УДК 622.234.4: 622.349.5: 622.831

М.І. СТУПНІК*, д-р техн.наук, проф., М.Б. ФЕДЬКО, С.В. ПИСЬМЕНИЙ, кандидати техн.наук, доценти, Криворізький національний університет
В.О. КОЛОСОВ, д-р техн.наук, проф., асоціація «УКРРУДПРОМ»
С.А. КУРНОСОВ, д-р техн.наук, проф., Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
З.Р. МАЛАНЧУК, д-р техн.наук, проф., Національний університет водного господарства та природокористування

ПРОБЛЕМИ РОЗКРИТТЯ ТА ПІДГОТОВКИ РУДНИХ РОДОВИЩ НА ГЛИБОКИХ ГОРИЗОНТАХ ШАХТ КРИВБАСУ

Мета. Метою даної роботи є аналіз, дослідження та розробка ефективних варіантів розкриття та підготовки глибоких горизонтів шахт Кривбасу.

Методи дослідження. В представленій роботі виконано детальний техніко-економічний аналіз факторів і умов, які впливають на ефективність застосування схем розкриття та підготовки глибоких горизонтів. Виконано комп'ютерне моделювання існуючих та розроблених схем розкриття та підготовки горизонтів залізорудних шахт на глибинах понад 1500 м.

Застосування методів моделювання, заснованих на теорії подібності, дозволив зробити висновки, які лягли в основу наукових та практичних рекомендацій по вибору оптимальних варіантів розкриття та підготовки родовищ в залежності від гірничо-геологічних та технологічних умов залізорудних шахт Кривбасу.

Наукова новизна. Теоретичними дослідженнями встановлено оптимальну глибину І-го ступеня розкриття рудних родовищ Кривбасу, яка на сьогоднішній день є доцільною у межах 1600-1800 м. Встановлено закономірності впливу поглиблення гірничих робіт до 1600-1800 м на гірничотехнічні умови розробки, на трансформації фізико-механічних характеристик гірських порід і їх геомеханічного стану.

Практична значимість. Виконаними дослідженнями актуалізована доцільність впровадження схеми розкриття родовищ концентраційними горизонтами на глибоких горизонтах Криворізьких шахт. Це дасть змогу отримати значний економічний ефект за рахунок відпрацювання 2-3 поверхів на один концентраційний горизонт, заощадивши таким чином на проведенні поверхових квершлагів, приствольних дворів та інших виробок.

Удосконалено існуючі та розроблено нові раціональні схеми розкриття і підготовки глибоких горизонтів шахт Кривбасу, що створює умови для застосування ефективних технологій видобутку руди із використанням самохідної техніки.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей запропоновані оптимальні варіанти розкриття та підготовки родовищ. Доведена доцільність розкриття та підготовки глибоких горизонтів концентраційними горизонтами, що забезпечує безпеку робіт та заощаджує кошти на підготовці проміжних поверхових горизонтів.

Ключові слова: родовища корисних копалин, глибокі горизонти, розкриття, підготовка, геомеханічні процеси.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-3-8

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На шахтах Криворізького залізорудного басейну глибина існуючих підйомних стволів наближається до граничної глибини І ступеню підйому, яка для багатьох діючих підйомних установок дорівнює 1500 м. Враховуючи це, при теперішніх річних потужностях шахт очисні роботи досягнуть граничної глибини І ступеню підйому через 15-25 років.

Однак запаси багатої залізної руди технічно можливо відпрацьовувати й глибше, що підтверджує досвід провідних глибоких шахт світу. При цьому техніко-економічні показники видобутку можуть погіршитись внаслідок недостатньої якості залізної руди, відставання рівня технологій, значного часу на підготовку нових горизонтів, збільшення площі відчужуваних під зони порушень земель, підвищення енергоємності підприємств, а також зменшення їх річної продуктивності.

Враховуючи викладене для подальшого розвитку шахт Кривбасу необхідно обґрунтувати раціональні способи розкриття та підготовки родовищ, які дозволять успішно працювати підприємствам на глибинах понад 1500 м без критичних обсягів капітальних та експлуатаційних витрат.

