гірничі роботи ведуться по осадовим, насипним та корінним скельним породам, які представлені глинами, суглинками, залізистими кварцитами та сланцями. Щільність гірських порід коливається від 1,8 до 3,0 т/м³. Підривні роботи на виділеній ділянці передбачені по скельним породам.

Прийняті проектні параметри: висота уступу – 10 м, кут укосу робочих уступів 50÷80°. Мінімальна ширина робочої площадки 26÷29 м.

Східний борт кар'єру сформовано утвореннями четвертого сланцевого горизонту (PR_{1sx}^{4s}), які представлені трьома літологічними відмінностями: кварцево-графіто-хлоритовими та кварцево-графіто-серицитовими сланцями, хлорито-серицитовими та серицито-хлоритовими сланцями, гетито-гідрогематитовими кварцитами. Потужність сланців – 60-80 м, кут падіння 40-46°, $f=7-8$, щільність – 2,7 т/м³. Північно-західна частина борту представлена гідрогематитовими кварцитами четвертого сланцевого горизонту. Потужність кварцитів складає 15-30 м, кут падіння – 40-46°, $f=8-10$, щільність – 2,8-2,9 т/м³. У західній частині борту залягає потужна товща (80-130 м) гематито-мартитових та гідрогематито-мартитових кварцитів горизонту PR_{1sx}^{4f}. Кут падіння – 42-50°, $f=8-12$, щільність – 3,2 т/м³. Кварцити – тріщинуваті, місцями – вивітрілі, по площинах нашарування – розвинені дзеркала ковзання. Серед кварцитів зустрічаються нерозвідані та невідпрацьовані раніше тіла гематито-мартитових і гідрогематито-мартитових руд (поклад "Східний"). Форма рудних тіл – лінзовидна, потужність – від 2 до 12 м, довжина по простяганню 5-50 м, коефіцієнт міцності $f=4-6$, щільність – 3,4 т/м³.

Вивчення інтенсивності складчастості та тріщинуватості масиву дозволяє визначити коефіцієнт структурного ослаблення λ , який знижує опір масиву гірських порід на зріз у порівнянні з опором зрізу в зразках. Від значення λ залежить кінцевий результат визначення кутів укосів уступів і нахилів бортів

кар'єру при проектуванні, а також достовірність оцінки ступеня їх стійкості, що має ключове значення, зважаючи на ідею формування вертикальних укосів.

Для бортів кар'єрів, за даними натурних випробувань Г.Л. Фісенка, встановлено емпіричну залежність між зчепленням у зразках і масиві гірської породи $C_m = C(1 + \lambda \ln H/H_i) - 1$, де C і C_m – молекулярне зчеплення у зразках і масиві відповідно; λ – коефіцієнт структурного ослаблення; H/H_i – відношення висоти борту кар'єру до середніх розмірів елементарних структурних блоків.

В умовах кар'єру «Північний» ГЗК «Укрмеханобр» скельні масиви переважно є достатньо стійкими для формування вертикальних укосів уступів висотою до 10 м із застосуванням спеціальних технологій БВР.

Протягом 2011-2013 рр. за участю авторів було розроблено й запатентовано способи БВР [3-4], в яких за рахунок формування різних за конструкцією свердловинних зарядів в паралельних бровці укосу рядах та черговості підривання цих зарядів, починаючи від 3-го, потім – 1-го і останнім в групі – 2-го від бровки (рис. 1), максимізувалося використання енергії вибуху на руйнування породи і мінімізувалося на її переміщення. При висоті уступів до 10 м ряди свердловин групуються по 2 і підриваються з уповільненням від парного до непарного, тобто в послідовності: 2-й → 1-й → 4-й → 3-й → 6-й → 5-й і т.д.

