

К.М. КОВБИК, асистент  
Криворізький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТІКАННЯ ПРОЦЕСУ ВИПУСКУ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ НАСИЧЕНИХ ВОДОЮ РУД У ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗМІН ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ

**Метою статті.** Експериментально визначити рівень втрати при випуску насичених водою руд з моделі, прослідкувати кореляцію показників втрат в залежності від зміни фракційного складу руди. Оскільки в результаті виконаного аналізу літературних джерел встановлено, що деяка частина покладів Криворізького залізорудного басейну знаходиться в складних гідрогеологічних умовах, а також при застосуванні технології гідро руйнування постає питання випуску руди в умовах обводнення родовища. Розгляд можливості покращення показників випуску в таких умовах - є актуальним питанням.

**Методи досліджень.** Фізичне моделювання випуску руди в лабораторних умовах. Врахування при досліді показників насичення руди водою (обводнення) та зміна фракційного складу застосованого матеріалу.

**Наукова новизна.** 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, і випуск руди при її насиченні в 9% для лабораторних умов є неможливим. Встановлені закономірності випуску насичених водою руд, а також можливості покращення показників випуску в таких умовах в залежності від змін фракційного складу рудної маси.

**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 гідро руйнування як альтернативу класичному буро вибуховому методу руйнування масиву гірських порід, або прогнозування рівня втрат при раптовому потраплянню води очисний простір.

**Результати.** Виконано досліді по випуску обводненої рудної маси, визначений рівень втрат при випуску руди з поодинокого отвору. Проведено досліді зі зміною фракційного складу і впливом на втрати корисної копалини.

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

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-158-164

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями** Моделювання процесу випуску насиченої водою рудної маси дає змогу візуально та практично удосконалити процес випуску руди та розробити рекомендації що до відпрацювання покладів. Великий внесок в вивчення процесу випуску і явищ зробив Малахов Г.М. [1]. Виконавши велику кількість дослідів на різноманітних моделях з матеріалами які мають різні сипучі властивості з метою моделювання реальних умов підземних підприємств. З часом процес моделювання випуску вдосконалювався та включаючи більше перемінних для підвищення точності дослідів [2, 3].

Випуск насиченої водою руди підземних підприємств Кривого Рогу ускладнений процесу процес [4], що в свою чергу знижає продуктивність вибою та безпеку ведення праці, спричиняючи значний негативний економічний ефект [4, 5].

Для підвищення ефективності і стабілізації процесу випуску обводненої рудної маси необхідно впроваджувати ряд додаткових процесів:

встановлення додаткових вентиляційних установок в шахті, для належного рівня вентиляції і зниженню показника вологості повітря;

використання додаткового дренажу, або монтаж нових дренажних установок для контролю рівня води на підземному виробництві;

даткові витрати на моніторинг рівня і хімічного складу підземних вод;

впровадження додаткових заходів безпеки для працівників в таких умовах.

Випуск обводненої рудної маси в підземних умовах це – складний технологічний процес, з необхідністю використання спеціальних підготовчих етапів, та адаптованих технологічних рішень [5].

Отже, вивчення процесу випуску насиченою водою рудної маси, має на собі мету, визначення рівня втрат, а також дати можливість удосконалити системи та оптимізувати їх для ефек-

тивного використання в умовах обводнення родовищ. Дане питання є – актуальним для умов Криворізького залізорудного басейну.

**Аналіз досліджень і публікацій** Криворізький залізорудний басейн є складно структурним, зі значними змінами геомеханічних, та фізико-хімічних властивостей по всій довжині покладу. Кривий Ріг вносить значний вклад в розвиток країни так як в ньому зосередженні видобувні та переробні підприємства [5,6]. При розробці покладів багатих залізних руд підземним способом робочі горизонти шахти перетинають водоносні горизонти, що при своєчасному дренажуванні не викликає проблем. В процесі розробки виникають ситуації коли вода раптово потрапляє в робочий простір, з поверхні або система дренажу не працює належним чином [5, 7]. Стабільний розвиток гірничо-видобувної галузі залежить від можливості підприємств відпрацьовувати подібні поклади [6] та ефективно вести очисні роботи в складних гірничо-геологічних і гідрогеологічних умовах, для досягнення максимального економічного ефекту [5-7]. Тому питання відпрацювання обводнених покладів та розвиток систем розробки в таких умовах є – актуальним.

