

К.М. КОВБИК, ст.викладач., В.О. КАЛІНІЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.  
Криворізький національний університет

## МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ВИПУСКУ НАСИЧЕНИХ ВОДОЮ БАГАТИХ ЗАЛІЗНИХ РУД В УМОВАХ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

**Метою статті** є дослідження випуску обводненої руди та розробка удосконаленої методики випуску з додатковими параметрами, які враховують насиченість руди водою. Процес випуску посідає одну з ключових позицій по системі. Саме від нього залежить ефективне та своєчасне вилучення корисної копалини із надр. В свою чергу сам процес досить суттєво залежить від гірничо-геологічних умов, та фізико механічних властивостей руд. Тому за для вивчення процесу випуску, вченими, було виконано багато лабораторних та практичних дослідів. В них вчені прослідковували вплив зміни різних характеристик руди, там умов залягання на протікання процесу випуску руди. Тому дослідження та моделювання процесу випуску обводненої руди є актуальним завданням. Оскільки багаті залізні руди криворізького басейну мають здатність до злежування то при їх насиченні водою процес випуску відбитої руди значно погіршується. Це призводить до збільшення втрат руди по системі розробки в цілому та виникненню проблем з подальшим відпрацюванням очисних блоків. Незважаючи на значну кількість науково-дослідницьких робіт в області випуску руди, питання відпрацювання обводнених руд залишається відкритим.

**Методи дослідження.** Аналіз науково дослідної та методичної літератури, яка була присвячена випуску руди та технологіям ресурсозбереження, створення макету для фізичного моделювання випуску руди в лабораторних умовах із урахуванням додаткових показників обводнення руди.

**Наукова новизна.** Встановлені закономірності випуску обводненої руди із очисних блоків. Визначені залежності показників випуску та встановлені відповідні коефіцієнти та параметри, які враховують насиченість руд водою.

**Практична значимість.** Удосконалено методику випуску обводненої руди. На основі запропонованої методики виконано серію дослідів для визначення зміни параметрів випуску обводненої рудної маси при камерних системах розробки.

**Результати.** Було удосконалено методику випуску руди в лабораторних умовах з урахуванням обводненості руди та отримані відповідні залежності показників випуску від насиченості руди водою.

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

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** С поглибленням гірничих робіт відбувається зміна гірничо-геологічних умов. Зростає гірничий тиск, а продуктивність виймальних одиниць зменшується. До складних гірничо-геологічних умов додаються ще гірничо-гідрологічні, які мають суттєвий вплив на подальше ведення гірничих робіт. Вони проявляються у пересіканні рудними шарами водоносних горизонтів. Ці ділянки покладу потребують додаткових операцій, як перед початком ведення очисних робіт так і після. Суттєвий вплив води спостерігається і на процес випуску, який є одним із головних процесів підземних гірничих робіт. Насиченість руди водою зменшує їх міцнісні характеристики та погіршує протікання самого процесу випуску руди із очисного простору. Виникають зависання, зростає тиск на приймальному горизонті, збільшується кількість втрат руди по системі та погіршуються санітарно-гігієнічні умови.

Насичена водою рудна маса - це руда, яка містить в своєму складі певну кількість води. Випуск обводненої рудної маси в умовах шахти може бути складним процесом, оскільки води можуть ускладнювати видобуток руди та збільшувати витрати на її видобуток.

Основними технологічними процесами для забезпечення випуску рудної маси в умовах обводнення родовищ є:

встановлення належної вентиляції в шахті, щоб забезпечити необхідний рівень повітряного потоку;

встановлення системи відкачування води (дренаж), яка дозволить знизити рівень води в шахті до прийнятного рівня для продовження видобутку руди;

моніторинг і контроль рівня підземних вод та її вмісту в руді у процесі її видобутку. Це допоможе забезпечити оптимальні умови для продовження видобутку руди та запобігти можливим проблемам, пов'язаним з великим обсягом води.

Застосування технологій забезпечення безпеки працівників, щоб забезпечити безпеку під час робіт з випуску обводненої рудної маси.

Загалом, випуск обводненої рудної маси в умовах шахти є складним технологічним процесом, що вимагає використання відповідних підготовчих етапів, та спеціалізованих технологічних рішень.

Отже, моделювання випуску обводненої рудної маси в лабораторних умовах може бути дуже складним завданням, яке може включати в себе багато факторів, які впливають на точність результатів. Для забезпечення точності результатів необхідно враховувати всі ці фактори та використовувати методи та технології, які максимально наближають умови лабораторних досліджень до реальних.

Тому з'являється необхідність розробити методiku, щоб дослідити та удосконалити процес випуску обводненої руди. Для встановлення основних параметрів випуску обводненої руди та прогнозування втрат по системі в цілому були виконані представлені дослідження.

