

О.В. КАЛІНІЧЕНКО, канд. економ. наук, доц, Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВИЛУЧЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД ПРИ ВИПУСКУ ОБВАЛЕНОЇ РУДНОЇ МАСИ НА КОНТАКТІ З ТВЕРДЮЧИМ ШТУЧНИМ МАСИВОМ

Мета. Дослідження та розробка заходів з підвищення показників вилучення відбитої руди з блоків II черги при випуску обваленої руди на контакті з твердіючим штучним масивом камер I черги.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі був використаний комплексний метод досліджень, що включає в себе аналіз і узагальнення літературних джерел; теорію планування експерименту; теорію і практику випуску руди, моделювання випуску руди на моделях з еквівалентних матеріалів; теорію статистики; багатфакторний аналіз.

Наукова новизна. Уперше встановлені кількісні залежності втрат руди в гребнях на контакті з твердіючим закладним масивом камер I черги після випуску руди з блоків II черги від висоти відпрацьованої камери і кута нахилу бічних поверхонь трапецеїдальної основи штучних циліків при формуванні трапецеїподібного днища блоку з похилими бічними поверхнями нижньої частини камер I черги.

Практична значимість. Практична значимість роботи полягає в розробці:

методики розрахунку втрат руди в гребнях на контакті з твердіючим закладним масивом камер I черги після випуску обваленої руди з блоків II черги;

методів поліпшення показників вилучення відбитої руди за рахунок формування бічних поверхонь трапецеїдальної основи штучних циліків камер I черги адекватних утворюючій воронки випуску блоків II черги;

методики визначення оптимальних параметрів технології відпрацювання рудних покладів з урахуванням мінімізації втрат руди в гребнях і збільшення показників вилучення відбитої руди з блоків II черги.

Результати. Експериментально доведено, що втрати руди в гребнях відпрацьованих блоків II черги на контакті з закладним масивом камер I черги залежать від висоти відпрацьованої камери і кута нахилу бічних поверхонь трапецеїдальної основи штучних циліків і при формуванні кутів нахилу, адекватних утворюючій воронки випуску зменшуються до 0,7-1,2%, збільшуючи вилучення руди з блоку на 4,1-7,8%.

Ключові слова: вилучення, відбита руда, блоки I та II черги, випуск руди, штучний масив твердіючої закладки, трапецеїдальне днище, моделювання на еквівалентних матеріалах.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У Криворізькому басейні при відпрацюванні родовищ залізних руд підземним способом втрати руди по системам розробки з обваленням руди і вміщуючих порід досягають 15-17%, іноді й більше.

На частку втрат руди в гребнях днищ очисних блоків доводиться до 7-12% загальних втрат руди по очисним блокам.

На сьогодні шахти Кривбасу використовують класичні технології випуску руди із очисних блоків, які на теперішній час не є новітніми і характеризуються високими втратами руди в надрах.

На наш погляд, необхідно застосовувати технології підземної розробки з закладною виробленою простору. Такі технології дозволяють видобувати корисні копалини з високими показниками вилучення та одночасним збереженням денної поверхні.

Таким чином робота, присвячена дослідженню та розробці заходів з підвищення показників вилучення при випуску обваленої руди на контакті з твердіючим штучним масивом є важливою та актуальною.

Аналіз досліджень і публікацій. Випуск обваленої руди на контакті з твердіючим штучним масивом при відпрацюванні блоку системами розробки з обваленням руди і вміщуючих порід аналогічний випуску руди на контакті з монолітним рудним масивом.

Основним недоліком даного випуску є наявність втрат руди в гребнях між випускними отворами і на контакті з твердіючим закладним масивом.

Слід зазначити, що згідно Г.М.Малахова [1] втрати руди в гребнях між випускними отворами залишаються постійно, незалежно від висоти шару випускаємої руди.

Відносна величина втрат залежить від висоти шару випускаємої руди, її фізико-механічних характеристик і параметрів еліпсоїда випуску, а також геометричних параметрів блоку.

Проблема визначення втрат відбитої руди в блоці є однією з найбільш складних і актуальних проблем теорії випуску обваленої руди.

На сьогоднішній день відомі результати досліджень, які стосуються, як правило, вивчення форм і параметрів фігур випуску відбитої руди стосовно випуску сипучого матеріалу з різними механічними властивостями руди [2-15].

У той же час формування втрат відбитої руди в гребенях на контакті з твердіючим закладним масивом камер I черги після повного випуску обваленої руди з блоків II черги практично не досліджувався.