Аналіз досліджень і публікацій. Із загального обсягу залізорудної сировини, яка видобувається в Україні, на долю Кривбасу приходиться близько 80%, при цьому питома вага підземного способу складає близько 30% [1-3, 6].

* © Ступнік М.І, Федько М.Б., Письмений С.В., Колосов В.О., Курносов С.А., Маланчук З.Р., 2018

Дослідженнями [4-9, 12] встановлено, що при сучасному рівні виробничої потужності гірничих підприємств очисні роботи шахт досягнуть півторакілометрових глибин через 15-25 років. На сьогоднішній день запаси залізної руди технічно можливо відпрацьовувати й глибше, ніж проектні або граничні глибини, що дає змогу подовжити термін роботи гірничих підприємств [10, 11, 13-15]. Однак при цьому техніко-економічні показники ймовірно можуть погіршитись внаслідок недостатнього вмісту заліза в руді та відставання технологічного рівня її видобутку. Підготовка нових горизонтів потребує значного часу, затрат на компенсацію збільшення площ відчужуваних під гірничі відводи земель, підвищення енергоємності підприємств. Все це може обумовити зменшення річної продуктивності шахт [2-6, 11].

У роботах [16,17] приведено методику визначення обсягів гірничо-капітальних робіт при здійсненні економіко-математичного моделювання схем розкриття рудних родовищ, а також визначена оптимальна величина І-го ступеня розкриття для шахт Кривбасу, яка згідно дослідження авторів, складає 1200-1500 м. Але оскільки ці висновки були отримані шляхом економіко-математичного моделювання і у моделі були закладені ціни на матеріали, устаткування, проведення різних виробок, що були чинними у середині 70-х років минулого століття, ці висновки потребують суттєвого коригування, так як за більш ніж 40-річний період рівень зростання вищезазначених цін значно випередив рівень підвищення відпускних цін на залізорудну продукцію. Підтвердженням цього є стратегія відпрацювання глибоких горизонтів шахт, що входять до складу ПАТ «Кривбасзалізрудком», де заплановано заміну усіх головних підйомних установок на сучасні, що дозволяють здійснювати підйом руди на поверхню з глибин 1700-1800 м.

В роботі [18] розглянутий досвід підземних робіт на надглибоких рудниках світу. Наведені приклади роботи шахт золоторудного району Колар (Індія), на яких глибина гірничих робіт досягає 3500 м; Ранда (ПАР), де глибина розробки досягає 4000 м та Лейк Шор (Канада) з глибиною розробки 3000-3200 м. Рудник Морро Велько (Бразилія) має глибину розробки 3200-3500 м, мідно-нікельові рудники Північної Родезії (Африка) і району Садбері (Канада) мають глибину гірничих робіт 2000-2500 м.

На цих рудниках розкриття глибоких горизонтів здійснено за багатоступеневою (від 3 до 5 ступенів) схемою. Глибина стволів першого ступеня, пройдених з поверхні, складає від 700 до 2200 м (рудники Чемпіон Риф, Колар). Глибина сліпих стволів другого, третього і подальших ступенів, які проходились для розкриття глибоких горизонтів, дорівнювала 700-1200 м, при цьому перевагу віддавали вертикальним сліпим стволам круглого перерізу. Очевидно, що застосування більш досконалих багатоканатних підйомних установок дозволило збільшити глибину прямого підйому, а відповідно й ступенів розкриття.

Досвід роботи глибоких шахт світу показав доцільність широкого застосування перепуску руди і пустих порід по підняттєвим великої висоти. Так, наприклад, на руднику Лейк Шор висота підняттєвого для перепуску руди дорівнює 1230 м. Ємність таких підняттєвих складає 2500-3000 т. Система рудоперепускних підняттєвих дозволяє зменшити капітальні витрати на проходку та облаштування скіпових приствольних дворів і підземних бункерів. Як наслідок, розкриття родовищ концентраційними горизонтами на нових шахтах района Ранда дозволило облаштувати підземні бункери через чотири поверхи, а на руднику Лейк Шор взагалі через тридев'ять поверхів.