У чому ж сенс такої послідовності? По-перше, вибуховий імпульс від ослабленого заряду в парному ряді не в змозі зсунути масив, а відтак його енергія витрачається головним чином на тріщиноутворення в породі. По друге, свердловини парного ряду заповнюються зарядами направленої дії, підривання яких забезпечує створення між ними екрануючої щільності – другої (симетричної відносно основних зарядів непарних рядів) відбиваючої поверхні, що підвищує на 20-25% ефективність основних зарядів, одночасно помірно ушкоджуючи за контурний масив. Останнє дає змогу формувати вертикальні укоси уступів, уникаючи необхідності застосування особливих зарядів в першому ряді, що є неминучим у разі похилих укосів для подолання збільшеної ЛОПП.

Практика свідчить, що уступи, висотою до 10 м з вертикальними укосами, тривалий час (місяці і навіть роки) зберігають стійкий стан, та поблизу бровки створеного уступу при його наступному оббурюванні перший ряд свердловин доцільно проходити до повного прибирання розвалу підірваної маси, яка в даній ситуації слугує підпірною стінкою-контрфорсом.

Але, пропонуючи представлені рішення, автори змушені були дослідити й інші можливі геомеханічні наслідки. Результати досліджень свідчать про те, що фактичний стан східного борту кар'єру «Північний» забезпечується нормативним коефіцієнтом запасу стійкості. Виконані розрахунки показали, що його значення по характерним розрізам перевищують нормативне на 1,0-4,2%, і запропоновані геометричні параметри цього борту (кути нахилу укосів, ширина берм) відповідають нормативним критеріям стійкості на термін 3-10 років. Тому, з виходом борту на граничний контур, стає можливим здвоєння та потроєння неробочих уступів, а кут його нахилу може бути прийнятий згідно проекту.

Застосування вертикальних укосів у поєднанні з пропонованою послідовністю підривання зарядів у згрупованих попарно рядах забезпечує уніфікацію свердловинних зарядів, та знижує на 5-7 % питому витрату ВР (рис. 1).