Постановка завдання. Таким чином, дослідження втрат відбитої руди в гребенях на контакті з твердіючим закладним масивом камер I черги після повного випуску обваленої руди з блоків II черги потребують вирішення цілого комплексу задач, пов'язаних з моделюванням випуску руди на моделях із еквівалентних матеріалів.

Тому метою роботи є дослідження та розробка заходів з підвищення показників вилучення відбитої руди з блоків II черги при випуску обваленої руди на контакті з твердіючим штучним масивом камер I черги.

Викладення матеріалу та результати. Характер формування втрат руди в гребенях на контакті з твердіючим закладним масивом після повного випуску обваленої руди з блоків II черги представлений на рис. 1.

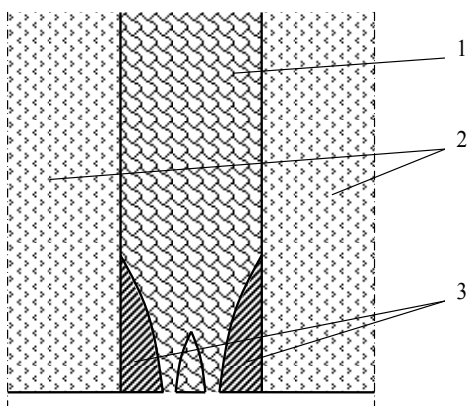


Рис. 1. Формування втрат руди в гребенях при вертикальному контакті випускаємої руди з твердіючим закладним масивом камер I черги після повного випуску обваленої руди з блоків II черги: 1 - пусті породи, 2 - твердіюча закладка камер I черги, 3 - втрати руди в гребенях на контакті із закладкою камер I черги

Нами запропонована технологія відпрацювання та закладки ділянки рудного тіла, що дозволяє знизити втрати руди в гребенях до 4-8 %.

Сутність технології полягає в наступному. Спочатку відпрацьовуються камери I черги з формуванням бічної поверхні нижньої частини камери з нахилом в сторону камер II черги, рис. 2.

Кут нахилу бічної поверхні нижньої частини камери I черги приймається адекватним утворюючій воронки випуску блоків II черги. В цьому випадку, при камерному випуску руди з блоків I черги відбувається повне витікання руди, включаючи прирощений обсяг нижньої частини камери, рис. 2.

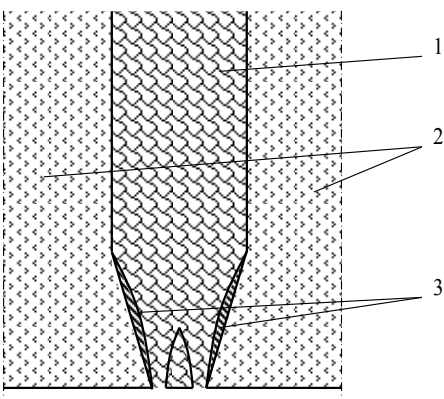


Рис. 2. Формування втрат руди в гребенях при похилому контакті випускаємої руди з твердіючим закладним масивом камер I черги після повного випуску обваленої руди з блоків II черги: 1 - пусті породи, 2 - твердіюча закладка камер I черги, 3 - втрати руди в гребенях на контакті із закладкою камер I черги

Наступним етапом є заповнення камери I черги закладним матеріалом. Після набору міцності починають відпрацювання блоків II черги системами розробки з обваленням руди і вміщуючих порід. Випуск руди під налягаючими обваленими породами здійснюється відповідно до теорії випуску руди з обсягів, що мають форму еліпсоїдів обертання.

Формування днища блоку з похилими бічними поверхнями в нижній частині камер I черги дозволяє практично ліквідувати втрати руди в гребенях на контакті з твердіючим закладним масивом камер I черги після повного випуску обваленої руди з блоків II черги.

Для підтвердження висловлених припущень і вивчення закономірностей формування і визначення контурів гребенів після повного випуску обваленої руди з блоків II черги були виконані лабораторні дослідження з випуску обваленої руди на кордоні з твердіючим закладним масивом камер I черги.

Лабораторні експерименти проводилися на стандартних статичних моделях випуску для різних гірничо-геологічних характеристик покладів багатих залізних руд, характерних для родовищ Криворізького басейну.

У першій серії дослідів (I варіант) моделювалися умови випуску обваленої руди з блоку II черги, розташованого на контакті з твердіючим закладним масивом камер I черги. Поверхня контакту приймалася вертикальною, аналогічною поверхні контакту при класичних технологіях відпрацювання очисних блоків.

На рис. 3 представлено першу та останню стадії випуску відбитої руди з блоку II черги на контакті з вертикальними бічними поверхнями твердіючої закладки з формуванням втрат відбитої руди в гребенях на контакті з твердіючим закладним масивом.

