

скидання розкривні породи розміщуються по дну виробленого простору кар'єру. Укіс борту кар'єру оголюється і драглайн розпочинає новий цикл робіт.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Запропонована технологія виключає необхідність використовувати спеціалізовані пристрої та техніку. Роботи виконуються серійним технологічним гірничим обладнанням, яке може бути задіяне у промисловому виробництві. Пункт доставки розкривних порід для їх подальшого перевантаження у вироблений простір кар'єру драглайном довгий час залишається стаціонарним, що зменшує об'єм робіт, які пов'язані з переоснащенням пунктів прийому гірської маси. Кінцеве розміщення порід розкриву у виробленому просторі відпрацьованого кар'єру здійснюється за рахунок використання енергії направленої вибуху на скидання, що суттєво впливає на техніко-економічні та часові показники процесу.

Напрямок подальших досліджень полягає в комплексному вивченні фізики вибуху на скидання з урахуванням дійсних гірничо-технологічних та гідрогеологічних умов його виконання, розробці методики розрахунку основних параметрів промислового вибуху на скидання, вдосконаленні комплексних інженерних рекомендацій по застосуванню розробленої технології в промислових умовах.

### Список літератури

1. **Пижик А.М., Пижик М.М., Пашкова І.О., Пижик С.А.** Патент на корисну модель №151821 Спосіб складування безрудних гірських порід у виробленому просторі виведеного з експлуатації кар'єру Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей 14.09.2022.
2. **Капустина С.В.** Автореферат дисертації по разработке полезных ископаемых, 05.15.03, Технология размещения вскрышных пород в погашенные карьеры с использованием аэростатно-канатных транспортных систем., Красноярск, 2000.
3. **Михайлов О.М.** Охрана окружающей среды на карьерах: Учеб. Пособие. –К.: Вища шк., 1990. – 264 с.
4. **Прокопенко В.И., Мормуль Т.Н., Литвинов Ю.И.** Развитие технологических схем открытой разработки горизонтальных месторождений с целью землесбережения, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина, Екологія і природокористування, 2012, Випуск 15.
5. **Буткин В.Д., Морин А.С., Точилин В.И.** Об аэротехнологиях на карьерах. В кн.: Проблема открытой добычи угля в Кузбассе. – Кемерово. Изд. «Родник», 1990, -с. 81 – 83.
6. **Морин А.С.** Изыскание эффективных аэростатно-канатных транспортных систем для открытых горных работ. Автореферат кандидатской диссертации. Иркутск, 1993.
7. **Васильев Г.А.** Вскрытие Алтын-Топкинского месторождения полезных ископаемых массовыми взрывами на сброс. – В кн.: Применение массовых взрывов в горной промышленности и строительстве. М., изд. ГОИНТИ, 1960. С. 37-39.
8. **Дороничева Л.А.** Массовые взрывы для вскрытия Байничанского месторождения в КНР. – В кн.: Применение массовых взрывов в горной промышленности и строительстве. М., изд. ГОИНТИ, 1960. С. 50-56.
9. **Кузнецов В.М., Лаврентьев М.А., Шер Е.Н.** О направленном выбросе грунта при помощи ВВ. – ПМТФ. 1960, №4. С. 49-50.
10. **Кузнецов В.М., Шер Е.Н.** Направленный взрыв в грунте. – В кн.: Взрывные работы в современных условиях, №50/8. М., Госгортехиздат, 1963. С. 22-39.
11. **Черниговский А.А.** Направленный выброс горной породы системой скважинных зарядов. – В кн.: Взрывные работы в современных условиях, №50/8. М., Госгортехиздат, 1963. С. 13-22.
12. **Давыдов С.А., Кузнецов В.А.** Взрывание на выброс траншейными зарядами ВВ. – В кн.: Взрывное дело, №69/26. М., «Недра», 1970. С. 168-174.

Рукопис подано до редакції 04.10.23

УДК 622.77

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., В. В. НЕВЗОРОВ, аспірант  
Криворізький національний університет

## ТОНКЕ ГРОХОЧЕННЯ ЯК СПОСІБ ВИРІШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПИТАНЬ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ВИСОКОЯКІСНИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КОНЦЕНТРАТІВ

**Мета.** Метою даних досліджень є оцінка можливості застосування тонкого грохочення у схемах переробки залізрудних концентратів для підвищення їх якості.