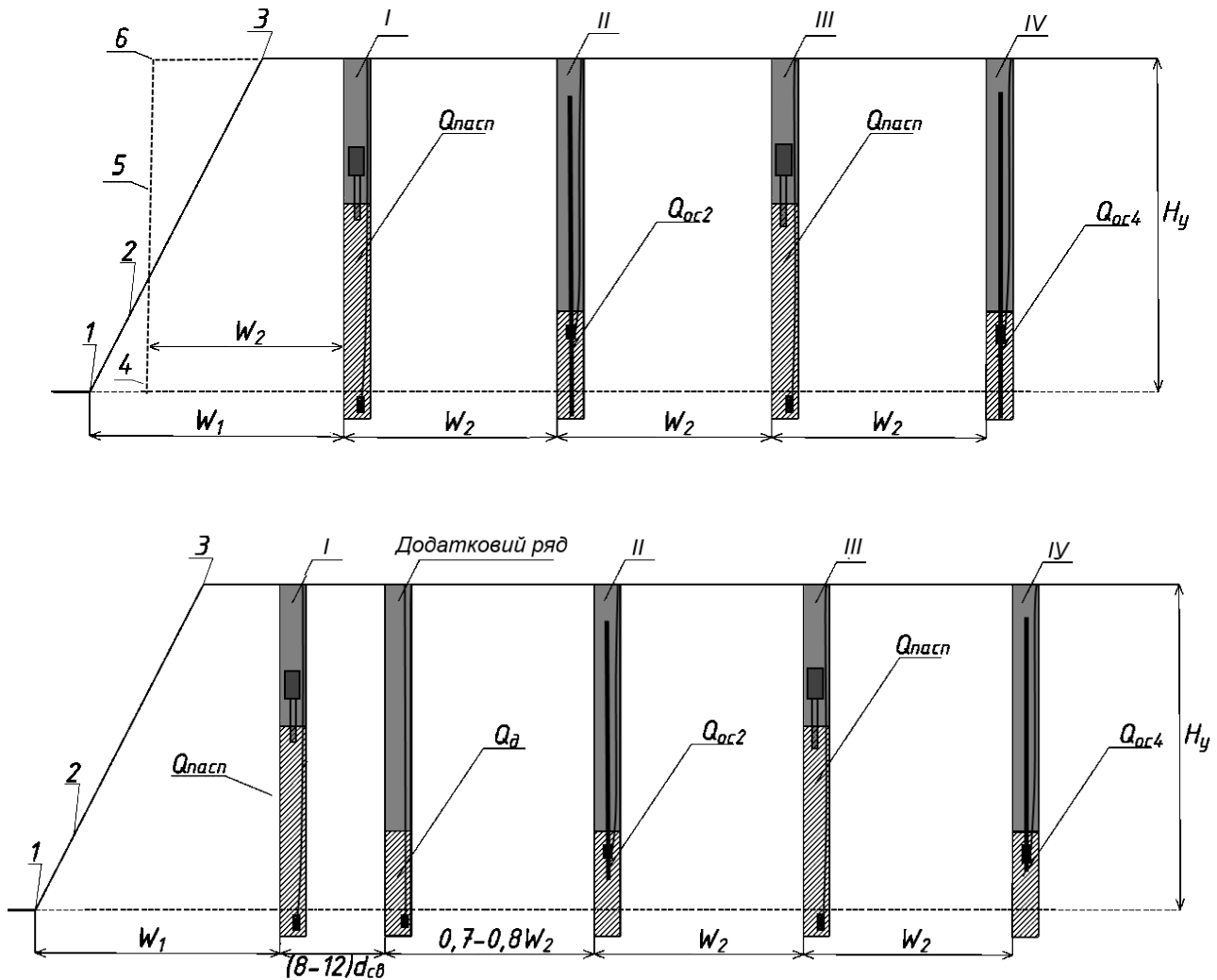


Рис. 1. План розташування свердловинних зарядів у вибуховому блоці:
 1, 2, 3 – відповідно, нижня бровка, укіс, верхня бровка при похилому укосі уступу;
 4, 5, 6 – те ж при вертикальному укосі уступу; I, II, III, IV – ряди свердловин;
 H_y – висота уступу

За цих умов в якості основного застосовувався заряд, захищений патентом [5] (рис. 2). Вибухова свердловина 2 включає основний свердловинний заряд ЕВР 9 із бойовиком 12, розташованим у нижній його частині. Від бойовика до поверхні уступу 1 простягаються через основний свердловинний заряд ЕВР 9 хвилеводи неелектричної системи ініціювання 10, де вони приєднуються до поверхневої вибухової мережі. Над основним зарядом 9 розташовано забивний матеріал 4, у якому розміщено запираючий заряд (ЗЗ) 5, що складається з ЕВР, розташованої у поліетиленовій оболонці з бойовиком, виготовленим з патрону ЕВР,

обмотаного двома нитками ДШ 6, які з нижнього торця 33 опускаються в основний заряд 9 для сприйняття імпульсу детонації від нього. При цьому, згідно з нормативами, для передачі імпульсу детонації до ДШ 6 достатньо його довжини 20 см, ще 2 см надається на випадок витрушування тенової серцевини із кінців ДШ, а основна частина магістралі ДШ забезпечує обгін детонації по ДШ відносно основного заряду 9 до 33 5 з метою забезпечити одночасне спрацювання 33 із завершенням детонації в основному заряді 9 або на кілька мілісекунд раніше. У процесі обгону детонації по ДШ, необхідно зберегти від uszkodження ним пухирців в основному заряді ЕВР, які є джерелами зародження детонації в ньому. Для цього на ДШ одягнуто гофровану пластикову трубку 7, яка утримується від зісковзування з ДШ камінцем 8, який закріплено скотчем до ДШ на межі 22 см від його кінців. Камінець своєю масою вирівнює магістраль ДШ від скручування, бо в окремих експериментах, в яких він був відсутній, скручений ДШ часто розташовувався над свердловинним зарядом 9, що призводило до відмов детонації 33. Такі неспрацьовані 33 5 знаходили після вибуху на поверхні розвалу підірваної породи.