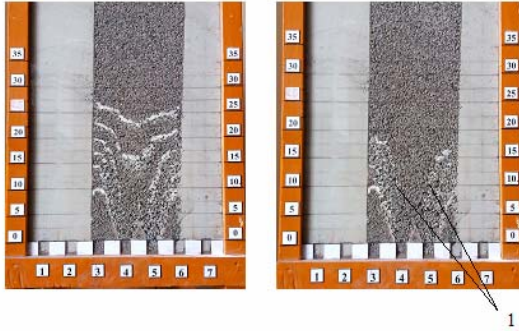


Рис. 3. Стадії випуску відбитої руди камери II черги на контакті з вертикальними бічними поверхнями твердіючого закладного масиву камер I черги: 1 - контури втрат відбитої руди в гребенях

Технологія моделювання полягала в наступному. У модель із заданими параметрами засипалося необхідна, відповідно до експерименту, кількість руди. Зверху засипалися пусті породи.

Випуск руди здійснювався до повного її випуску з блоку, який характеризувався появою в

випускних отворах граничної смуги з крейди.

Друга серія експериментів (II варіант) передбачала моделювання умов, аналогічних попередній серії дослідів з початковим відпрацюванням камер I черги та формуванням бічної поверхні в нижній частині камери з нахилом в сторону камер II черги. Кут нахилу бічної поверхні нижньої частини камери I черги приймався адекватним утворюючій еліпсоїда випуску блоків II черги.

Далі здійснювалося зважування випущеної руди і визначалася вага залишеної руди в гребенях, яка трансформувалася в відсоткове співвідношення випущеної і втраченої руди.

Таким чином, підтверджувалося припущення про те, що формування днища блоку з похилими бічними поверхнями в нижній частині камер I черги дозволяє практично ліквідувати втрати руди в гребенях на контакті з твердіючим закладним масивом камер I черги після повного випуску обваленої руди з блоків II черги.

На рис. 4 представлені стадії випуску відбитої руди з камери II черги на контакті з похилими бічними поверхнями твердіючої закладки камер I черги та формування втрат відбитої руди в гребенях на контакті з твердіючим закладним масивом.

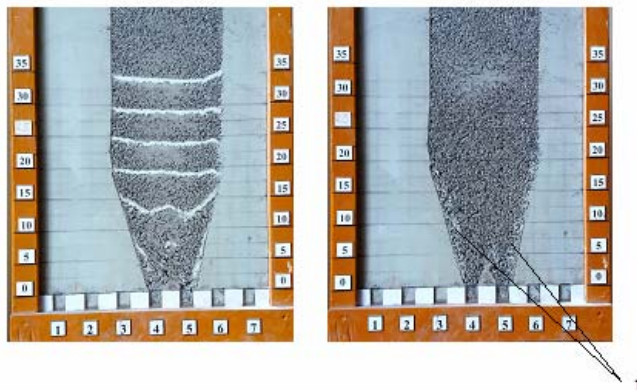


Рис. 4. Стадії випуску відбитої руди в камері II черги на контакті з похилими бічними поверхнями твердіючої закладки камер I черги і формуванням втрат відбитої руди в гребенях на контакті з твердіючим закладним масивом: 1 - контури втрат відбитої руди в гребенях

Встановлено, що втрати руди в гребенях відпрацьованих блоків II черги на контакті з закладним масивом камер I черги залежать від висоти відпрацьованої камери і кута нахилу бічних поверхонь трапецеїдальної основи штучних ціликів і при формуванні кутів нахилу, адекватних утво-

рюючій воронки випуску зменшуються до 0,7-1,2 %, збільшуючи вилучення руди з блоку на 4,1-7,8 %.

В процесі проведення експериментальних досліджень були встановлені такі закономірності. Абсолютні втрати руди в гребенях, на кордоні зі штучним масивом камер I черги практично не залежали від параметрів блоку, що підтвердило висновки академіка Г.М. Малахова [1] про те, що втрати руди в гребенях між випускними отворами залишаються постійними, незалежно від висоти шару випускаємої руди.

У той же час, відносні втрати руди в гребенях залежали від висоти і ширини блоку, кількості дучок і відстані між ними.

На рис. 5 представлено залежності втрат руди в гребенях від кута нахилу бічної поверхні трапецеїдального днища на кордоні зі штучним масивом камер I черги при різній висоті блоку.

Аналіз результатів експериментальних досліджень дозволив встановити такі закономірності.

Функціонал змінної величини втрат руди в гребенях в залежності від кута нахилу бічної поверхні трапецеїдального днища на кордоні з штучним масивом камер I черги при диференційованій висоті блоку добре апроксимується поліноміальною кривою другого порядку.