**Методи дослідження.** Вивчення та аналіз публікацій по застосуванню тонкого грохочення у різних галузях: нафтогазова, будівельна, видобувна та інші. Лабораторно-аналітичні дослідження для визначення найбільш оптима-

льного місця використання тонкого грохочення в технологічних схемах діючого виробництва. Аналіз результатів лабораторно-аналітичних досліджень та формування напрямків наступних експериментів.

**Наукова новизна.** В рамках дослідження встановлено, що тонке грохочення є сучасним та перспективним методом, який можливо застосовувати в технологічних схемах збагачення залізорудних концентратів. При проведенні подальших експериментів необхідно визначити оптимальні параметри грохочення, а також сформулювати залежності ефективності розділення від витрат води, амплітуди коливань, навантаження на грохот та інше.

**Практичне значення.** Використання тонкого грохочення для руд з низьким вмістом корисного компонента, дозволяє раціонально використовувати природні ресурси, а також оптимізувати технологічні процеси за рахунок підвищення їх ефективності. Ефективність розділення грохотів тонкого грохочення складає 70-80%, що на 25-30% вище ефективності класифікації в гідроциклонах, в діючих схемах виробництва. Для підтвердження практичного значення виконаного аналізу потрібно проведення промислових випробувань.

**Результати.** В рамках виконаного аналізу підтверджено можливість використання тонкого грохочення для підвищення якості залізорудної продукції та зниження її собівартості. Визначено переваги тонкого грохочення у порівнянні з традиційними методами збагачення та класифікацією в гідроциклонах, а саме: висока точність сортування; підвищення ефективності збагачення; мінімізація втрат цінних компонентів; зниження витрат на виробництво концентратів, за рахунок скорочення операцій у технологічних схемах; адаптивність технології під вимоги сортування та характеристики матеріалу.

Сформовані напрямки подальшого вивчення, можливі точки застосування тонкого грохочення у схемах збагачення та продукції.

**Ключові слова:** тонке грохочення, поверхні для грохочення, ефективність розділення, оптимізація технологічних процесів, ГЗК.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-80-88

**Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** У світі, де металургійна промисловість і технології відіграють ключову роль розвитку економіки, виробництво високо-сортих концентратів стає дедалі важливим напрямом. Тому гірничо-видобувна промисловість України та усього світу стикається з високою конкуренцією та постійним питанням необхідності підвищення якості залізорудної сировини. В Україні цим питанням свого часу займалось багато науковців, в тому числі і Губін Г. В. [1], Ширяєв А. А. [2].

«Магнетитові концентрати, що на світовому ринку користуються попитом, мають масову частку заліза 69-70%, діоксиду кремнію 2,5-3%, сірки 0,06-0,08% та інших шкідливих домішок не більше 0,3%. Вміст заліза в агломераційних рудах України на 1,6-2,0%, а в концентратах на 4-5% нижчий, ніж у продукції провідних зарубіжних виробників» [3].

Якісні характеристики залізорудних концентратів України в більшості своїй пов'язані з властивостями вихідної сировини та існуючими технологіями їх виробництва.

Залізорудна сировина України представлена магнетитовими кварцитами з тонкими вкрапленнями рудних і нерудних мінералів, яким притаманна складна структура, текстура, речовий склад та виражена.

«Масова частка заліза в промислових рудах коливається від 16 до 70%. Руди, що містять менше 50% заліза загального, збагачують до продуктів з масовою часткою заліза загального 62-67%» та масовою часткою кремнезему на рівні 5 %» [4].

Необхідність пошуку альтернативних, більш економічних технологій та обладнання для підвищення якості концентратів сприяло те, що за роки експлуатації кар'єрів, фабрик з переробки залізорудної сировини сталось наступне:

- погіршення якості сировини;
- застарілість існуючих технологій;
- зростання вимог до якості залізорудних концентратів.