Досвід глибоких і надглибоких рудників світу представляє практичний інтерес для вчених, проектантів і виробничників Кривбасу при вирішенні питань розкриття глибоких горизонтів на залізорудних шахтах басейну.

Постановка завдання. Враховуючи відносно невеликий період досягнення підземними гірничими роботами у Криворізькому басейні граничної глибини першого ступеню шахтного підйому, вже зараз необхідно обґрунтувати раціональні способи ефективного розкриття та підготовки глибоких горизонтів, які дозволять підприємствам працювати рентабельно на глибинах понад 1500 м при помітно обґрунтованих рівнях капітальних та експлуатаційних витрат. Тому метою даної роботи є аналіз, дослідження та розробка ефективних варіантів розкриття та підготовки запасів руди на глибоких горизонтах шахт Криворізького залізорудного басейну.

Викладення матеріалу та результати. Для розробки крутоспадних рудних родовищ на великих глибинах (1800-2500 м), враховуючи досвід глибоких шахт зарубіжних рудників, більшість науково-проектних розробок рекомендує застосовувати ступінчасте розкриття глибо-

ких горизонтів вертикальними стволами, пройденими в лежачому боці покладу.

В свою чергу ступінчасте розкриття глибоких горизонтів вертикальними стволами можна поділити на:

технології розкриття родовищ концентраційними горизонтами;

комбіновані технології розкриття родовищ основними стволами першої черги та сліпими стволами другої черги.

Розкриття родовищ концентраційними горизонтами передбачає збільшення глибини відпрацювання родовищ першим ступенем підйому з 1500 м до 1800-2000 м. Такий приріст глибини можливий за рахунок заміни старих підйомних установок на більш сучасні та ефективні. Для подальшого поглиблення гірничих робіт необхідно переходити на комбіновані технології розкриття родовищ основними стволами першої черги та сліпими стволами другої черги.

В процесі розкриття нижньої частини родовища сліпим рудопідйомним стволом проходять спеціальні виробки і камери для розміщення та обладнання підйомної установки другої черги, виробки приствольного двору, водовідливу та ін.

Подальше розкриття та підготовка нижніх горизонтів через сліпий вертикальний рудопідйомний ствол може здійснюватися як за традиційною поверховою схемою, так і схемою розкриття родовища концентраційними горизонтами.

Існуючі на рудниках Криворізького басейну схеми розкриття вертикальними скіпо-клітьовими стволами з поверхні до глибини 1500 м і способи підготовки крутоспадних і похилих потужних рудних родовищ практично вичерпали технологічні та підйомні можливості. Це знайшло своє відображення у невідповідності між тривалістю розкриття та підготовки нових горизонтів і періодом відпрацювання запасів руди на експлуатаційних горизонтах; у значних обсягах гірничокапітальних робіт, які припадають на 1 т підготовлених запасів; у збільшенні собівартості видобутку 1 т руди.

У Криворізькому залізорудному басейні відсутній досвід розкриття і відпрацювання багатих руд на глибинах 1500-2000 м. Тому вже зараз назріла нагальна необхідність пошуку, дослідження, обґрунтування і впровадження раціональних способів і схем розкриття та підготовки глибоких горизонтів (1500-2000 м), які здатні забезпечити ефективну технологію видобутку руди, економічно допустиму її собівартість при відносно невисоких питомих капітальних вкладеннях.

Виконаними дослідженнями встановлено, що в умовах Криворізького басейну розкриття та відроблення рудних родовищ на глибинах 1500-2000 м можливо здійснити за двома варіантами:

збільшення глибини І-го ступеня шляхом подальшого поглиблення основних скіпових рудопідйомних і допоміжних клітьових стволів до глибини 2000 м (тобто до максимально можливої глибини підйому сучасних багатоканатних підйомних установок), заміна діючих скіпових установок на більш продуктивні з більшою глибиною підйому та розкриття нижніх поверхів концентраційними горизонтами;

перехід на ІІ-й ступінь розкриття і підготовки рудних покладів сліпими стволами та концентраційними горизонтами з глибини 1400-1500 м.