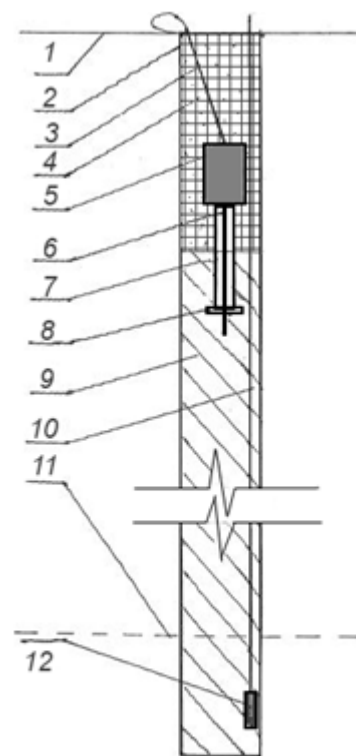


Рис.2. Конструкція основного заряду

Конструкція ослабленого заряду – для попереднього знеміцнення породи й утворення екрануючої щілини – також розроблялася авторами, але у різних варіантах, для різних умов реалізації БВР (рис. 3).

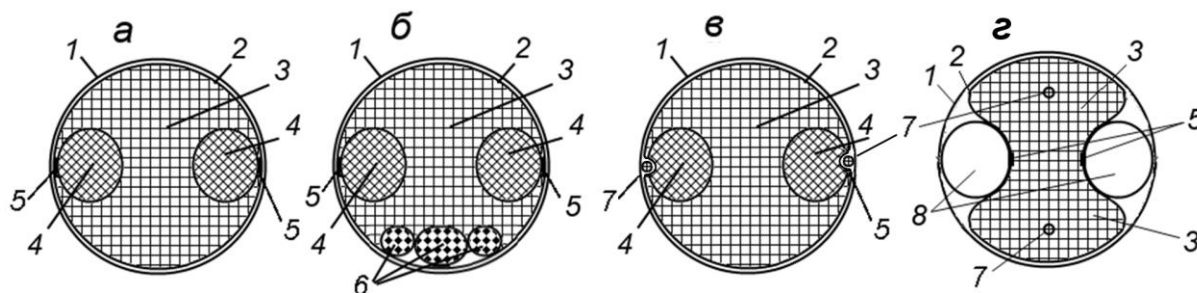


Рис. 3. Поперечний переріз свердловинних зарядів парних рядів: 1 – свердловина; 2 – полімерний рукав; 3 – низькобризантний заряд; 4 – лінійні високобризантні заряди; 5 – місця пропайки рукава; 6 – інертні демпфери; 7 – ДШ; 8 – повітряні утворювачі кумулятивних жолобів

Незважаючи на візуальну складність, технологічно заряди формуються досить просто: автори розробили й успішно випробували на практиці спосіб, за

якого по довжині зарядного рукава розігрітим металевим полозом з двох боків проплавляються майбутні шлангового типу камери потрібного діаметра, після чого рукав вивертається навиворіт, завантажується в зав'язаний кінець кількома кілограмами породного дріб'язку й опускається орієнтовано відповідно лінії екрануючої щілини у свердловину, бокові, вже внутрішні, ємності дуже просто і швидко заряджаються за допомогою звичайної шахтної пневмозарядної установки, а основний об'єм заповнюється – традиційно. Тріщиноутворюючі лінійні заряди 4 можуть формуватися й з патронованих ВР, а в особливо щільних і крихких породах з зовнішньої сторони зарядного рукава 2 вздовж ліній його пропайки 5 доцільно розташовувати джгути ДШ 7, примикаючи до стінок свердловини для утворення початкових лінійних концентраторів напружень. Фіксація ДШ здійснюється скотчем. Бокові лінійні високобризантні заряди 4, прилеглі до стінок свердловини, при підриванні створюють на них, або розвивають утворені ДШ початкові тріщини – концентратори напружень, які за декілька мілісекунд, розвиває основний заряд 3.