Класичні технологічні схеми збагачення магнетитових руд в Україні однотипні та передбачають трьох- або чотирьох стадійне дроблення та трьохстадійне подрібнення руди з її класифікацією до крупності більше 95,0-98,0 класу 0,050 мм, поетапну магнітну сепарацію у слабкому магнітному полі з послідовним виведенням нерудної частини у хвості. Це є відмінною рисою технології переробки магнетитових руд. При цьому відбувається послідовне видалення рудних мінералів у товарні продукти по мірі їх розкриття. Однією з важливих операцій в цих схемах в циклах подрібнення руди є класифікація продуктів за крупністю, яка відбувається у класифікаторах та гідроциклонах. Ефективність класифікації за граничним зерном 0,074 мм у класифікаторах складає 60-70 %, а у гідроциклонах за граничним зерном 0,05 мм – на рівні 40 %, а іноді і набагато менше. Низька ефективність класифікації в гідроциклонах призводить до накопичення продуктів у циркулюючому навантаженні другої та третьої стадії подрібнення (піски гідроцик-

лонів), які мають крупність менше 0,05 мм. В результаті відбувається збільшення циркулюючого навантаження, яке становить – у другій стадії подрібнення більше 300%, у третій стадії подрібнення більше 200%. При цьому продукти, що циркулюють у циклах подрібнення мають підвищену масову частку заліза у зрівняні з продуктами, які подаються у цикли. Накопичення «готових» за крупністю та збагачених за корисним компонентом продуктів у циркулюючому навантаженні призводить до переподрібнення залізовмісних мінералів, ошламування та зниження якості кінцевого концентрату в результаті утворення вторинних зростків і як наслідок, до втрат заліза з хвостами. Також високі значення циркулюючого навантаження викликають додаткові витрати на подрібнення через збільшений об'єм пульпи, що циркулює в процесі.

Відповідно виробництво високосортних концентратів супроводжується технологічними проблемами, пов'язаними з організацією циклів подрібнення і класифікації промпродуктів.

При цьому часто розглядають не тільки можливість підвищення якості залізородних концентратів, а й зниження собівартості виробництва. Одним із таких способів є використання тонкого грохочення в замкнутих циклах подрібнення замість гідроциклонів з метою зниження циркулюючих навантажень на вузол.

Починаючи з 2000-го року все частіше у світі застосовується тонке грохочення як ще один спосіб розділення мінеральної сировини, який надає можливості одночасно ще і підвищити якість, або отримати високоякісні залізородні концентрати.

В період 2000-2010 років гірничо-збагачувальні комбінати України розпочали модернізувати свої технологічні схеми. Найбільш суттєві це роздільна подача вихідної руди на збагачувальні фабрики та використання флотаційного методу для доводки кінцевих концентратів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У гірничодобувній промисловості використовуються різні методи класифікації. Двома найважливішими процесами для розділення частинок певного розміру є гідроциклони та грохоти.

Вимоги до тонкості подрібнення залежать від того, який метод може бути використаний для збагачення вмісту заліза і при якій тонкості подрібнення можливо відокремити пусту породу і цінний компонент [5].

До цього часу гідроциклони найчастіше використовувалися для задоволення вимог для тонкого розділення, тоді як системи грохочення, як правило, використовувалися для діапазону крупності вище цього. Але, схоже, ця традиція втратила свою актуальність. Технологія тонкого грохочення проникає у все більш дрібні діапазони розмірів, замінюючи гідроциклони і роблячи систему більш ефективною та економічною.

У гідроциклонах ефективність розділення і класифікації досягається за рахунок взаємодії відцентрових сил (до 1000 g) і сил потоку. Дрібні відділяються від крупних частинок у пропорції, що відповідає співвідношенню об'ємного потоку між зливом верхнього та зливом нижнього продуктів гідроциклону. Іноді ефективність, що досягається гідроциклонами, становить менше 50 % [5].

На грохотах вихідна сировина розділяється на два продукти – надрешітний та підрешітний. Загальною оцінкою роботи грохоту є розрахунок ефективності грохочення. У практичному сенсі під ефективністю грохочення розуміється кількість правильно розподіленого матеріалу, як правило, виражена у відсотках.