**Постановка задачі.** Експериментально визначити рівень втрати при випуску насичених водою руд з моделі, прослідкувати кореляцію показників втрат в залежності від зміни фракційного складу руди.

**Викладення матеріалу та результати.** Досліди виконувались на моделі через одну випускную воронку рис.1, імітуючи умови камерної системи розробки, без засмічення руди налягаючими пустими породами. Відповідно до масштабу використовувалась гематит-мартитова руди відповідної фракції. Змінним параметром є насичення руди водою, а також відсоткове відношення фракційного складу.

Пропонована модель яка зображена на рис. 1 являє собою конструкцію з дерев'яними стінками та прозорим склом з координатною сіткою розмірами 5×5 см. Випускний отвір має радіус 1,7 см. Макет виконаний в масштабі 1:100.

Для дослідів було обрано фракції: 7 -5 мм; 5- 3 мм; 3 -2 мм; 2-1мм (табл. 1).

Таблиця 1

Гранулометричний склад сухого 5% рудного матеріалу I (контрольний дослід)

| 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  |

Висота моделі 40 см що відповідає 40 м згідно масштабу моделювання. Було визначено що для засипання моделі на вказану висоту слід використати 8520 г, сухої (5%) просіяної руди. Для імітації обводнення руда рівномірно змочувалась створюючи ефект її насичення водою.

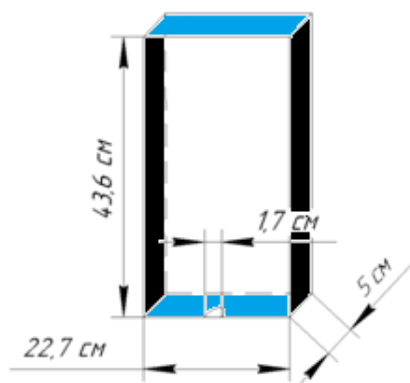


Рис. 1 Схематичне зображення моделі для випуску руди

Насичення рудною маси водою, це сформоване поняття, яке характеризує співвідношення маси вологої руди до її повністю сухої аналогу розділеного на масу сухої руди та помножену на сто. Отриманий результат буде відображатися у відсотках та має вигляд формули 1.

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

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

В подальшому руда насичувалась водою поки на вагах не було зафіксована розрахована маса. Збільшення насичення водою на 1% має наступний вигляд

$$M_b = 8520 \frac{1}{100} + 8520 = 8610 \text{ (г)}$$

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



Рис. 2 Насичена на 1% руда на вагах



Рис. 3 Завантажений макет насиченою водою руди 6%

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

Таблиця 2

Зведені результати першої серії дослідів

| Насичення водою % | Висота утворення гребнів (середнє значення) | Кут руху руди (град) | Втрати % |
|-------------------|---|----------------------|----------|
| 5                 | 16.8  | 65                   | 18,57    |
| 5.5               | 17.5  | 68                   | 23,7     |
| 6                 | 19.8  | 70                   | 26,3     |
| 7                 | 22.6  | 74-73                | 31,3     |

Методика буде вдосконалюватися за для досягнення найбільшої відповідності результатів до реальних умов.

Наступний етап полягає в зміні гранулометричного складу руди. Має на меті ціль – дослідження впливу якості подрібнення в умовах обводнення родовища. Пропонується наступна зміна гранулометричного складу (табл. 3).

