

УДК 622.272:622.646:681.3.06

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПУСКУ РУДИ ДЛЯ УМОВ РОЗРОБКИ ПОКЛАДІВ ПРИРОДНО-БАГАТИХ ЗАЛІЗНИХ РУД РІЗНОЇ МІЦНОСТІ

Косенко А.В.

Криворізький національний університет

У статті викладено результати комп'ютерного моделювання процесу випуску руди, яка характеризується різною міцністю. На основі чого встановлені залежності величини об'єму фігури випуску від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск, коефіцієнту міцності рудного масиву, який трансформується у сипкий матеріал, висоти шару обваленої руди над випускними виробками і діаметру випускних виробок. Які дають можливість розрахувати відстані між випускними виробками в залежності від оптимальних показників вилучення рудної маси, основуючись на несучій здатності днищ приймальних горизонтів.

Ключові слова: природно-багаті залізні руди, рівномірно-паралельний режим випуску, інтенсивність випуску руди, показники вилучення руди, комп'ютерне моделювання, фігура випуску.

Постановка проблеми. Розробка покладів природно-багатих залізних руд, різними варіантами системи підповерхового обвалення, на шахтах Кривбасу, з пониженням глибини ведення очисних робіт, супроводжується постійним зростанням показників втрат відбитої руди у надрах та засмічення рудної маси [1]. Ці показники вже перевищили нормативні і постійно погіршуються [2]. А основним технологічним процесом, який значним чином впливає на показники вилучення рудної маси, є випуск руди через горизонтальні днища приймальних горизонтів і її доставка в межах очисних блоків за допомогою переносного стаціонарного гірничого обладнання [2]. Тому дослідження і удосконалення технологічних рішень управління цим процесом є головним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Приведені у роботах [3–5] результати досліджень у галузі теорії процесу випуску руди під обваленими пустими породами показали, що кращим є рівномірно-паралельний режим випуску, коли вилучення здійснюється одночасно із усіх випускних виробок з однаковою інтенсивністю по всій площі зони випуску. Забезпечення підвищення рівномірності та інтенсивності випуску рудної маси із випускних отворів виймальної одиниці можливо досягти завдяки застосуванню комбінованого способу доставки рудної маси комплексом «скреперні установки – самохідна навантажувально-доставочна машина» [6]. У цьому випадку випуск рудної маси здійснюється одночасно з кожної випускної виробки одного ряду вздовж штреку скреперування лінійними зонами почергово-стадійно по усій площі днища приймального горизонту.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. З досліджень, викладених у роботах [3, 7] встановлено, що значним чином на показники вилучення руди впливає інтенсивність її випуску, збільшення якої значно знижує втрати руди завдяки збільшенню фігури випуску. Також цей факт підтверджує і практичний досвід, який вказує на те, що втрати руди у гребенях між випускними отворами панелі істотно знижуються зі збільшенням продуктивності засобів доставки, тобто інтенсивності випуску.

Розроблений у роботі [6] комбінований спосіб випуску і доставки рудної маси дозволяє здійснювати практично безперервний її випуск, що обумовлює збільшення об'єму фігури випуску завдяки постійному розпушенню рудної маси в зоні над випускними отворами і, як наслідок, призводять до збільшення кількісних показників вилучення [1, 6]. Проте невирішеним є питання встановлення залежності впливу величини інтенсивності технологічного процесу випуску рудної маси та кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск на параметри фігур випуску і кількісні та якісні показники вилучення у процесі розробки покладів природно-багатих залізних руд, які характеризуються різною міцністю.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є встановлення залежностей параметрів фігури випуску від інтенсифікації технологічного процесу випуску для різної кількості випускних отворів з яких одночасно здійснюється випуск та міцності рудного масиву, який трансформується у сипкий матеріал.

Виклад основного матеріалу. Комп'ютерне моделювання випуску руди ґрунтувалось на встановленні середнього для криворізьких шахт гранулометричного складу обваленої руди (табл. 1), який не суттєво відрізняється від відібраних проб, приведених у роботі [8].