За заданим класом можуть бути розраховані три показники ефективності: по надрешітному продукту (по плюсовому класу), по підрешітному продукту (за мінусовим класом) і загальна ефективність [6].

Надрешітна ефективність – це частка плюсового щодо розміру розділення класу в вихідній сировині, яка отримана в надрешітний клас. Аналогічно, підрешітна ефективності – це частка мінусового щодо розміру розділення класу в вихідній сировині, яка отримана в підрешітному класі.

Загальна ефективність – це вміст частинок, що взагалі правильно розподілені у продукті відносно їх кількості у вихідній сировині.

Для розрахунку ефективності за заданим розміром поділу необхідні такі дані:

- A – % плюсового класу у вихідній сировині;
- B – % мінусового класу у вихідній сировині ( $100 - A$ );
- C – % плюсового класу в надрешітному;
- D – % мінусового класу в підрешітному.

Масу продуктів та значення ефективності розраховуються таким чином:

$$U = \text{маса підрешітного продукту (\%)} = \frac{100(C-A)}{C+D-100};$$

$$O = \text{маса надрешітного продукту (\%)} = 100-U;$$

$$E_u = \text{підрешітна ефективність} = \frac{UD}{B};$$

$$E_o = \text{надрешітна ефективність} = \frac{OC}{A};$$

$$E = \text{загальна ефективність} = \frac{UD+OC}{100}.$$

Історія виникнення тонкого грохочення бере свій початок у 1979 році, коли Derrick Corporation запатентувало ситом Mutlfeed для гірничодобувної промисловості. Подальший розвиток пов'язаний з розробкою поліуретанових панелей в 1989 році [7].

На протязі удосконалення існуючого обладнання для тонкого грохочення, розробки нових інноваційних рішень, виконання науково-дослідних робіт, тонке грохочення використовувалось як для мокрого так і для сухого розділення, як процес розділення матеріалу так і його зневоднення (рис. 1).

Застосування знайшло своє місце в різних галузях: нафтогазова, будівельна, видобувна та інші. Тонке грохочення використовується не тільки у простих процесах розділення матеріалів, але усе більше знаходить своє застосування у складних технологічних схемах переробки мінеральної сировини, таких як перечистка кінцевих продуктів виробництва так і робота в замкнутих контурах подрібнення. У порівнянні з другим обладнанням для розділення, тонке грохочення має більш вищу ефективність розділення.

Це в більшій мірі пов'язано з можливістю виробництва поверхонь для грохочення (сіток), з розмірами отворів менше за 0,1 мм та більш висою ефективністю розділення у порівнянні з гідроциклонами. Ефективність розділення у грохотів для тонкого грохочення досягають 70-80% та вище.

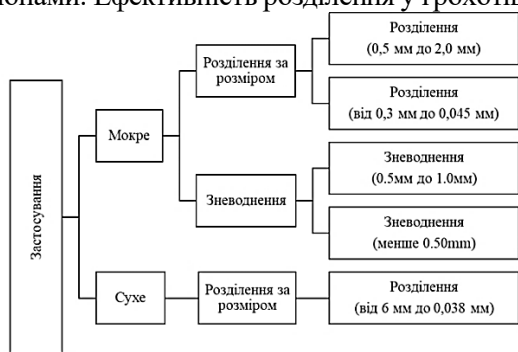
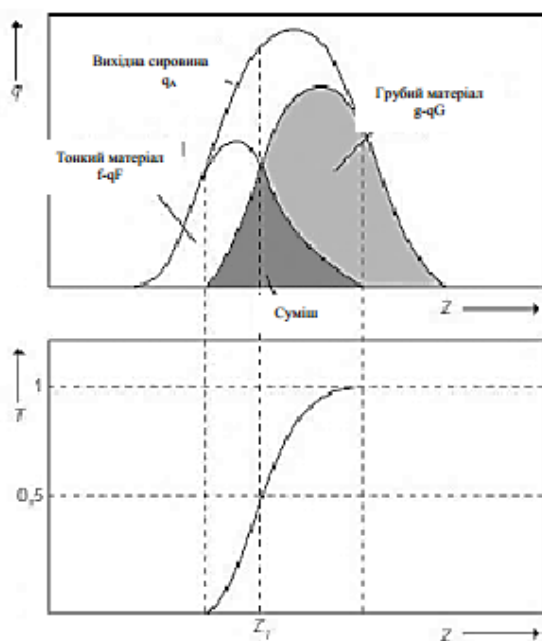