Таблиця 3

Змінений гранулометричний склад сухого рудного матеріалу

| II            |       |       |      |      |      |
|---------------|-------|-------|------|------|------|
| Фракція. (мм) | 7-5   | 5-3   | 3-2  | 2-1  | Σ    |
| Вага. (г)     | 2885  | 4785  | 425  | 425  | 8520 |
| Відсоток (%)  | 33,86 | 56,16 | 4,99 | 4,99 | 100  |
| 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  |
| 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  |
| 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  |
| 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  |

Була змінений відсоткове відношення фракції 7-5мм до 5-3мм, як імітування підвищення якості подрібнення та зменшення виходу негабариту. 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 по яким виводяться графіки залежностей занесені до табл. 4.

Таблиця 4

Зведені результати дослідів

| Перша серія дослідів (контрольна). Відсоток вмісту фракції 5-3мм - 55.16% |   |                      |          |
|---|---|----------------------|----------|
| Насичення водою %   | Висота утворення гребнів (середнє значення) | Кут руху руди (град) | Втрати % |
| 5   | 16.8  | 65                   | 18,57    |
| 5.5   | 17.5  | 68                   | 23,7     |
| 6   | 19.8  | 70                   | 26,3     |
| 7   | 22.6  | 74-73                | 31,3     |
| Друга серія дослідів. Відсоток вмісту фракції 5-3мм - 56.16%              |   |                      |          |
| Насичення водою %   | Висота утворення гребнів (середнє значення) | Кут руху руди (град) | Втрати % |
| 5   | 16.8  | 65                   | 18,57    |
| 5.5   | 17.3  | 67                   | 23,3     |
| 6   | 19.3  | 69                   | 25,2     |
| 7   | 22  | 73-74                | 30,4     |
| Третя серія дослідів. Відсоток вмісту фракції 5-3мм - 57.16%              |   |                      |          |
| Насичення водою %   | Висота утворення гребнів (середнє значення) | Кут руху руди (град) | Втрати % |
| 5   | 16.8  | 65                   | 18,57    |
| 5.5   | 17,2  | 67                   | 22,74    |
| 6   | 19.1  | 68-69                | 24,78    |
| 7   | 21,7  | 72                   | 29,73    |
| Четверта серія дослідів. Відсоток вмісту фракції 5-3мм - 58.16%           |   |                      |          |
| Насичення водою %   | Висота утворення гребнів (середнє значення) | Кут руху руди (град) | Втрати % |
| 5   | 16.8  | 65                   | 18,57    |
| 5.5   | 17,1  | 67                   | 22,25    |
| 6   | 18,9  | 68                   | 24,35    |
| 7   | 21,5  | 71                   | 29,18    |
| П'ята серія дослідів. Відсоток вмісту фракції 5-3мм - 59.16%              |   |                      |          |
| Насичення водою %   | Висота утворення гребнів (середнє значення) | Кут руху руди (град) | Втрати % |
| 5   | 16.8  | 65                   | 18,57    |
| 5.5   | 17  | 66-67                | 21,78    |
| 6   | 18,7  | 68                   | 23,75    |
| 7   | 21,3  | 70                   | 28,79    |
| Шоста серія дослідів. Відсоток вмісту фракції 5-3мм - 60.16%              |   |                      |          |
| Насичення водою %   | Висота утворення гребнів (середнє значення) | Кут руху руди (град) | Втрати % |
| 5   | 16.8  | 65                   | 18,57    |
| 5.5   | 17  | 66-67                | 21,48    |
| 6   | 18,5  | 68                   | 23,47    |
| 7   | 21  | 70                   | 28,54    |

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 час процесу відвійки, якщо гірничо-технологічні умови вимушують вести відбірку 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 спрогнозувати 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. 4