За сучасного стану гірничодобувної галузі України більш прийнятним вважається перший варіант.

Для вибору оптимальної схеми розкриття родовища та визначення кількості концентраційних горизонтів доцільно виконувати техніко-економічне порівняння можливих варіантів. Визначення раціонального варіанту здійснюється з урахуванням критерія оптимальності, в якості якого використовують мінімум приведених питомих витрат на видобуток 1 т руди

$$B_{пр.} = E_н\, k_{пр} + C_в \rightarrow \min,$$

або

$$B_{пр.} = E_н\,(k_{кв} + k_{ДБК} + k_{пв} + k_{кр}) + (C_{пер} + C_т + C_{вод} + C_{вент} + C_{пв}) \rightarrow \min,$$

де $E_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, частка од., $k_{кв}$ – питомі капітальні витрати на проходку квершлагів, грн/т; $k_{ДБК}$ – питомі капітальні витрати на будівництво підземного дробильно-бункерного комплексу, грн/т; $k_{пв}$ – питомі капітальні витрати на проведення та облаштування виробок і камер приствольних дворів, грн/т; $k_{кр}$ – питомі капітальні витрати на проходку капітальних рудоспусків, грн/т; $C_{пер}$ – питомі експлуатаційні витрати на перепуск руди з проміжних на концентраційні горизонти, грн/т; $C_т$ – питомі експлуатаційні витрати на транспорт руди до ствола шахти, грн/т; $C_{вод}$ – питомі експлуатаційні витрати на во-

довідлив, грн/т; $C_{вент}$ – питомі експлуатаційні витрати на вентиляцію, грн/т; $C_{пв}$ – питомі експлуатаційні витрати на підтримання виробок у безпечному стані, грн/т.

Розглянемо алгоритм реалізації схеми розкриття рудного родовища на глибині 1500-2000 м концентраційними горизонтами на прикладі шахти «Родіна» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат».

Рудопідйомний ствол шахти «Родіна», пройдений до гор. 1540 м, оснащений скіповою підйомною установкою зі скіпами 50 т дозволяє при швидкості руху скіпів 10 м/с досягнути технічної продуктивності підйому з горизонтів:

1315 м – 4,76 млн т/рік;

1465 м – 4,22 млн т/рік.

Гранична глибина підйому багатоканатної скіпової підйомної установки – 1800 м.

Довжина головного квершлагу на горизонтах:

гор. 1315 м – 2010 м;

гор. 1465 м – 2200 м.

Час проходки головного квершлагу при нормативній швидкості 70 м/міс на гор. 1315 м – 28,7 міс., на гор. 1465 м – 31,4 міс.

Родовище шахти «Родіна» розкрито і підготовлено здвоєними поверхами загальною висотою 150 м, рис. 1. Сутність способу полягає в тому, що одночасно розкривають і підготовлюють два поверхи (висота поверху 70-80 м). Один із поверхів – нижній, є основним.

На основному горизонті проходять всі приствольні виробки і камери, транспортний квершлаг до покладів, відкотні польові штреки, капітальні підняттєві та ін.

На проміжному горизонті проходять транспортні виробки, капітальні рудоспуски на основний горизонт та необхідний для розвантаження вагонеток бункер.

Схема розкриття та підготовки рудних покладів здвоєними поверхами, при якій рудопідйомний ствол з'єднують з проміжним горизонтом транспортним квершлагом, дозволяє здійснювати перепуск руди з проміжного горизонту на основний по капітальним рудоспускам.

На сьогоднішній день основні транспортні горизонти на шахті «Родіна» облаштовані на відмітках 1315 м і 1465 м, проміжні горизонти – на відмітках 1390 м та 1540 м. У майбутньому передбачається спорудження основних транспортних горизонтів на відмітках 1615 м і 1765 м.