**Аналіз досліджень і публікацій.** В умовах Криворізького залізрудного басейну гірничі підприємства націлені на впровадження ресурсозберігаючих технологій [1,6]. Подальший розвиток гірничо-видобувної галузі також залежить від можливості підприємств відпрацьовувати складно-структурні поклади [5] та вести ефективно очисні роботи в складних гірничо-геологічних умовах, що забезпечує досягнення максимального економічного ефекту [2-5]. Тому є необхідність досліджувати питання відпрацювання обводнених покладів та ефективність систем в таких умовах.

Моделювання це важливий процес в дослідженні процесу випуску, оскільки він дає змогу візуально, а також фізично підтвердити наукові положення. Для вивчення явищ, які виникають при випуску руди, Малахов Г.М. [7] виконав багаточисленні дослідження на моделях із еквівалентних матеріалів в лабораторних умовах. Модель [7] являє собою бокс зі скляною передньою стінкою та отвором на дні, який імітує випускную воронку. В бокс шарами засипають еквівалентний матеріал, поверх якого насипають тонку смужку вугільного порошку, щоб процес зміщення шарів при випуску руди із окремого отвору було візуально зручніше спостерігати [7]. У процесі моделювання випуску необхідно дотримуватися масштабу моделювання та еквівалентного співвідношення матеріалів [7,8].

Випуск руди, відбитої масовим вибухом, є одним із головних процесів, який визначає кінцевий результат використання систем розробки [1,2]. В системах розробки з обваленням руди і вміщуючих порід, в яких блок має вертикальні стінки, найбільш ефективний рівномірно послідовний випуск однакових доз із усіх рудовипускних отворів [7]. Поверхня дотикання руди з обваленими породами знижується, зберігаючи при цьому загальне горизонтальне положення до деякого критичного рівня, який визначається фізичними властивостями руди, діаметром дучок та відстанню між ними. При такій черзі випуску вдається випустити максимальну кількість чистої руди до початку засмічення [8].

В камерних системах розробки здійснюється випуск чистої руди. Головною проблемою такого випуску є наявність втрат обводненої вологої руди.

**Постановка задачі.** В основі процесу моделювання випуску закладені майже ідеальні умови. Тому провести дослідження з використанням додаткових умов є необхідним. Насичення руди водою є параметром, який суттєво впливає на показники виймання по системі. Нами поставлена задача створити модель для випуску обводненої руди та визначити параметри випуску насиченої рудної маси.

**Викладення матеріалу та результати.** Дослідження планується виконувати моделюванням через одну випускную воронку, в умовах камерних систем розробки, тобто без засмічення руди налягаючими пустими породами з відповідним масштабу моделювання гранулометричним складом руди. Змінним параметром є насичення руди водою.

В якості можливого матеріалу та методики для проведення дослідів були розглянуті такі варіанти:

натурні зразки руди: натурні зразки руди можуть бути використані для дослідження впливу води на процеси випуску руди;

модельні системи: модельні системи можуть бути використані для дослідження фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час випуску руди насиченої водою;

комп'ютерне моделювання: комп'ютерне моделювання може бути використане для дослідження процесів випуску руди насиченої водою в різних умовах. Наприклад, можна застосувати моделювання, щоб дослідити вплив різних параметрів води на процес випуску руди та визначити оптимальні умови для максимального виходу руди.

З вище розглянутих варіантів для проведення досліджень випуску руди насиченої водою було прийнято рішення використовувати натурні зразки руди.

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.

В якості матеріалу була обрана подрібнена гематит-мартитова руда. Для відсіювання руди були використані сита з наступними параметрами: 7 – 5 мм; 5 – 3 мм; 3 – 2 мм; 2 – 1 мм; 1 – 0.5 мм; 0.5 – 0.3 мм.

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

Висота засипання моделі 40 м або 40 см згідно масштабу моделювання. Результати дослідження адаптовані для камерних систем розробки. Встановлено що для засипання моделі на вказану висоту слід використати 8520 (рис.2) грамів, сухої (5%) просіяної руди. Гранулометричний склад вказаний в табл. 1.