Таблиця 1
Середній гранулометричний склад відбитої руди на шахтах Кривбасу

| Масовий вихід фракцій (%) розміри, мм | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|--------|------------|
| 0–10 | 10–25 | 25–50 | 50–100 | більше 100 |
| 53,8 | 12,3 | 11,1 | 7,9 | 14,9 |

Джерело: розроблено автором за даними [8]

На різних рудниках Кривбасу руда характеризується різними коефіцієнтами міцності, який в середньому змінюється в межах від 4 до 10. Для цих коефіцієнтів міцності були встановлені «мінімальні» кути внутрішнього тертя (стан критичної рівноваги в очисній панелі під товщею обвалених пустих порід) (табл. 2), які здійснюють значний вплив на параметри фігури випуску.

Визначення кутів внутрішнього тертя здійснювалось у відповідності до закону Кулона [9],

як зв'язок між граничним опором та і нормальним напруженим станом σ_a в площині з урахуванням сил капілярного натягу води [10], для умов II класу розробки покладів природно-багатих залізних руд на глибині ведення очисних робіт 1200–1400 м, з відбійкою основного запасу очисних панелей за допомогою зарядів вибухових речовин, які розташовані у свердловинах, на утворений компенсаційний простір об'ємом більше 25%. Рівень вологи у відбитій рудній масі прийнятий на рівні 7%. Так як з практики відомо, що рівень вологи в рудній масі, яка вилучається з очисних панелей, в умовах підземного Кривбасу коливається в межах від 1,5 до 7,0%. Але зі зростанням глибини розробки рудних покладів притоки шахтних вод на робочі горизонти зростають. Також зростає гірничий тиск і щоб уникнути масштабного його розвитку не рідко здійснюється обвалення запасів очисних панелей не дочекавшись повного завершення їх дренавання.

Таблиця 2

Значення кутів внутрішнього тертя сипкого рудного матеріалу для різних коефіцієнтів міцності рудного масиву

| Коефіцієнт міцності рудного масиву | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|------|----|------|------|----|----|----|
| «Мінімальний» кут внутрішнього тертя сипкого рудного матеріалу | 40,5 | 45 | 48,5 | 49,5 | 50 | 52 | 53 |

Джерело: розроблено автором за даними [9, 10]

Для перевірки впливу інтенсивності на параметри фігури випуску було проведено моделювання за допомогою комп'ютерної програми PFC3D, один із етапів якого представлено на рис. 1.

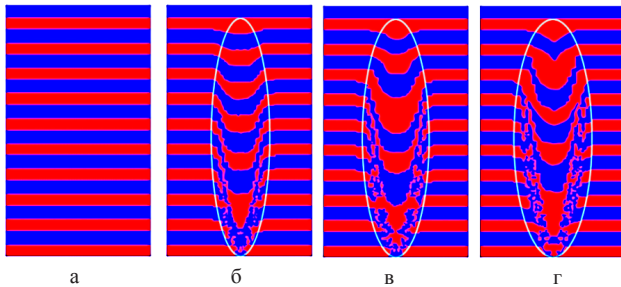


Рис. 1. Моделювання випуску руди за допомогою програмного комплексу PFC3D:

- а – заповнена модель сипким матеріалом;
 б – модель після випуску (у масштабі моделювання) 220 т матеріалу рівномірними дозами (по 1,5 т) через кожні 172 с; в – модель після випуску (у масштабі моделювання) 220 т матеріалу рівномірними дозами (по 1,5 т) через кожні 86 с;
 г – модель після випуску (у масштабі моделювання) 220 т матеріалу рівномірними дозами (по 1,5 т) через кожні 43 с

Джерело: розроблено автором

З рис. 1 візуально видно, що зі збільшенням швидкості відбору рівномірних доз через випускний отвір (інтенсивності технологічного процесу випуску) фігура випуску збільшується в об'ємі.

На основі проведеного моделювання були отримані залежності величини об'єму фігури ви-

пуску від інтенсивності технологічного процесу випуску, в залежності від коефіцієнту міцності руди. За даними яких було встановлено кут випуску руди в залежності від інтенсивності проходження технологічного процесу і коефіцієнту міцності рудного масиву (рис. 2).