Згідно з запропонованою технологією відпрацювання рудних покладів, при розкритті горизонтів здвоєними поверхами та застосуванні системи підповерхового обвалення руди і вміщуючих порід, здійснюють одночасно на двох поверхах. Така технологія дозволяє збільшити коефіцієнт використання рудної площі та інтенсивність розробки родовища.

Розкриття і підготовка основних горизонтів здійснюється двоколійними квершлагами, пройденими від ствола шахти «Родіна», одноколійними польовими відкотними штреками і тупиковими та закільцьованими ортами-заїздами, пройденими через кожні 60 м.

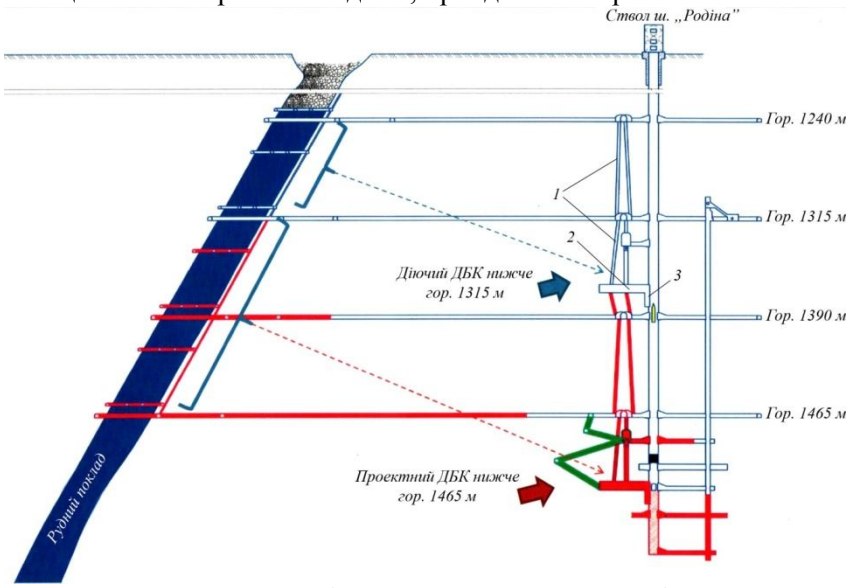

Рис. 1. Принципова схема розкриття та підготовки родовища шахти «Родіна» здвоєними поверхами:
1 – капітальні рудоспуски; *2* – дробильно-бункерний комплекс; *3* – дозатор

Розкриття і підготовка проміжних горизонтів здійснюється одноколійним відкотним квершлагом, польовими відкотними штреками та ортами-заїздами.

Для відпрацювання запасів руди у поверхах застосовують систему підповерхового обвалення руди і вміщуючих порід. Доставка руди до рудоперепускних підняттєвих здійснюється скреперними лебідками 30ЛС-2С, 55ЛС-2С, навантаження руди у вагонетки – за допомогою вібролюків типу АШЛ.

На основних і проміжних транспортних горизонтах застосовується електровозна відкатка руди електровозами типу 14КР, К-14У та вагонетками типу ВГ-4,5 та ВГ-4,5А вантажопідйомністю 10 т.

Для доставки людей від ствола до робочих місць використовуються вагони типу ВПШ-18.

Аналіз сучасного стану гірничих робіт на шахті «Родіна» показав, що у найближчі 2-3 роки виникне критичне положення з подальшим відпрацюванням запасів руди гор. 1390 м внаслідок відставання будівництва цього горизонту та дробильно-бункерного комплексу гор. 1465 м.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На підставі викладеного вище можна зробити наступні висновки:

1. Рудне родовище шахти «Родіна» на глибоких горизонтах розкрито чотирма вертикальними стволами шахт «Родіна», ім. газети «Правда», «Північна Вентиляційна», «Нова Південна Вентиляційна», пройденими з поверхні в лежачому боці, а також двома сліпими допоміжними стволами за схемою здвоєних поверхів загальною висотою 150 м з розташуванням основних транспортних горизонтів на відмітках 1315 м і 1465 м.