Передбачено також можливість формування кумулятивних жолобів уздовж рядів відповідних ВР, які після зарядного ущільнення здатні зберігати набуту форму. Для цього рукав після «пропайки» не вивертається, а щільно зав'язується з одного кінця, привантажується й опускається орієнтовано у свердловину. Потім бокові трубки 8 рукава заповнюються стиснутим повітрям від ресивера зарядної машини і заповнюється зарядна порожнина 3.

Збільшений діаметр зарядного рукава за даної технології визначається досить просто, а усі маніпуляції з ним легко виконуються за допомогою звичайного скотчу.

Конструкції та речовини основного й екрануючого зарядів визначаються, залежно від фізико-механічних характеристик порід, критичних діаметрів ВР, співвідношення акустичної жорсткості порід зі швидкістю детонації ВР, а також від мети та вимог щодо результатів підривання масиву.

Промислові випробування такого диференційованого енергонасичення масивів гірських порід вибухом базувалися на результатах передуючих їм теоретичних досліджень та лабораторних експериментів. Узагальнення виконаних вишукувань дало змогу уточнити механізм енергетично-просторового навантаження породного масиву та побудувати більш адекватну й узгоджену модель його руйнування.

Аналіз процесів виконувався стосовно кар'єру «Північний», на якому протягом п'яти років велася реалізація диференційованого енергонасичення порід в умовах сухих свердловин найпростішою ВР – Грануліт КМ. Для цієї ВР виміряні значення щільності заряджання і швидкості детонації складають відповідно 1020 кг/м^3 і 3850 м/с , а розрахункова теплота вибуху – 980 ккал/кг . Розрахункове для цих умов значення показника політропи (n) становить 1,8, що знаходиться в межах, характерних для порошкоподібних ВР (1,5-2,0). Масову швидкість у площині Чепмена-Жуге (ω , м/с) обчислено за формулою: $\omega = v/(n+1) = 3850/(1,8+1) = 1375 \text{ м/с}$, а тиск детонаційної хвилі на площині $P_2 = v \cdot \omega \cdot \Delta/g = (3850 \cdot 1020)/9,81 = 5,504 \cdot 10^8 \text{ Па}$. Відомо, що цей тиск – удвічі більший стаціонарного тиску у свердловині: $P_{ce} = 5,504 \cdot 10^8 / 2 = 2,752 \cdot 10^8 \text{ Па}$;

оскільки довжина заряду – 4 м, а його діаметр – 0,25 м, то площа, що сприймає означений тиск, становить – 3,61 м². Загальна площа хвилі з циліндричної частини і двох півкуль від торців заряду на момент виходу її на межу воронки дроблення складає: 267,42 м², що у 74 рази більше початкової (3,61 м²). З урахуванням витрат енергії на руйнування порід (наприклад, 20%) отримуємо тиск близько 3,0 МПа. В той же час, при підході хвилі до площини покрівлі уступу, тиск в ній складе близько 0,5 МПа, а біля площини укусу уступу – ще менше.

Висновок. Описане переконує, що для уступів висотою до 11 м, розподілення рядів на групи, по два в кожній, значне зменшення маси зарядів в парних рядах, розподілення зарядів у групі на окремі серії і початок ініціювання в кожній серії саме зі зменшених за масою зарядів, змушує ці зменшені заряди віддавати всю енергію на утворення екрануючої щілини, розвиток знеміцнюючих породи мікротріщин, формування відбитих хвиль від вільних поверхонь, долання інерції масиву, що разом узятє полегшує роботу з подрібнення порід основним зарядам у непарних рядах, зменшує загальні витрати ВР, а відтак – збільшує коефіцієнт корисної дії зарядів ВР.