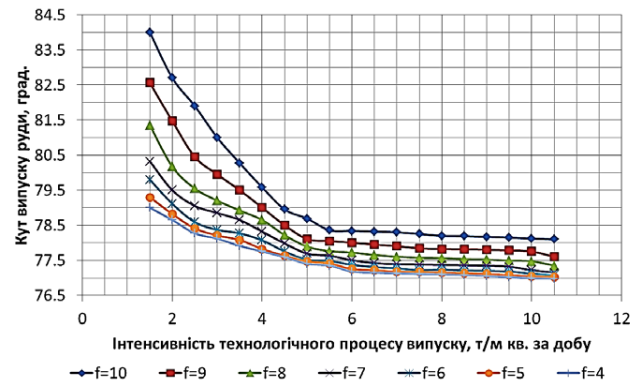


Рис. 2. Графіки залежності величини кутів випуску руди (β) від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску (I) для різної міцності рудного масиву (f)

Джерело: розроблено автором

З рис. 2 видно, що збільшення інтенсивності випуску рудної маси з випускного отвору суттєво впливає на кут випуску руди, а відповідно на об'єм фігури випуску, у діапазоні збільшення інтенсивності до від 1,5 до 5,5–6,0 т/м² за добу від 84° до 76,36°, після чого подальше збільшення інтенсивності випуску від 5,5–6,0 до 10,5 т/м² за добу не суттєво впливає на зменшення кута випуску руди і він зменшується з 78,36° до 78,1° та його величина залежить від міцності рудного масиву, що обвалюється. Цей факт пояснюється тим, що у процесі випуску рудної маси змінюються фізико-механічні властивості сипкого матеріалу, зокрема кут внутрішнього тертя і сила зчеплення окремих його частинок, завдяки пониженому тиску над випускним отвором, який залежить від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску.

На основі проведених досліджень, в залежності від міцності рудного масиву, який трансформований у сипкий матеріал та інтенсивності протікання технологічного процесу випуску рудної маси для різної міцності руди, була виведена формула розрахунку об'єму еліпсоїда випуску:

$$Q = \frac{2\pi \cdot h_{ш.р.}}{3} \cdot \left(\frac{d + h_{ш.р.} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)})}{2} \right)^2, \text{ м}^3 \quad (1)$$

де $h_{ш.р.}$ – висота шару руди над випускною виробкою, м; $\pi = 3,14$ – математична постійна, яка дорівнює відношенню довжини окружності до її діаметру; d – діаметр випускної виробки (отвору), м; $\beta_{(f=i)}$ – кут випуску руди для різної міцності рудного масиву, в залежності від величини інтенсивності технологічного процесу випуску, град, тангенс якого визначається в залежності від інтенсивності технологічного процесу випуску за встановленими формулами:

$$\operatorname{tg} \beta_{(f=4)} = -0,002I^3 + 0,0514I^2 - 0,4493I + 5,6915, \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \beta_{(f=5)} = -0,0027I^3 + 0,0657I^2 - 0,5494I + 5,9361; \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \beta_{(f=6)} = -0,0038I^3 + 0,0908I^2 - 0,7256I + 6,3644; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \beta_{(f=7)} = -0,0045I^3 + 0,109I^2 - 0,8809I + 6,8545; \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \beta_{(f=8)} = -0,0082I^3 + 0,188I^2 - 1,4232I + 8,097; \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} \beta_{(f=9)} = -0,0141I^3 + 0,319I^2 - 2,3516I + 10,291; \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \beta_{(f=10)} = -0,0226I^3 + 0,512I^2 - 3,7589I + 13,721; \quad (8)$$

де $f = 4-10$ – відповідно значення коефіцієнту міцності рудного масиву, який трансформований у сипкий матеріал, за шкалою проф. Протодьяконова; I – інтенсивність протікання технологічного процесу випуску руди, т/м^2 за добу.

Погрішність розрахунків за наведеною формулою (1) не перевищує 3,8% за умов міцності рудного масиву $f = 4$, інтенсивності випуску руди $I = 10,5 \text{ т/м}^2$ за добу та висоти шару обваленої руди $h_{\text{ш.р.}} = 10 \text{ м}$ і зменшується до 0,5% зі збільшенням висоти шару обваленої руди до $h_{\text{ш.р.}} = 40 \text{ м}$ і міцності рудного масиву до $f = 10$ та зменшенням інтенсивності випуску руди до значення $I = 0,5 \text{ т/м}^2$ за добу.

Розмір малої піввісі еліпсоїда випуску розраховується за встановленою формулою:

$$b = \frac{d + h_{\text{ш.р.}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)})}{2}, \text{ м} \quad (9)$$

Для забезпечення максимального вилучення рудної маси з обвалених запасів очисних панелей розміри між випускними виробками повинні такими, щоб фігури випуску були дотичні [5].