Для камер (панелей) висотою 25 м величину втрат руди в гребенях можна визначити з виразу

$$P = 0,031\beta^2 - 4,473\beta + 163,42, \%$$

$$R^2 = 0,9678.$$

де P - величина втрат руди в гребенях на кордоні з штучним масивом камер I черги,%; β - кут нахилу бічної поверхні трапецеїдального днища на кордоні з штучним масивом камер I черги; R - достовірність апроксимації.

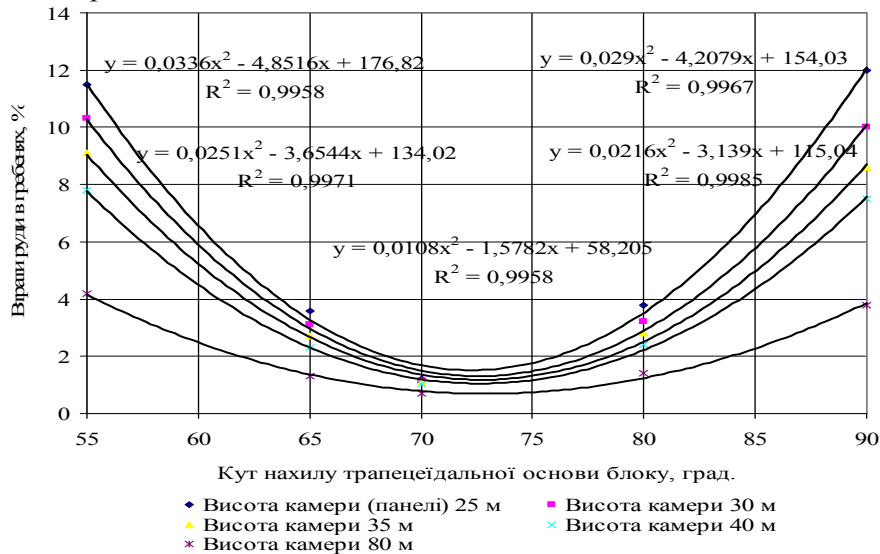


Рис. 5. Залежності втрат руди в гребенях від кута нахилу бічної поверхні трапецеїдального днища на кордоні з штучним масивом камер I черги при різній висоті блоку

Для камер (панелей) висотою 30 м величину втрат руди в гребенях можна визначити з виразу

$$P = 0,0269\beta^2 - 3,8965\beta + 143,02, \%$$

$$R^2 = 0,9692.$$

В панелях висотою 35 м величина втрат руди в гребенях визначається з виразу

$$P = 0,0233\beta^2 - 3,3889\beta + 124,64, \%$$

$$R^2 = 0,9695.$$

Для панелей висотою 40 м величина втрат руди в гребенях визначається з виразу

$$P = 0,0201\beta^2 - 2,9114\beta + 106,99, \%$$

$$R^2 = 0,9734.$$

В блоках висотою 80 м величину втрат руди в гребенях можна визначити з виразу

$$P = 0,0101\beta^2 - 1,4655\beta + 54,239, \%$$

$$R^2 = 0,9663.$$

Узагальнююча величина втрат руди в гребенях в залежності від кута нахилу бічної поверхні трапецеїдального днища на кордоні з штучним масивом камер I черги при диференційованій висоті блоку добре апроксимується поліноміальною кривою другого порядку і визначається з виразу

$$P = (0,0258\beta^2 - 3,7275\beta + 131,18) \cdot 1,5487e^{-0,0099h_n}, \%$$

$$R^2 = 0,9993,$$

де h_n – висота відпрацьованої панелі, м.

Висновки. Отже, експериментально доведено, що втрати руди в гребнях відпрацьованих блоків II черги на контакті з закладним масивом камер I черги залежать від висоти відпрацьованої камери і кута нахилу бічних поверхонь трапецеїдальної основи штучних ціликів і при формуванні кутів нахилу, адекватних утворюючій воронки випуску зменшуються до 0,7-1,2 %, збільшуючи вилучення руди з блоку на 4,1-7,8 %.