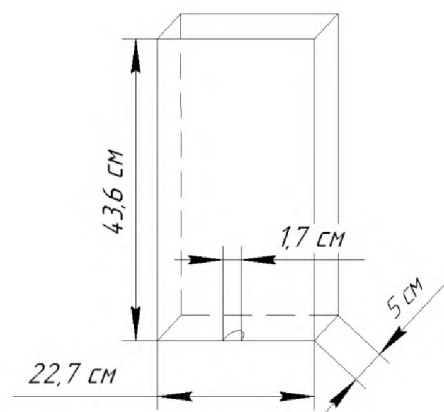


Рис. 1 Схематичне зображення моделі для випуску руди



Рис. 2. Тестове засипання сухого матеріалу на визначену висоту

Гранулометричний склад сухого рудного матеріалу

Таблиця 1

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

Моделювання випуску руди в умовах обводнення родовищ, на матеріалах аналогічних натуральним, викликає деякі складності, що погіршують точність результатів порівняння з реальними умовами в шахтах оскільки процес насичення руди водою є неоднорідними і має у своєму складі дуже багато перемінних властивостей. Вода має високий вплив на фізико-механічні властивості випускаємих руд, а саме на зменшення «текучих» властивостей руд. Можна визначити деякі з найбільш поширених проблем моделювання випуску обводненої рудної маси в лабораторних умовах:

відсутність реалістичного середовища: Лабораторні умови можуть відрізнятися від умов в реальних шахтах. Наприклад, реальна рудна маса може містити більшу кількість інших компонентів, таких як глина, пісок, кам'яністі матеріали та інші, які можуть впливати на випуск руди. Ці компоненти можуть бути відсутніми в лабораторних умовах, що може спотворити результати;

складність відтворення реальних умов: Відтворення реальних умов в лабораторії може бути дуже складним, оскільки це може вимагати спеціального обладнання, технологій та матеріалів;

недостатня кількість даних: Для моделювання випуску обводненої рудної маси необхідно використовувати велику кількість даних. Відсутність даних або недостатня кількість даних може призвести до неточностей та недостатньої точності результатів;

недостатня точність вимірювань: Вимірювання, які використовуються в лабораторних умовах, можуть бути менш точними, ніж ті, які використовуються в реальних умовах. Це може призвести до неточності результатів;

відсутність факторів зовнішнього середовища: в реальних умовах, фактори середовища, такі як температура, вологість повітря, тиск, можуть впливати на випуск обводненої рудної маси. У лабораторних умовах ці фактори можуть бути контрольовані, або ж їх взагалі може бути відсутніми, що не дає повної картини взаємодії процесів;

складність врахування всіх процесів: Випуск обводненої рудної маси є складним процесом, який може включати в себе багато етапів та різні види взаємодії. У лабораторних умовах врахування всіх цих процесів може бути дуже складним, що впливає на точність результатів;

взаємодія між компонентами: Випуск обводненої рудної маси може включати взаємодію між різними компонентами, такими як руда, вода та інші матеріали. У лабораторних умовах взаємодію між цими компонентами може бути важко врахувати, що призводить до неточних результатів.

Тому було прийнято рішення змочити рудну фракцію до необхідного стану. Потрібно було збільшити масу руди шляхом її змочування. Для змочування використовувався водяний зрошувач.

Насичення рудної маси водою характеризується співвідношенням мас вологої руди до її 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 так

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

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

Для дослідів руда поступово змочувалась та ретельно перемішувалась, доки на вагах не була зафіксована необхідна маса. Розрахункова маса руди при насиченні водою в 0.5% складає 8560 г.

Розрахунок необхідного збільшення рудної маси за рахунок її змочування виконувався шляхом удосконалення формули (1), де  $M_b$  – виступало у якості невідомого значення. Формула виглядає так, г

$$M_b = M_c \frac{H_p}{100} + M_c, \quad (2)$$

де  $H_p = 0,5\%$ ;  $M_c = 8520$ , г.

Підставивши значення в формулу (2), отримуємо, г

$$M_b = 8520 \frac{0,5}{100} + 8520 = 8562,$$

де  $M_b = 8562$ , г.

Необхідно змочувати руду доки на вагах, доки не буде досягнута відмітка в 8560 г з урахуванням похибки ваг  $\pm 5$  г.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** При виконанні серії дослідів за вище пропонованою методикою планується визначити залежності впливу насичення руди водою на формування втрат в гребнях і загальні показники випуску для підтвердження пропущення того, що в залежності від насичення водою фізико-механічні показники руди змінюються. Випуск руди в таких умовах, навіть на моделі, виконаний в масштабі 1:100 є досить ускладненим. Тому методика буде вдосконалюватися за для досягнення найбільшої відповідності результатів реальним умовам.