Таким чином відстані між випускними виробками повинні визначатися за встановленими формулами:

а) за умов однакової висоти шару обваленої руди і діаметру виробок випуску:

$$l = d + h_{\text{ш.р.}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)}), \text{ м} \quad (10)$$

б) за умов різної висоти шару обваленої руди і діаметру виробок випуску:

$$l = \frac{d_1 + h_{\text{ш.р.1}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)}) + d_2 + h_{\text{ш.р.2}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)})}{2}, \text{ м} \quad (11)$$

де d_1, d_2 – діаметри суміжних випускних виробок, м; $h_{\text{ш.р.1}}, h_{\text{ш.р.2}}$ – висота шару руди над першою та другою суміжними випускними виробками, м.

в) за умов однакового діаметру виробок випуску та різної висоти шару обваленої руди над ними:

$$l = d + \frac{h_{\text{ш.р.1}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)}) + h_{\text{ш.р.2}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)})}{2}, \text{ м} \quad (12)$$

Розрахунок за формулами (10–12) повинен корегуватися у відповідності до розрахунку дниць приймальних горизонтів, з розташованими в них виробками випуску і доставки, на несучу здатність.

Об'єм вилучення чистої руди із запасів, що приходяться на відокремлену випускну виробку з якої здійснюється випуск рівномірними дозами розраховується за встановленою формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot h_{\text{ш.р.}}}{6} \cdot \left(h_{\text{ш.р.}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)}) \right)^2, \text{ м}^3 \quad (13)$$

Об'єм вилучення чистої руди, у разі її випуску за допомогою рівномірно-послідовного ре-

жиму випуску з декількох випускних виробок однакового діаметру, за умов якщо панель має вертикальні стінки і однакову висоту шару обваленої руди, може бути визначений за встановленою формулою:

$$V = \frac{h_{\text{кр.}}}{12} \pi \cdot N \cdot \left(2d^2 + \left(\frac{d}{2} + h_{\text{кр.}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)}) \right)^2 \right) + \frac{h_{\text{кр.}}}{12} \pi \cdot \left(2 \cdot \left(\frac{d + h_{\text{кр.}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)})}{2} \right)^2 + \left(\frac{3h_{\text{кр.}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)})}{2} \right)^2 \right) + \frac{2d + 5h_{\text{кр.}} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)})}{4} \cdot \frac{h_{\text{кр.}}}{2} \cdot (L_2 + \dots + L_{N-1}), \text{ м}^3 \quad (14)$$

де N – кількість випускних виробок з яких рівномірно послідовно здійснюється випуск; $L_2 \dots L_{N-1}$ – відстань між другою та наступними виробками випуску до передостанньої, м.

Тоді для максимального вилучення рудної маси необхідної якості відстані між виробками

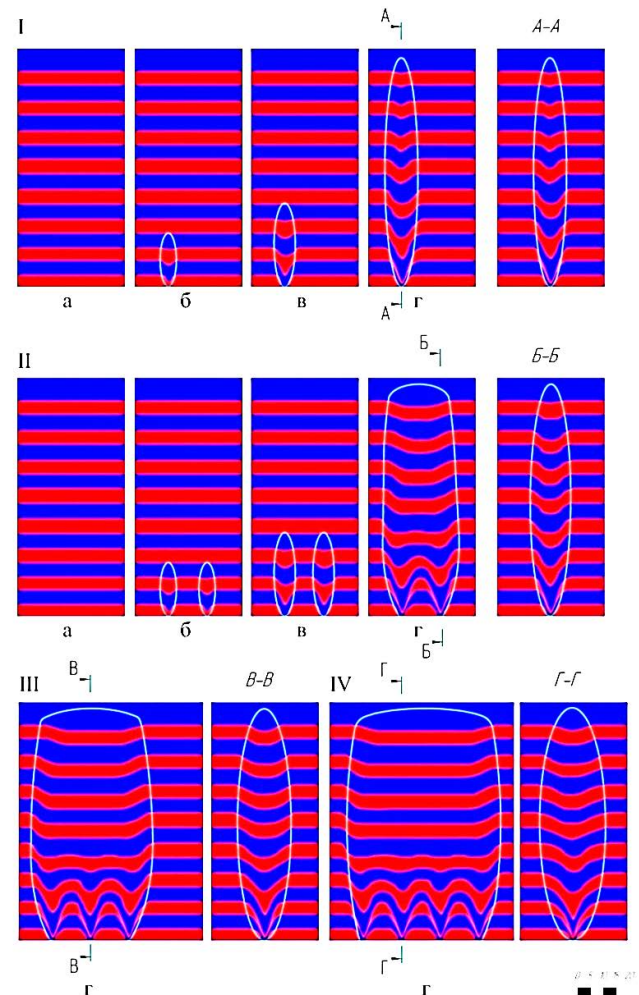


Рис. 3. Стадія моделювання випуску руди випуску руди за допомогою програного комплекс PFC 3D для різної кількості випускних отворів, з яких одночасно здійснюється випуск рівномірними дозами:

I, II, III, IV – моделювання випуску руди рівномірними дозами одночасно з одного, двох, трьох і чотирьох випускних отворів відповідно; а – заповнена модель сипким матеріалом; б – модель після першої дози випуску; в – модель після другої дози випуску; г – модель після сьомої дози випуску

Джерело: розроблено автором

випуску і доставки необхідно диференціювати в залежності від шару запасу обваленої руди над ними, міцності рудного масиву та інтенсивності протікання технологічного процесу випуску.

Другим етапом досліджень було встановлення впливу на параметри фігури випуску кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск рівними дозами для різної висоти шару руди над випускними отворами різного діаметру, з дотриманням відстані між випускними отворами, яка забезпечує критичну висоту фігур випуску в залежності від шару руди над ними. Такий випуск був названий у роботі [2], як рівномірно-паралельний почерговими лінійними зонами рівномірних доз режим випуску руди. Одна зі стадій моделювання представлена на рис. 3.

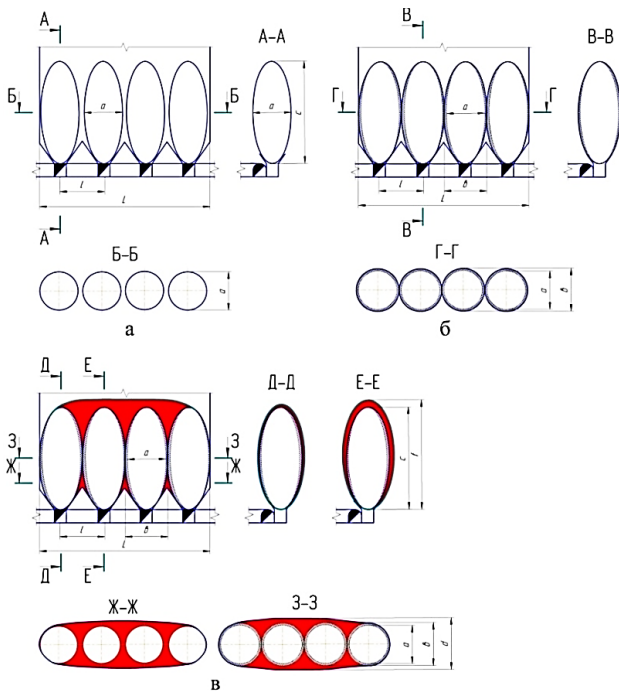


Рис. 4. Загальна принципова схема моделювання випуску руди за допомогою програного комплексу PFC 3D:

а – звичайний рівномірно-последовний режим випуску руди; б – високо-інтенсивний рівномірно-последовний режим випуску руди; в – рівномірно-паралельний почерговими лінійними зонами рівномірних доз режим випуску руди; L – довжина очисної панелі; l – відстань між випускними виробками; а – найбільший розмір еліпсоїду випуску по ширині у разі застосування звичайного низькоінтенсивного (близько 1,5 т/м² за добу) рівномірно-последовного режиму випуску; б – найбільший розмір фігури випуску по ширині у разі застосування високоінтенсивного (від 5,5 т/м² за добу) рівномірно-последовного режиму випуску; с – висота фігури випуску у разі застосування рівномірно-последовного режиму випуску будь-якої інтенсивності; d – найбільший розмір фігури випуску по ширині у разі застосування високоінтенсивного (від 5,5 т/м² за добу) рівномірно-паралельного почерговими лінійними зонами рівномірних доз режиму випуску руди; f – найбільша висота фігури випуску по висоті у разі застосування високоінтенсивного (від 5,5 т/м² за добу) рівномірно-паралельного почерговими лінійними зонами рівномірних доз режиму випуску руди

Джерело: розроблено автором

З рис. 3 візуально видно, що фігура випуску збільшується в розмірах у залежності від кількості випускних отворів з яких одночасно здійснюється випуск однаковими дозами, за умов однакової інтенсивності протікання технологічного процесу випуску. Розширення фігури випуску відбувається з моменту досягнення критичної висоти окремих суміжних фігур випуску над кожним із випускних отворів, розташованих на одній осі. Загальна принципова схема проведення експерименту представлена на рис. 4.