2. Гранична глибина підйому нині діючої скіпової підйомної установки дорівнює 1800 м. Виходячи з підйомних можливостей шахти, подальше розкриття, підготовка та відпрацювання рудних покладів нижче гор. 1540 м може бути здійснено шляхом подальшого поглиблення стволів шахт «Родіна» та ім. газети «Правда» до глибини 1800-1900 м.

3. Збільшення глибини І-го ступеня підйому можливо шляхом подальшого поглиблення основних скіпових рудопідйомних і допоміжних клітьових стволів до глибини 2000-2200 м і заміни діючих скіпових установок на більш продуктивні з більшою глибиною підйому.

4. У довгостроковій перспективі у випадку економічної доцільності може бути здійснено перехід на ІІ-й ступінь розкриття і підготовки рудних покладів сліпими стволами та концентраційними горизонтами з глибини 2000-2200 м.

Список літератури

1. **Короленко М.К.** Розширення сировинної бази підземного Кривбасу за рахунок залучення до видобутку магнетитових кварцитів / **Короленко М.К., Ступнік М.І., Калініченко В.О., Перегудов В.В., Протасов В.П.** // Монографія. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 236 с.

2. **Ступнік М.І.** Стан і перспективи розвитку підземних гірничих робіт у Криворізькому басейні / **Ступнік М.І., Колосов В.О., Калініченко В.О.** // Розробка родовищ : щорічний наук.-техн. збірник. – Дніпропетровськ: ТОВ ЛізуновПрес. – 2013. – С. 223-228.

3. **Колосов В.О.** Состояние и перспективы развития горнодобывающей промышленности Украины / **Колосов В.О., Ступнік М.І., Калініченко В.О.** // Розробка родовищ : щорічний наук.-техн. збірник. – Д: ТОВ «ЛізуновПрес». – 2014. – С. 193–197.

4. **Ступник Н.И.** Отработка природно-бедных руд Криворожского железорудного бассейна с закладкой выработанного пространства / **Ступник Н.И., Колосов В.А., Калиниченко В.А., Письменный С.В., Федько М.Б.** // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014.– № 3. – С. 95-98.

5. **Калініченко В.О.** Розкриття запасів залізних руд криворізького басейну підземним способом нижче глибини 1500…1700 м / **Калиниченко В.А., Письменный С.В., Калиниченко О.В.** / Збірник наукових праць "Вісник НУВГП". – Рівне. – 2018. - Випуск 1 (81) серія "Технічні науки". – С.229-240.

6. **Калиниченко В.А.** Тенденции в развитии горнодобывающего комплекса и проблемы технического перевооружения подземных рудников / **Калиниченко В.А., Жуков С.А., Калиниченко Е.В.** // Монография. - Кривой Рог : Минерал, 2007. – 172 с.

7. Ступнік М.І. Перспективи підземного видобутку та переробки багатих залізних руд в умовах можливого засмічення їх налягаючими глинистими породами **/ Ступнік М.І., Калініченко В.О.** // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2011. – Вип. 46(87). – С. 24–27.

8. **Ступнік М.І**. Комбіновані способи подальшої розробки залізорудних родовищ Криворізького басейну / **М.І. Ступнік, С.В. Письменний** // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – 2012. – № 95(1). – С. 3-7.

9. **Ступник Н.И.** Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / **Н.И. Ступник, С.В. Письменный** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 30. – С. 3-7.

10. **Письменный С.В.** Отработка складно-структурных залежей богатых руд камерными системами разработки / **С.В. Письменный** // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – 2014. – № 97. – С. 3-7.

11. **Колосов В.А.** Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине / **В.А. Колосов, В.П. Воловик, Н.И. Дядечкин** // Горн.журн. – М. : МГУ, 2000. – №6. – С. 162-168.

12. **Черных А.Д.** Комплексная разработка рудных месторождений / **А.Д. Черных, В.А. Колосов, О.С. Брюховецкий и др**.; Под ред. А.Д. Черных. – К. : Техніка, 2005. – 376 с.