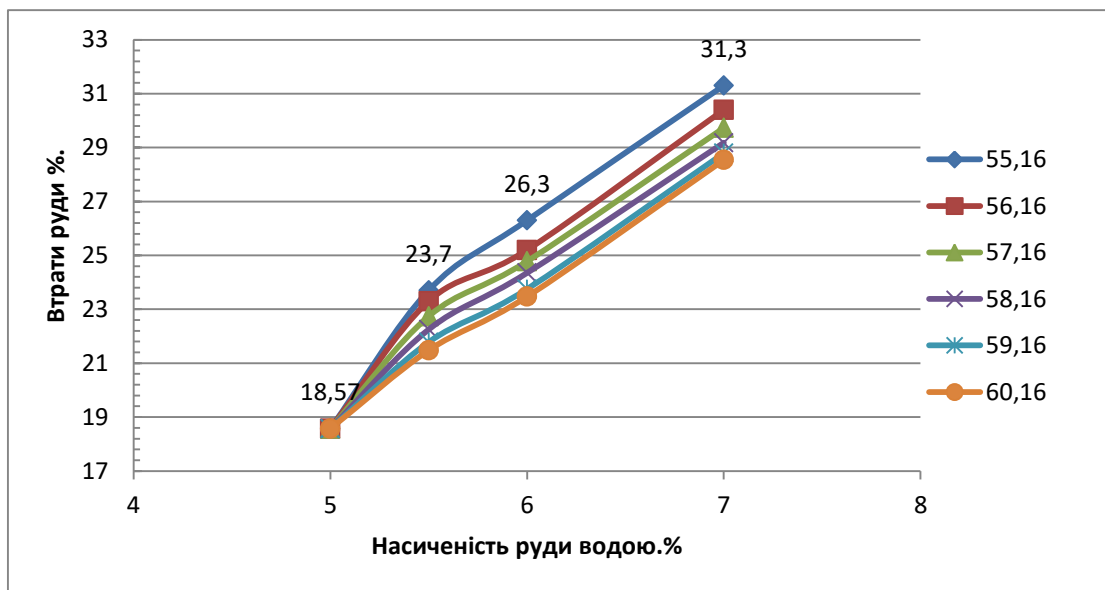


Рис 4. Графік залежності втрат руди при випуску від насичення руди водою та зміни основного фракційного складу 7-5мм та 5-3мм

Як видно із графіку, насиченість водою має суттєвий негативний наслідок на кількість вилученої рудної маси. Це пов'язано із тим що від обводнення руда змінює свої текучу властивості і кути випуску. Це приводить до утворення «мертвих» зон навколо випускного отвору які характеризуються висотою гребнів Встановлена залежність втрат від насичення руди водою.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Набула подальшого розвитку теорію випуску руди, а саме випуск насиченої водою (обводненої) руди, вплив на показники вилучення і основні параметри випуску.

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

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

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

В майбутньому планується розробити рекомендації для випуску обводненої рудної маси.

#### Список літератури

1. Малахов Г. М. (1971) *Особенности разработки рудных месторождений на больших глубинах и пути повышения эффективности разработки руд Кривбасса*, Сб. «Пути повышения эффективности подземной добычи руды в Криворожском бассейне», Кривой Рог, КГРИ. – с. 5-41.
2. Колосов, В.О., Маланчук, З.Р., Письменний, С.В., Ковбик, К.М. (2018) *Моделирование физических процессов горного массива в лабораторных условиях на статических моделях* Гірничий вісник: науково-технічний збірник. Кривий Ріг. Вип. 104. – с. 55–62.
3. Тарасюгін, 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. Кривий Ріг. КНУ, 2017. с. 67.
4. Ковбик, К.М., Калініченко, В.О. (2023) *Методика моделювання випуску насичених водою багатих залізних руд в умовах криворізького залізрудного басейну*. Гірничий вісник, вип. 111. с. 18-22.
5. Ступник, Н.И., Кудрявцев, М.И., Басов А.М. (2010). *Пути совершенствования технологи подземной разработки богатых руд Кривбасса*. Вісник Криворізького технічного університету. – с. 23-26.
6. Тарасюгін, В.М., Косенко, А.В. (2018) *Обгрунтування ресурсозберігаючих технологічних процесів при підземному видобутку різносортих залізних руд Кривбасу*. Вісник КНУ. Вип. 46. с. 152–159. (Index Copernicus, Research Bible)
7. 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*. Качество минерального сырья. Т.1. с. 143–155.

Рукопис подано до редакції 29.03.24