

© К.М. Ковбик¹

¹ Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАСИЧЕНОСТІ РУДИ ВОДОЮ НА ЇЇ ВТРАТИ В ПРОЦЕСІ ВИПУСКУ У ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗМІН ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ

© К. Kovbyk¹

¹ Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

STUDY OF THE INFLUENCE OF ORE WATER SATURATION ON ITS LOSSES IN THE PROCESS OF RELEASE IN LABORATORY CONDITIONS DEPENDING ON CHANGES IN THE FRACTIONAL COMPOSITION

Мета статті. Висвітлення основних результатів виконаних дослідів з випуску насиченою водою (обводненої) руди в лабораторних умовах та прослідкувати зміни втрат в результаті коригування фракційного складу, яке моделює покращення якості подрібнення.

Методика досліджень. Методика модельного експерименту. Розрахунок отриманих даних статистичним і математичними методами.

Результати дослідження. Представлення макету, вихідних умов та висвітлення послідовності експерименту, створення зведених таблиць з результатами та побудова графіків є результатом дослідження, щодо визначення рівня втрат насиченою водою руди. Експерименти показали, що в результаті випуску насиченою водою руди збільшуються втрати руди в залежності від її насичення 5%, 5,5%, 6%, 7%, і можливість стабільного випуску ускладнюється. Встановлено, що випуск руди при її насиченні в 9% для лабораторних умов є неможливим. Втрати руди при заданих параметрах становлять від 18,57 до 31,3%. В результаті імітації покращення якості подрібнення, за рахунок коригування фракційного складу, максимальні втрати корисної копалини вдалось зменшити з 31,3 до 28,54%.

Наукова новизна. Встановленні додаткові закономірності процесу випуску насичених водою руд. Визначено, що зміна фракційного складу зменшує рівень втрат при випуску насичених водою руд. Виявлено зміну таких параметрів як кут випуску і висоту утворення гребнів від насиченості руди водою і кореляцією фракційного складу. Набула подальшого розвитку теорія випуску руди.

Практична значимість. Удосконалено методику випуску насичених водою руд в лабораторних умовах. Створення методики розрахунку рівня втрат при розробці покладів обводнених багатих залізних руд дає можливість застосування ресурсозберігаючих технологій гідроруйнування, як альтернативу класичному буро-вибуховому методу руйнування масиву гірських порід, або прогнозування рівня втрат при раптового потрапляння води в очисний простір.

Ключові слова: випуск руди, обводненні родовища, гідровиймання, гідроруйнування, випуск руди, обводненні руди, насиченість руд, методика випуску, шахтна вода, підземна розробка.

Вступ. В умовах Криворізького залізорудного басейну гірничі підприємства націлені на впровадження ресурсозберігаючих технологій [1, 2]. Подальший розвиток гірничо-видобувної галузі також залежить від можливості підприємств відпрацьовувати складно-структурні поклади [3] та вести ефективно очисні

роботи в складних гірничо-геологічних і гідрогеологічних умовах, що забезпечує досягнення максимального економічного ефекту [2–3]. Тому є необхідність досліджувати питання відпрацювання обводнених покладів та ефективність систем в таких умовах. Для вивчення явищ, які виникають при випуску руди, Малахов Г.М. [4] виконав численні дослідження на моделях із еквівалентних матеріалів в лабораторних умовах. Процес моделювання вдосконалювався та становиться більш точним [5, 6].

Покращення показників вилучення теоретично можна за рахунок підвищення якості подрібнення [7]. Керування показниками коефіцієнта розпушення в залежності від умов обводнення в теорії дозволить незначною мірою зменшити втрати корисної копалини при випуску руди. Керувати показниками розпушення пропонується за допомогою компенсаційного простору необхідних розмірів пройдених без вибуховим (гідроруйнування) способом. Тому є можливість підвищити кількість вийманої корисної копалини, а також спрогнозувати орієнтовний рівень втрат.

Вдосконалення процесу моделювання випуску насиченою водою руди, підвищення точності результатів, визначення рівня втрат, а також дослідження можливості впливу на даний процес є – актуальним питанням.

Мета роботи. Висвітлення основних результатів виконаних дослідів з впуску насиченою водою (обводненої) руди в лабораторних умовах та прослідкувати зміни втрат в результаті коригування фракційного складу, яке моделює покращення якості подрібнення.

Матеріали та результати досліджень.