З рис. 4. видно, що у разі випуску руди рівномірно-последовно об'єм фігури випуску збільшується в об'ємі в залежності від величини інтенсивності випуску. Тому за умов однакової відстані l між випускними виробками показники вилучення руди будуть збільшуватись до граничного значення. Також видно, що у разі застосування високоінтенсивного (від 5,5–6 т/м² за добу) рівномірно-паралельного почерговими лінійними зонами рівномірних доз режиму випуску руди, об'єм фігури збільшується у порівнянні з високоінтенсивним рівномірно-последовним режимом випуску.

За даними проведених досліджень було встановлено, що на об'єм фігури випуску, у разі застосування рівномірно-паралельного почерговими лінійними зонами рівномірних доз режиму випуску з декількох випускних отворів, не значним чином впливає зміна діаметру випускного отвору у порівнянні з рівномірно-последовним режимом випуску з тої ж кількості випускних отворів, за умов однакової інтенсивності протікання технологічного процесу випуску. Також встановлено, що об'єм фігури випуску знаходиться в логарифмічній залежності від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск, коефіцієнту міцності рудного масиву, який трансформується у сипкий матеріал, і висоти шару обваленої руди над випускними виробками. Тоді об'єм фігури випуску, коли випуск здійснюється з двох і більше випускних виробок рівномірними дозами одночасно, розраховується за перетвореним виразом (1):

$$Q = \frac{2\pi \cdot h_{ш.р.}}{3} \cdot \left(\frac{d + h_{ш.р.} \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta_{(f=i)})}{2} \right)^2 \cdot N \cdot k, \text{ м}^3 \quad (15)$$

де N – кількість випускних виробок, з яких одночасно здійснюється випуск рівномірними дозами, од.; k – коефіцієнт, який враховує інтенсивність протікання технологічного процесу випуску (I, т/м² за добу), кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск (N, од.), коефіцієнт міцності рудного масиву (f) і висоту шару обваленої руди над випускними виробками (h_{ш.р.}, м):

$$k = \frac{1,085^I \cdot 1,4^N \cdot 0,89^f \cdot 1,09^{h_{ш.р.}} \cdot 0,17}{100} + 1 \quad (16)$$

Висновки і пропозиції. Таким чином у ході проведеного моделювання було встановлено, що збільшення інтенсивності випуску рудної маси з випускного отвору суттєво впливає на кут випуску руди, а відповідно на об'єм фігури випуску. Так у діапазоні збільшення інтенсивності до

від 1,5 до 5,5–6,0 т/м² за добу кут випуску змінюється від 84° до 76,36°, після чого подальше збільшення інтенсивності випуску від 5,5–6,0 до 10,5 т/м² за добу не суттєво впливає на зменшення кута випуску руди і він зменшується з 78,36° до 78,1° та його величина знаходиться в поліміальній залежності від міцності рудного масиву, що трансформується у сипкий матеріал. А величина об'єму фігури випуску знаходиться в поліноміальній кубічній залежності від інтенсивності технологічного процесу випуску.

Також встановлено, що величина об'єму фігури випуску збільшується від 0,3% до 27% за умов випуску рудної маси з декількох випускних виробок, які знаходяться на одній осі, одночасно рівномірними дозами, у порівнянні з випуском рудної маси з тих же випускних виробок за допомогою рівномірно-последовного режиму випуску

і знаходиться в логарифмічній залежності від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск, коефіцієнту міцності рудного масиву, який трансформується у сипкий матеріал, і висоти шару обваленої руди над випускними виробками та не залежить від діаметру випускних виробок.

Проведені дослідження узгоджуються та абсолютно підтверджують результати фізичного моделювання технологічного процесу випуску руди, які приведені у роботах [1, 2].

Таким чином проведені дослідження дають можливість розрахувати відстані між випускними виробками в залежності від оптимальних показників вилучення рудної маси і повинні враховувати несучу здатність днищ приймальних горизонтів.