Список літератури

1. Малахов Г.М., Безух В.Р., Петренко П.Д. Теория и практика выпуска руды. – М.: Недра, 1968. – 311с.
2. Куликов В.В. Совместная и повторная разработка рудных месторождений. – М.: Недра, 1965. – С. 291.
3. Инструкция по нормированию, прогнозированию и учету показателей извлечения руды из недр при подземной разработке железных месторождений / Бызов В.Ф., Азарян А.А., Колосов В.А., Моргун А.В., Плеханов В.К., Попов С.О. – Кривой Рог: Минерал, 2003. – 117с.
4. Пат. 48630 А Украина, МКИ Е 21 С 41/00. Спосіб розробки рудних покладів / Калініченко В.О., Калініченко О.В. (Україна); Заявл. 26.10.2001; Опубл. 15.08.2002, Бюл.№8. – 2 с.
5. Калиниченко В.А., Калиниченко Е.В. Повышение эффективности извлечения руды при системах с обрушением // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: Изд-во КТУ. - 2001. - Вып.74. – С. 65-68.
6. Куликов В.В. Исследование движения отбитой руды при ее выпуске под налегающими пустыми породами // Московский институт цветных металлов и золота. – Сб.№21. – Metallurgizdat. – 1952. – С.21-25.
7. Куликов В.В., Дейнека А.Г. Методика прогнозирования показателей извлечения руды. – М.- Изд. ИГД им.А.А. Скочинского. – 1969. – 161 с.
8. Куликов В.В. Выпуск руды. – М.: Недра, 1980. – 303с.
9. Дубынин Н.Г. Выпуск руды при подземной разработке. - М. «Недра», 1965. – 267с.
10. Балхавдаров Х.А., Сабаткоев М.М., Габараев О.З. Динамика потерь руды на днище между воронками // Изв. вузов. Горный журнал. – 1991. - №10. - С. 24-26.
11. Балхавдаров Х.А., Сабаткоев М.М. Параметры сферы влияния выработки для выпуска руды // Горный журнал. – 1986. - №2. – С. 14-17.
12. Guy Lauret et Patrice Brasse / Explorations selectives des amas uraniferes: evolution de la methode d'exploitation // Mines carrierez – revue de la societie de l'industrie minerale. - 1999. – Vol.81. - P. 41-44.
13. Вольфсон П.М., Камбаров В.А. Определение активного размера выпускных отверстий при различных способах выпуска // Горный журнал. – 1984. - №8. – С. 35-39.
14. Кунин И.К. Выпуск и доставка руды при подземной разработке. – М.: Недра, 1964. – 198 с.
15. Протунин Ю.Е. Математическая модель истечения сыпучих материалов // Горный журнал. – 2004. - №10. – С. 82-84.

Рукопис подано до редакції 30.03.2017

УДК 621.382.333

І. А. КОЗАКЕВИЧ, Ю. Г. ОСАДЧУК, кандидати техн. наук, доценти, А. Л. АМІРОВ, студент, Криворізький національний університет

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РЕЖИМИ ГАЛЬМУВАННЯ ТЯГОВИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Мета. Метою даної роботи є дослідження питання формування сигналу завдання електромагнітного моменту системи векторного керування асинхронним двигуном з метою максимізації обсягу повернутої електроенергії до джерела при рекуперативному гальмуванні. Для досягнення поставленої мети виконано отримання аналітичних залежностей, що пов'язують гальмівний момент, створюваний двигуном у режимі рекуперативного гальмування, з обмеженнями величин напруг та струмів, а також параметрами схеми заміщення двигуна; аналіз функціонування двигуна у режимі рекуперативного гальмування при роботі з кутовою швидкістю, що є меншою за базову, а також при роботі з ослабленням поля асинхронного двигуна. Пошук шляхів оптимізації даного процесу є можливим, і в даній роботі представлено аналітичне вирішення даної задачі, в результаті проведення якого отримані залежності, що дозволяють визначити рекомендовану величину сигналу завдання гальмівного моменту для максимізації кількості поверненої електроенергії до джерела.

Методи дослідження. Дослідження виконувалося з використанням рівнянь стану асинхронного двигуна, що отримуються з використанням ідеалізованої електричної машини, у системі координат d-q. Вони слугували підґрунтям для одержання математичних залежностей, що описують можливості максимізації кількості повернутої до автономного джерела живлення енергії.

Наукова новизна. Встановлено величину гальмівного моменту у режимі рекуперативного гальмування при роботі з кутовою швидкістю, що є меншою за базову, а також з ослабленням поля, використання якого в системі керування в якості сигналу завдання забезпечує максимальний обсяг повернутої до джерела електроенергії.

Практична значимість. Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості використання представлених залежностей для розробки алгоритмів керування електричними та гібридними транспортними засобами.

Результати. Розраховані граничні умови існування режиму рекуперативного гальмування для асинхронного двигуна, що дозволяють знайти мінімальну кутову швидкість для такого режиму.

Ключові слова: асинхронний двигун, рекуперативне гальмування, гальмівний момент, енергоефективність.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Проблема ефективності процесу гальмування електроприводів завжди була і є актуальним напрямком,