Досліди виконувались моделюванням [7] імітуючи умови камерної системи розробки. Відповідного до масштабу моделювання (1:100) гранулометричним складом руди (табл. 1) Змінним параметром є насичення руди водою, а також відсоткове відношення фракційного складу. В якості сипучого матеріалу була використана мартит-гематитова руда.

Пропонована модель являє собою конструкцію з дерев'яними корпусом та прозорим склом на яке нанесена координатна сітка розмірами 5×5 см. Випускний отвір має радіус 1,7 см. Макет виконаний в масштабі 1:100.

Таблиця 1

Змінений гранулометричний склад сухого рудного матеріалу

Серія дослідів I					
Фракція (мм)	7–5	5–3	3–2	2–1	Σ
Вага (г)	2970	4700	425	425	8520
Відсоток (%)	34,86	55,16	4,99	4,99	100
Серія дослідів II					
Фракція (мм)	7–5	5–3	3–2	2–1	Σ

Продовження таблиці 1

Вага (г)	2885	4785	425	425	8520
Відсоток (%)	33,86	56,16	4,99	4,99	100
Серія дослідів III					
Фракція (мм)	7-5	5-3	3-2	2-1	Σ
Вага (г)	2800	4870	425	425	8520
Відсоток (%)	32,86	57,16	4,99	4,99	100
Серія дослідів IV					
Фракція. (мм)	7-5	5-3	3-2	2-1	Σ
Вага (г)	2714	4955	425	425	8520
Відсоток (%)	31,86	58,16	4,99	4,99	100
Серія дослідів V					
Фракція (мм)	7-5	5-3	3-2	2-1	Σ
Вага (г)	2629	5040	425	425	8520
Відсоток (%)	30,86	59,16	4,99	4,99	100
Серія дослідів VI					
Фракція. (мм)	7-5	5-3	3-2	2-1	Σ
Вага (г)	2544	5126	425	425	8520
Відсоток (%)	29,86	60,16	4,99	4,99	100

Висота засипання моделі 40 м або 40 см згідно до масштабу моделювання. Результати дослідження адаптовані під камерні системи розробки. Встановлено що для засипання моделі на вказану висоту слід використати 8520 (рис. 1) грамів, сухої (5%) просіяної руди. Гранулометричний склад вказаний в таблиці 1. В подальшому руда змочувалась створюючи ефект її насичення водою.



Рис. 1. Завантажений макет насиченою водою руди (6 %)

Насичення рудної маси водою – сформоване поняття, яке характеризує співвідношення мас вологої руди до її повністю сухого аналогу розділеного на масу сухої руди та помножену на сто, результат буде у відсотках, і відображає

насичення руди водою у відсотковому відношенні. У вигляді формули його можливо виразити наступним чином:

$$H_p = \frac{M_b - M_c}{M_c} \cdot 100, \quad (1)$$

де H_p – відсоток насичення руди водою (вологість); M_c – маса сухої руди, г; M_b – маса мокрої руди, г.

Для дослідів руда змочувалась доки на вагах не було зафіксована необхідна маса. Тобто для збільшення насичення водою на 1 % розрахунок буде мати наступний вигляд:

$$M_b = 8520 \cdot \frac{1}{100} + 8520 = 8610 \text{ г.}$$

Необхідно змочувати руду доки на вагах не буде досягнута відмітка в 8610 ваги мають похибку ± 5 г. (рис. 2).



Рис. 2. Насичена на 1 % руда на вагах

За такою методикою здійснювався випуск рудної масив. Дані по першій серії дослідів занесені до таблиці 2.

Методика буде вдосконалюватися задля досягнення найбільшої відповідності результатів до реальних умов.

Наступний етап полягає в зміні гранулометричного складу руди. Ціллю є дослідження впливу якості подрібнення в умовах зміни обводнення родовища.

Була змінений відсоткове відношення фракції 7–5 мм до 5–3 мм, як імітація підвищення якості подрібнення. Випуск виконувався в вище зазначеній послідовності, тобто суха рудна маса знову змочувалась моделюючи процес насичення її водою, і випускалась.

На основі виконаних дослідів є можливість вивести закономірності і графіки залежностей, процесів які перебігають під час випуску обводненої рудної маси.

Основні величини і показники зображені в графіках залежностей (рис. 3–5).