Рис. 1. Застосування грохочення у різних процесах переробки корисних копалин

Технологія тонкого грохочення є процесом розділення продуктів збагачення на фракції різних розмірів з використанням спеціалізованих грохотів з розміром отворів поверхонь для грохочення 0,1 мм та менше. Ця технологія дозволяє більш точно розділити частинки з близькими розмірами та покращити якість концентратів. Процес заснований на використанні вібрації та гравітаційних сил, що забезпечує ефективне сортування навіть за малих відмінностей у розмірах частинок.

Схематично взаємозв'язок гранулометричного розділення показано на рис. 2.

Рис. 2. Ефективність розділення в реальній практиці [5]



У цьому прикладі вихідна сировина  $qA$  розділяється на грубий матеріал  $g-qG$  і тонкий  $f-qF$ . В ідеальній ситуації розділення криві густини розподілу крупного і тонкого матеріалу не перетинаються, але в реальній практиці - вони перетинаються. Матеріал в зоні перекриття складається з частинок великого розміру. Некондиційні фракції з боку крупних частинок називаються підрешітними, а на стороні дрібних частинок - надрешітними. Для кожної точки на осі  $z$  діаграми розподілу можна визначити ефективність розділення. Ця ефективність розділення характеризує кількість зваженої фракції вхідного матеріалу, яка потрапляє в

крупний матеріал. Залежність ефективності розділення від характеристики крупності має вигляд S-подібної кривої. Чим крутіша крива, тим більша селективність [5].

Сьогодні виробники грохотів для тонкого грохочення пропонують безліч різноманітних конструкцій, таких як одно-, або багатодечні, горизонтальні чи грохоти з різним кутом нахилу, з різними подільниками пульпи, геометричними розмірами тощо.

За даними посилання [5] «У сфері систем тонкого просіювання, для діапазону розмірів частинок менше 0,1 мм у гірничодобувній промисловості, на ринку зараз представлені дві просіювальні машини, дія яких заснована на технології високочастотного просіювання. Одна з них - Stack Sizer корпорації Derrick.

На рис. 3 показано принцип роботи грохоту з 5 ситовими деками. Свіже живлення розподіляється в 5 окремих живильних коробок на кожній ситовій деці. Ситові деки, які працюють паралельно, оснащені високоефективними поліуретановими ситовими панелями. Грохот приводиться в лінійні коливання двома вібраційними двигунами. Високочастотна лінійна вібрація створює прискорення матеріалу на ситі, завдяки чому він затримується на поверхні сита на довший час.

Надтонкий грохот (UFS) компанії Metso працює аналогічно до грохоту Derrick's Stack Sizer. UFS може мати до 10 ситових дек та поверхонь для грохочення до 15 м<sup>2</sup>. Всі решітні деки збуджуються одним і тим же вібраційним блоком, який генерує амплітуду коливань від 0,6 до 2,5 мм. Для забезпечення рівномірного розподілу вихідного матеріалу використовується інноваційний дільник. Він подає матеріал на 2 деки одночасно й однорідної густини. За словами Metso, ця просіювальна машина є такою ж компактною, як і гідроциклона установка, але вимагає більших інвестиційних витрат.