Розгляд питання випуску руди насиченою водою теоретично дає змогу вирішити кілька проблем у теорії розробки родовищ та випуску руд. Ось декілька з них:

ризиків пов'язаних з водою: вода може створювати ризики при розробці родовищ та випуску руди. Наприклад, вона може забруднювати середовище та створювати проблеми з безпекою робочих місць. Розгляд питання випуску руди насиченою водою може допомогти зменшити ризики, пов'язані з водою, та забезпечити більш ефективний та безпечний процес видобутку;

моделювання випуску руди: розгляд питання випуску руди насиченою водою може допомогти покращити точність та надійність моделювання випуску руди. Врахування впливу води

на властивості руди та процес випуску може допомогти створити більш точну та повну модель, що відображає реальні умови випуску руди;

розвиток нових технологій: розгляд питання випуску руди насиченою водою може допомогти розробити нові технології та інструменти для розробки родовищ та випуску руди. Наприклад, нові методики обробки руди можуть бути розроблені з урахуванням впливу води на властивості руди, що може призвести до більш ефективного та економічного видобутку руди;

розв'язання проблем, пов'язаних з водою: розгляд питання випуску руди насиченою водою може допомогти розв'язати проблеми, пов'язані з водою під час процесу розробки родовищ та випуску руди. Наприклад використання відкачуваної води у технологічних процесах;

можливість відпрацювання нових родовищ руд: розгляд питання випуску руди насиченою водою може допомогти при пошуку та відпрацюванні нових покладів руд. Наприклад, вивикористання результатів для різних умов випуску обводнених руд можуть бути використані як один з факторів, що впливають на вибір місця розробки родовища та технологію ведення очисних робіт.

Отже, розгляд питання випуску руди насиченою водою може допомогти вирішити ряд проблем у теорії розробки родовищ та випуску руди, що можуть призвести до більш ефективного, безпечного та економічного процесу видобутку.

#### *Список літератури*

1. Черненко А.Р., Черненко В.А. Подземная добыча богатых железных руд. -М.: Недра, 1992. – 224 с.
2. Сторчак С.А. Повышение качества рудной массы при поэтажном обрушении за счёт технологических факторов / С.А. Сторчак, С.В. Письменный, В.А. Сбитнев // Качество минерального сырья. Сб. науч. трудов. – Кривой Рог: КТУ, 2002. – С. 70-74.
3. Колосов В. А. Состояние и перспективы развития сырьевой базы горно-металлургического комплекса Украины / В. А. Колосов, Н. И. Дядечкин // Горный журнал. – 2005. – №5. – С. 10-13.
4. Перспективные направления повышения качества шахтных руд Кривбасса / Бьзов В.Ф., Капленко Ю.П., Колосов В.А., Ломовцев Л.А. // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2001. – №1. – С. 85-87.
5. Ступнік М. І. Стан і перспективи розвитку підземних гірничих робіт у Криворізькому басейні / Ступнік М.І., Колосов В. О. Калініченко В. О. // Розробка родовищ: зб. наук. праць – 2013. – Т.7. – С. 223-228.
6. Ступнік Н.И. Пути совершенствования технологи подземной разработки богатых руд Кривбасса / Н.И. Ступнік, М. И. Кудрявцев, А.М. Басов // Вісник Криворізького технічного університету. – 2010 – Вип. 26. – С. 23-26.
7. Малахов Г. М. 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. – 1971. – С. 5-41.
8. Моделювання фізичних процесів гірського масиву в лабораторних умовах на статичних моделях / В.О. Колосов, З.Р. Маланчук, С.В. Письменний, К.М. Ковбик // Гірничий вісник : науково-технічний збірник. – Кривий Ріг, 2018. – Вип. 104. – С. 55–62.

Рукопис подано до редакції 31.03.2023

УДК 621.9

Д.Ю. КРАВЦОВА, канд. фіз.-мат. наук, ст. викл., У.І. ЗЮГАН, асистент  
Криворізький національний університет

### **СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ІНЖЕНЕРНИХ ВИМІРЮВАНЬ ЗІ КОМП'ЮТЕРИЗАЦІЄЮ РОЗРАХУНКІВ У ТАБЛИЧНОМУ ПРОЦЕСОРІ**

**Метою** роботи є створення універсального шаблону в табличному процесорі для розрахунку статистики емпіричної вибірки із ста розмірів навання вибраних деталей із партії.

**Методи дослідження.** Вибірка із ста розмірів навання вибраних деталей із партії отримана емпірично шляхом технічних вимірювань. Обчислення статистики виконано аналітичним способом зі застосуванням функцій та цифрових інструментів табличного процесору із метою комп'ютеризації та автоматизації розрахунків.

**Наукова новизна** полягає у пошуку, визначенні, тестуванні та налагодженні роботи функцій та цифрових засобів візуалізації розрахунку табличного процесора, які повністю задовільняють вимоги до статистичної обробки інженерних вимірювань, які будуть спроможні максимально автоматизувати обчислення і миттєво повертати результати для кожної наступної вибірки.

**Практична значимість.** Очевидно, що у галузі прикладної механіки технолог відділу механічної обробки має на меті весь час вдосконалювати виробничий процес: зменшувати кількість браку, якщо робота без браку неможлива, то зменшувати витрати на брак, зменшувати зношування інструменту, оптимізувати процес механічної обробки усіма можливими способами. Для цього інженер-механік вимушений проводити вимірювання, статистично їх оброб-