13. **Бовин А.А.** Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых на больших глубинах / **А.А. Бовин, М.В. Курленя, Е.И. Шемякин** // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – М.: [б. и.], 1983. – № 3. – С. 64-73.

14. **Tarasyutin V.M.** Geotechnology features of high quality martite ore from deep mines of Kryvyi Rih basin. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2015. Issue 1. P. 54–60.

15. **Khomenko O.** Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2012. Issue 4. P. 44–54.

16. **Лебедев И.М.** Определение объемов горно-капитальных выработок при экономико-математическом моделировании схем вскрытия//Разработка рудных месторождений: республик. межвед. науч.-техн. сборник. – К.: Техніка. – 1978. – Вип. 26. – С. 17-20.

17. **Фаустов Г.Т.** Определение оптимальной величины I ступени вскрытия месторождений Кривбасса/**Фаустов Г.Т., Лебедев И.М.** //Разработка рудных месторождений: республик. межвед. науч.-техн. сборник. – К.: Техніка. – 1977. – Вип. 24. – С. 13-16.

18. **Малахов Г.М.** Вскрытие и разработка рудных месторождений на больших глубинах./ **Г.М.Малахов, А.П.Черноус** // М.: Госгортехиздат, 1960. – 300 с.

Рукопис подано до редакції 02.04.2018

УДК 681.5.015.23:681.5.015.24

А.М. МАЦУЙ*, канд. техн. наук, доц.
Центральноукраїнський національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЗНОРОЗМІРНОГО КУЛЬОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ МЛИНА ПЕРШОЇ СТАДІЇ ПОДРІБНЕННЯ ВИХІДНОЇ РУДИ

Мета. Метою роботи є математичне моделювання різнорозмірного кульового навантаження млина першої стадії подрібнення руди для удосконалення механізму впливу на сумарні характеристики при досягненні його оптимального раціонного значення, що забезпечує найвищу продуктивність.

Методи дослідження. Базувалися на теорії математичного моделювання, теорії спрацювання куль, побудови характеристик кульового навантаження, режимів роботи кульових млинів, теорії та практиці раціонного довантаження куль у технологічні агрегати.

Наукова новизна. Полягає в тому, що удосконалено механізм впливу на сумарні характеристики різнорозмірного кульового навантаження млинів, що дає можливість більш ефективно досягати його оптимального раціонного значення, яке забезпечує найвищу продуктивність технологічного агрегату за готовим продуктом.

Практична значимість. Полягає в тому, що відкривається перспектива більш швидкого отримання обґрунтованої за параметрами сумарної характеристики кульового навантаження і спрощення вартісних експериментальних досліджень щодо забезпечення підвищення максимальної продуктивності технологічного агрегату за готовим продуктом.

Результати. Встановлено, що при виборі характеристики кульового навантаження необхідно враховувати режим роботи млина. Характеристики крупності розглядалися при чотирьох початкових розмірах куль, однак їх можливо брати і більше. Більше п’яти початкових розмірів куль на практиці не використовують. При виборі складу куль, що претендує на оптимальний раціонний, необхідно характеристику розпочинати з максимального розміру кулі та розташовувати її практично паралельно ідеалізованій та реальній характеристиці, що відповідає обраному режиму роботи, Початкові характеристики визначають характер сумарних характеристик. Рівномірність розташування *S*-подібних сумарних характеристик відносно ідеалізованих залежить від положення останніх. Змінюючи положення початкових характеристик кульового навантаження млина, можливо впливати на сумарні характеристики. Вибір початкових характеристик кульового навантаження млина відрізняється широкими можливостями. На них можливо впливати вибором максимального розміру кулі у кульовому навантаженні, кількості обраних розмірів куль, процентного вмісту обраних молольних тіл у навантаженні. Це дозволяє виконати правильний вибір первинного кульового навантаження млина, який необхідно підтвердити експериментальною перевіркою щодо забезпечення максимальної продуктивності за готовим продуктом.

Ключові слова: різнорозмірне кульове навантаження; ідеалізована, початкова, сумарна характеристики; моделювання

doi:

*©Мацуй А.М., 2018