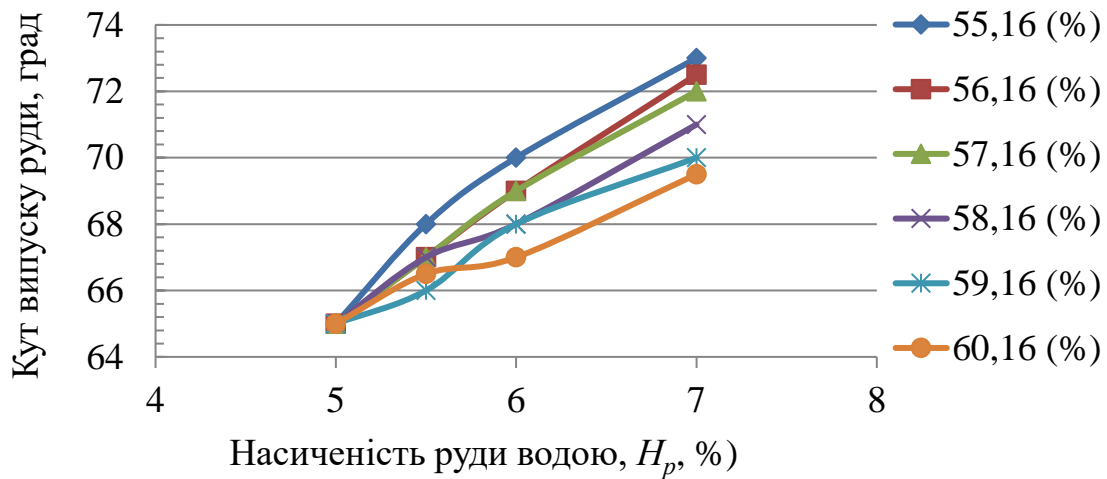


Рис. 3. Залежності кута випуску руди (град) від насичення руди водою (H_p , %) від зміни основного фракційного складу 5–3 мм

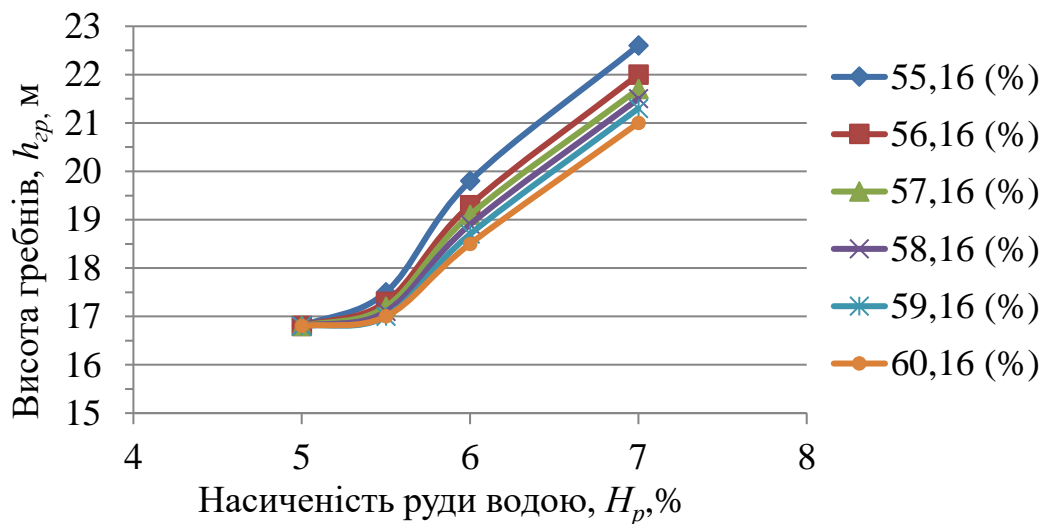


Рис. 4. Висота утворення гребнів (м) від насичення руди водою (H_p , %) від зміни основного фракційного складу 5–3 мм