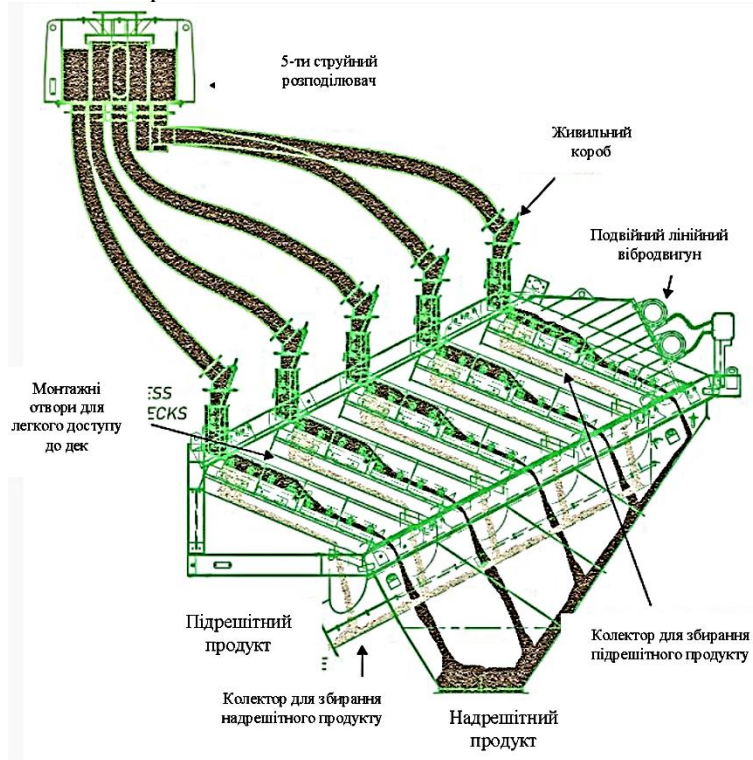


Рис.3. Блок-схема Stack Sizer [5]

Порівняно зі Stack Sizer, розмір просіювання наразі все ще обмежений ситами з розміром отворів 0,075 мм. Машина Derrick має найменший розмір отворів - 400 меш (0,038 мм)». [5].

Наразі сьогодні найвідомішими виробниками грохотів для тонкого грохочення є Derrick Corporation (США). Нещодавно компанія розробила 8-дечний грохот, що прийшов на заміну 5-дечному грохоту Stack Sizer.

Технологія SuperStack від Derrick дає змогу використовувати до восьми дек, кожна з яких оснащена запатентованими поліуретановими панелями Derrick. Поєднання цих двох технологій дає змогу машинам замінити гідроциклони в контурах подрібнення, виконуючи, по суті, роль

класифікуючого обладнання, що вони роблять набагато ефективніше й економічніше. У результаті підприємство може виробляти більше продукції, використовуючи ту саму або менше енергії [8].

Сьогодні на збагачувальних фабриках далекого і ближнього зарубіжжя встановлюються грохоти провідних фірм: "Деррік" (США), "ННІ" (Китай), Компанія "Knelson", Компанія "Crush Technologies Ltd", корпорація Metso [9].

**Постановка задачі.** Для обґрунтування необхідності встановлення додаткової стадії класифікації у грохотах або заміни гідроциклонів у циклах подрібнення необхідно провести детальний аналіз цієї практики. Тому метою цього дослідження є аналіз та синтез результатів використання технології тонкого грохочення в існуючій практиці світового виробництва залізородного концентрату.

**Викладення матеріалу та результати.** Застосування технології тонкого грохочення може суттєво покращити якість концентратів та вирішити проблеми, пов'язані з нерівномірним розподілом розмірів частинок у сировині.

Грохочення в основному використовується в гірничодобувній промисловості в системах первинного і вторинного дроблення, крупного просіювання (скальпування) в процесі попереднього купчастого вилуговування, тонкого просіювання і дрібнозернистої елютріації (пневмокласифікації) на різних стадіях процесу збагачення, наприклад, в контурах подрібнення і просіювання (відкритих і закритих), а також на грохотах в DMS-схемах (DMS = Розділення в щільному середовищі). З огляду на те, що вміст заліза в руді в усьому світі знижується, ще однією зростаючою сферою застосування є промивання руди на збагачувальних фабриках. У цій галузі різноманітні вимоги від дуже тонкого до дуже крупного просіювання можна задовольнити лише за допомогою різних систем просіювання. У багатьох випадках різні просіювальні машини комбінуються для більш ефективного задоволення зростаючих вимог [5].