Перелік посилань

1. Fokin V.A., Tarasov G.E., Togynov M.B., Danilkin A.A., Shitov Yu.A. (2008). Sovershenstvovanie tekhnologii burovzryvnykh работ na predel'nomi konture kar'yerov. Apatity: Izd-vo Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN.
2. Brotanek I., Voda Y. (1983). Konturnoe vzryvanie v gornom dele i stroitel'stve. Moskva: Nedra.
3. Skachkov A.A., Serhiienko S.Ie., Shapurin O.V., Sydorenko V.D. (2012). Sposib vykonannia buro-vybukhovyykh robot. Patent na korysnu model UA No 70655. Ukraina.
4. Skachkov A.A., Serhiienko S.Ie., Shapurin O.V., Sydorenko V.D. (2013). Sposib vykonannia buro-vybukhovyykh robot. Patent UA No 103516. Ukraina.
5. Shapurin O.V., Skachkov A.A., Miasnikov O.F., Miasnikov O.F. (2016). Vybukhova sverdlovyna. Patent UA No 112654. Ukraina.

ABSTRACT

Purpose. The main purpose of the presented research is to improve the technology of rock destruction by explosion. For this purpose, new methods for creating a differentiated stressed state of a rock massif as well as for constructing borehole charges of explosives have been developed.

The methods of research are to analyze of geological data on the iron-ore deposits of Kryvbass, project documentation, production data of the mining enterprises and open pits, scientific publications and their subsequent synthesis and formulation of the developed provisions.

Findings. Explosive destruction of the rock massif with the use of vertical slopes of the quarry ledges, with the making of shielding slots, which are created by advanced explosion of special directional charges, as well as the reverse sequence of blasting of the borehole series, provides a reduction in the specific consumption of explosives by 15-17% and substantially increases the uniformity of rock crushing.

The originality is to determine the comprehensive approach in solution to the stated problem, and a number of the proprietary technical solutions.

Practical implications. Further development and manufacturing application of the research results will provide a significant reduction in the cost price of iron ore products by increasing the efficiency of drilling and blasting operations in the open pit.

Keywords: *ore, explosive destruction, open pit, acoustic waves, blasting, borehole charges*

УДК 622.271.3

© О.П. Стрілець, Г.Д. Пчолкін, В.В. Кустов

ДОСЛІДЖЕННЯ СЕГРЕГАЦІЇ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТЕХНОГЕННИХ ПОКЛАДІВ З МЕТОЮ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

© O. Strilets, G. Pchelkin, V. Kustov

USING OF SEGREGATION FOR DEVELOPMENT OF TECHNOGENIC DEPOSITS WITH THE PURPOSE OF UPGRADING OF PRODUCTS

Виявлено теоретичне підґрунтя ефекту сегрегації при складуванні відходів збагачення з урахуванням високоякісного опису різних фракцій, проведені розрахунки щодо визначення основних параметрів технологічного процесу складування та подальшої розробки техногенного родовища з урахуванням рекомендацій щодо застосування результатів у гірничодобувній промисловості.

Приведены теоретические основы сегрегации при складировании отходов обогащения с учетом качественного описания различных фракций, составлены расчеты по определению основных параметров технологического процесса складирования и последующей разработки техногенного месторождения, учитывая рекомендации по применению результатов в горнодобывающей промышленности.

The inalienable feature of technological processes of booty and enriching of minerals is formation of wastes and passing products considerable part of which presents raw material for different industries of national economy.

A modern raw material, power and ecological situation requires more complex going near the use of natural resources, further improvement of development and processing of raw material processes. So, for example, it is very important to know conformities to law of segregation processes at determination of flowsheets of the repeated affecting dumps and storages of useful minerals, at the decision of tasks on engaging in exploitation of technogenic deposits with the certain areas of concentration of useful component, at prognostication of the state of bulk and loose objects [1]. It largely restrains temper absence of possibility of consideration of role of making dividing processes taking into account their probabilistic nature, and it does not allow