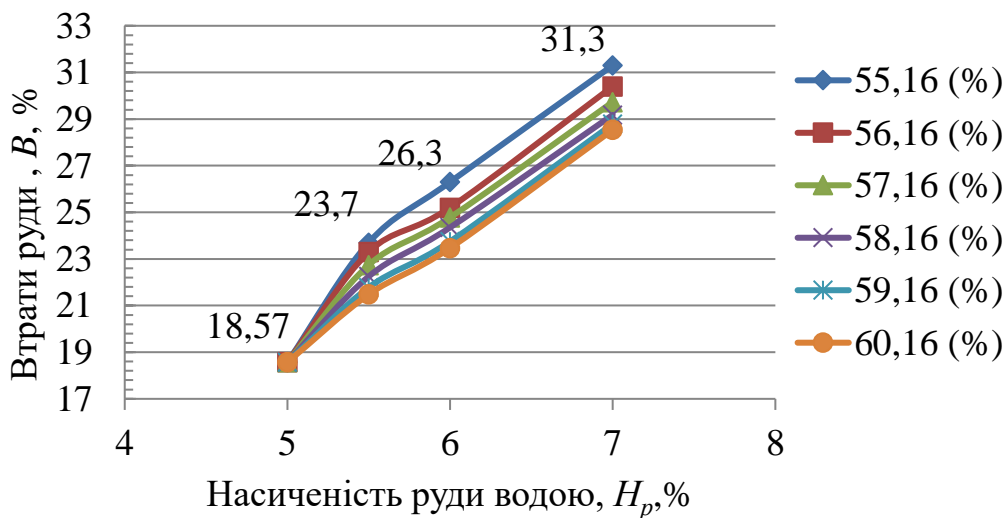


Рис. 5. Залежності втрат руди (B , %) при випуску від насичення руди водою (H_p , %) від зміни основного фракційного складу 5–3мм

Завдяки налипанню мілких часток руда втрачає свої текучі властивості. Процес злежування проходить набагато швидше оскільки руда втрачає власну об'ємну вагу, і набирає вологи у разі змішування її з водою, та набирає збільшує свій об'єм. Це дає змогу спрогнозувати збільшення об'єму відбитої руди в камері під часу процесу відвійки, якщо гірничо-технологічні умови змушують вести відбійку та випуск обводненого масиву. Відсоток насичення руди водою можливо розрахувати формулою 1. Для цього необхідно зволожений рудний кусок зважити, а далі просушити його – це дасть змогу прогнозувати орієнтовні втрати від насичення руди водою, та скорегувати показники вилучення руди із блоку. Також в даному випадку зміна фракційного складу позитивно впливає на процес випуску обводненої рудної маси, втрати в такому випадку зменшились у порівнянні з початковими експериментом (7 %) з 31,3 % до 28,54 % . Графік втрат руди під час випуску зображений на рис. 5

Як видно із графіку, насиченість водою має суттєвий негативний наслідок на кількість вилученої рудної маси. Це пов'язано з тим що руда змінює свої текучі властивості, кути випуску і динамічні характеристики та утворює додаткові «мертві» зони навколо випускного отвору.

Також пропонується сформулювати додатковий коефіцієнт визначення втрат по системі для уточнення розрахунків річної продуктивності, шахти в гідрогеологічних умовах. Пропонується класичну формулу 2 розрахунку річної продуктивності рудника [8] використати для коригування показників втрат по системі:

$$A = S \cdot V \cdot \gamma_p \frac{1 - B}{1 - Z}, \quad (2)$$

де A_p – річна продуктивність рудника за гірничими можливостями, т/рік, S – експлуатаційна площа рудного покладу, м², V – річне пониження рівня очисних гірничих робіт i -го рудного покладу, м/рік, B – втрати корисної копалини в надрах при її видобутку підземним способом в залежності від технології долі од, Z – заміщення руди при її видобутку системами розробки. долі. од, γ_p – об'ємна вага руди, т/м³.

Коефіцієнт буде виведено на базі виконаних дослідів. За абсолютний нуль взято втрати при 5% насичені водою, а саме 18,57%. Цей показник буде використаний контрольний (100%), тобто натуральне вилучення. За допомогою математичної формули 4 розраховуємо на скільки у відсотках втрати обводненої руди, вище від втрат сухої руди.

$$K_{в.в} = \frac{B_{в1..n}}{B_n}, \quad (3)$$

де $K_{в.в}$ – коефіцієнт втрати руди від її насичення водою, долі. од.; B_n – нормальні втрати руди, %; $B_в$ – втрати при випуску насиченої водою рудної маси, %. Маємо наступні значення: $B_n = 18,57\%$; $B_{в1} = 23,7\%$; $B_{в2} = 26,3\%$; $B_{в3} = 31,3\%$. Дані занесено до таблиці 2

Додатковий коефіцієнт втрат від насичення руди водою

Насиченість водою (H_p , %)	5	5,5	6	7
Додатковий коефіцієнт втрат, $K_{в.в.}$	1	1,27	1,41	1,68

Використовуємо пропонований коефіцієнт у формулі 1:

$$A = S \cdot V \cdot \gamma_p \frac{1 - B \cdot K_{в.в.}}{1 - 3} \quad (4)$$

Висновки. Набула подальшого розвитку теорія випуску руди, а саме випуск насиченої водою (обводненої) руди, вплив на показники вилучення і основні параметри випуску.