Список літератури:

1. Калініченко В. О. Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу / Калініченко В. О., Косенко А. В., Хівренко О. Я. // *Качество минерального сырья: Сб. научн. трудов.* – 2017. – Т. 1. – С. 143–155.
2. Тарасютін В. М. Фізичне моделювання технологічного процесу випуску руди для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу / Тарасютін В. М., Косенко А. В. // *Розвиток промисловості та суспільства: Міжнародна науково-технічна конференція (м. Кривий Ріг, Україна, 24–26 травня 2017 року).* – Кривий Ріг: КНУ – 2017. – С. 67.
3. Brown E. T. Block Caving Geomechanics / E.T. Brown. – Queensland, 2002. – 515 p.
4. Романько Е. А. «Идеальные» условия для выпуска руды под обрушенными породами на основе анализа опытов по моделированию выпуска руды / Е. А. Романько, В. Н. Кобелькова, И. В. Гулишова // *Материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования».* – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». – 2010. – Т. 1. – С. 228–231.
5. Малахов Г. М. Теория и практика выпуска обрушенной руды / Г. М. Малахов, В. Р. Безух, П. Д. Петренко. – М.: Недра, 1968. – 311 с.
6. Підвищення ефективності технологічного процесу випуску і доставки руди на базі використання самохідної навантажувально-доставочної техніки / М. І. Ступнік, В. О. Калініченко, В. М. Тарасютін [та ін.] // *Вісник КНУ. Зб. наук. праць.* – Кривий Ріг: КНУ. – 2016. – Вип. 41. – С. 141–146.
7. Черненко А. Р. Подземная добыча богатых железных руд / А. Р. Черненко, В. А. Черненко – М.: Недра, 1992. – 224 с.
8. Олейник Т. А. Повышение качества бедных кусковых руд шахтной добычи Кривбасса методом отсадки / Т. А. Олейник, Л. В. Скляр // *Збагачення корисних копалин.* – Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – Вип. 53(94) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zzkk.nmu.org.ua/pdf/2013-53-94/08.pdf>
9. Кармаушенко Л. И. Взаимосвязь физико-механических свойств сыпучих материалов с подвижностью // *Механика сыпучих материалов: Сб. тез. докл. 4 Всесоюз. конф.* – Одесса. – 1980. – С. 41–42.
10. Особенности определения углов внутреннего трения сыпучих материалов / Коптев А. А., Першин В. Ф., Свиридов М. М. [и др.] // *Вестник ТГТУ.* – 2001. – Т. 7. – № 1. – С. 60–65.

Косенко А.В.

Криворожский национальный университет

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫПУСКА РУДЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ ПРИРОДНО-БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД РАЗЛИЧНОЙ КРЕПОСТИ

Аннотация

В статье изложены результаты компьютерного моделирования процесса выпуска руды, которая характеризуется различной крепостью. На основе чего установлены зависимости величины объема фигуры выпуска от интенсивности протекания технологического процесса выпуска, количества выпускных выработок из которых одновременно осуществляется выпуск, коэффициента крепости рудного массива, который трансформируется в сыпучий материал, высоты слоя обрушенной руды над выпускными выработками и диаметра выпускных выработок. Которые дают возможность рассчитать расстояния между выпускными выработками в зависимости от оптимальных показателей извлечения рудной массы, основываясь на несущей способности днищ приёмных горизонтов.

Ключевые слова: природно-богатые железные руды, равномерно-параллельный режим выпуска, интенсивность выпуска руды, показатели извлечения руды, компьютерное моделирование, фигура выпуска.

Kosenko A.V.

Kryvyi Rih National University

COMPUTER SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF ORE DRAWING FOR CONDITIONS FOR DEVELOPMENT OF DEPOSITS OF NATURAL-RICH IRON ORES BY DIFFERENT ORE HARDNESS

Summary

The article describes the results of computer simulation of ore drawing, which is characterized by different ore hardness. On the basis of which the dependence of the volume of the release figure on the intensity of the technological process of ore drawing, the number of draw-points from which the output is simultaneously ore drawing, the toughness coefficient of the ore massif that is transformed into bulk material, the height of the layer of collapsed ore above the draw-points and the diameter of the draw-points. Which make it possible to calculate the distances between the draw-points, depending on the optimal parameters of extraction of ore mass and based on the bearing capacity of the bottoms of the receiving horizons.

Keywords: natural-rich iron ores, uniformly-parallel production ore drawing, ore drawing intensity, ore extraction parameters, computer simulation, figure of ore drawing.