1. Вперше встановлена залежність вилучення руди з поодинокого отвору від насичення руди водою.

2. Визначений вплив фракційного складу на процес та параметри випуску руди в умовах її насичення водою.

3. Уперше доказано в лабораторних умовах, що можливо покращити процес випуску обводненої рудної маси за рахунок покращення якості подрібнення або зміни фракційного складу в блоці.

Перелік посилань

1. Stupnik, N.I., Kudryavtsev, M.I., & Basov A.M. (2010). Puti sovershenstvovaniya tehnologi podzemnoj razrabotki bogatyh rud Krivbassa. *Visnik Krivorizkogo tehničnogo universitetu*, 23–26.
2. Тарасютін, В.М., & Косенко, А.В. (2018). Обґрунтування ресурсозберігаючих технологічних процесів при підземному видобутку різносортних залізних руд Кривбасу. *Вісник КНУ*, 46, 152–159.
3. Калініченко, В.О., Косенко, А.В., & Хівренко, О.Я. (2017). Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу. *Якість мінеральної сировини*, 1, 143–155.
4. Malahov, G. M (1971). *Osobennosti razrabotki rudnyh mestorozhdenij na bolshih glubinah i puti povysheniya effektivnosti razrabotki rud Krivbassa*, Sb. «Puti povysheniya effektivnosti podzemnoj dobychi rudy v Krivorozhskom bassejne», Kyyvyi Rig: KGRI, 5–41.
5. Колосов, В.О., Маланчук, З.Р., Письменний, С.В., & Ковбик, К.М. (2018). Моделювання фізичних процесів гірського масиву в лабораторних умовах на статичних моделях. *Гірничий вісник: науково-технічний збірник*, 104, 55–62.
6. Тарасютін, В.М., & Косенко, А.В. (2017). Фізичне моделювання технологічного процесу випуску руди для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу. *Розвиток промисловості та суспільства: матеріали міжнародної науково-технічної конференції*, 67.
7. Ковбик, К.М., & Калініченко, В.О. (2023). Методика моделювання випуску насичених водою багатих залізних руд в умовах криворізького залізорудного басейну. *Гірничий вісник*, 111, 18–22.
8. Новак, А.І., Калініченко, О.В., Заєць, В.В., Васильчук, О.Ю., & Семенюк В.В. (2019). *Технологія підземної розробки корисних копалин. Навчальний посібник*. Рівне. НУВГП.

ABSTRACT

Purpose is to highlight the main results of the conducted experiments on the introduction of saturated water (watered) ore into laboratory conditions and to monitor the changes in losses as a result of the correction of the fractional composition, which simulates the improvement of the grinding quality.

The methods. Methodology of the model experiment. The calculation of the obtained data by statistical and mathematical methods.

Results. Presentation of the layout, initial conditions, and coverage of the sequence of the experiment, the creation of summary tables with the results and the construction of graphs are the result of a study to determine the level of water-saturated ore losses. Experiments have shown that as a result of the release of ore saturated with water, the loss of ore increases depending on its saturation by 5%, 5.5%, 6%, 7%, and the possibility of stable release becomes difficult. It was established that the release of ore at its saturation of 9% is impossible for laboratory conditions. Ore losses under these parameters range from 18.57% to 31.3%. As a result of the simulation of improving the quality of grinding, due to the correction of the fractional composition, it was possible to reduce the maximum losses of the mineral from 31.3% to 28.54%.

Scientific novelty. Additional regularities of the process of release of water-saturated ores are established. It was determined that changing the fractional composition reduces the level of losses during the release of water-saturated ores. A change in such parameters as the release angle and the height of the formation of ridges due to the saturation of the ore with water and the correlation of the fractional composition was revealed. The theory of ore release gained further development.

Practical significance. The method of releasing water-saturated ores in laboratory conditions has been improved. The creation of a methodology for calculating the level of losses during the development of deposits of water-rich iron ores makes it possible to use resource-saving technologies of hydro fracturing as an alternative to the classic drilling-explosive method of destroying a rock mass, or predicting the level of losses in the event of a sudden ingress of water into the treatment space.

Keywords: *ore release, watered deposits, hydromining, hydrofracturing, ore release, watered ores, ore saturation, release method, mine water, underground development.*