Перші спроби використання в Україні в 1972-1973 роках на Полтавському ГЗК. [9]. Використовуючи тонке грохочення на стадії доведення концентрату, підвищували вміст заліза в товарному продукті на 1,5 %. Надрешітний продукт, в якому концентрується найбільш важко збагачувана частину руди, слід допрацьовувати в окремому циклі. Таке доопрацювання вимагає його доподрібнення з подальшим збагаченням на магнітному сепараторі з великою селективністю поділу [1].

Однак більш поширене його використання у залізородній галузі сталося в останні 20 років. Що стосується вітчизняних виробників залізородних концентратів, то були проведені дослідження та випробування на АрселорМіттал Кривий Ріг, Північному, Південному, Центральному та Полтавському ГЗК. На Центральному ГЗК тонке грохочення набуло промислового використання.

На АрселорМіттал Кривий Ріг були виконані дослідження тонкого грохочення магнітних продуктів 2 та 3 стадій мокрої магнітної сепарації.

Як зазначається у статті [2] «у продукті другої стадії містилося 59,2% заліза загального. Після грохочення по класу -0,05 мм при ефективності 80% вміст заліза в підрешітному продукті становив 65,2%. При подальшому збагаченні підрешітного продукту на лабораторному магнітному сепараторі 236-СЕ та знешламлюванню на конусі діаметром 600 мм досягнуто вміст заліза в концентраті в перерахунку на промислові показники 67,5%. Вихід надрешітного продукту виявився досить значним і становив 46,5%.

У пробі продукту третьої стадії магнітної сепарації вміст заліза загального становив 64,5%. Класи крупністю мінус 0,05 мм - плюс 0,01 мм і мінус 0,01 мм містять залізо загальне від 67,1% до 69,6%, у середньому – 67,5%. Вихід цих класів дорівнює 85,8%. У класах крупності (0,25 - 0,05 мм) вміст заліза загального знаходиться в межах від 23,0% до 52,6%.

Видалення бідних класів крупності з ефективністю 80% дозволяє виділити багату частину продукту з вмістом заліза від 67,0 до 67,5%. Магнітна сепарація підрешітного продукту підвищує вміст заліза у перерахунку на промислові показники до 68,0-68,2%. При цьому вміст кремнезему становитиме 3,7-3,75%.

Наступним етапом було проведення напівпромислових випробувань.

На напівпромисловій установці при продуктивності 67,3 кг/год (млин МШЦ 400x800 об'ємом 0,08м) була випробувана схема, що відтворює третю стадію подрібнення з класифікацією та магнітною сепарацією секції № 10. Магнітний продукт розмагнічувався і подавався на висо-

кочастотний лабораторний грохот ГНВС -0.5x1,5, що має частоту обертання валу  $24,33 \text{ c}^{-1}$ , амплітуду коливань до 2 мм і поверхню, що грохоче, з отвором 0,07 мм. Підрешітний продукт надходив на магнітну сепарацію в два прийоми, а надрешітний - повертався до млина на доподрібнення.

Застосування тонкого грохочення дозволило одержати кінцеву крупність подрібнення 98% класу -0,05 мм. Досягнута ефективність грохочення становила 90%

При досягнутій крупності подрібнення 98% класу -0,05 мм отримано вміст заліза в концентраті 69,6%, що у перерахунку на промислові умови становило 68,2%. Отримані показники напівпромислових випробувань дозволили рекомендувати тонке грохочення для промислового впровадження». [2].

У період 2015-2016 років на ПівдГЗК були проведені промислові випробування тонкого грохочення в замкнутих циклах 2 та 3 стадії подрібнення. Як зазначено у статті [10], «у ході проведення випробувань на Південному ГЗК на пробі руди з масовою часткою заліза 35,4% було досліджено: базову 3-х стадіальну технологічну схему із застосуванням гідроциклонів; 2-х і 3-х стадіальні технологічні схеми із застосуванням грохотів Derrick. У ході випробувань із застосуванням технології тонкого грохочення Derrick було отримано концентрат із масовою часткою  $\text{Fe}_{\text{заг}}$  більше 67% як за 3-х стадіальною, так і за 2-х стадіальною схемами, у той час як за базовою технологічною схемою відбувалося перевантаження технологічного процесу. При відпрацюванні 3-х стадіальної схеми з грохотами Derrick найкращі показники були досягнуті при роботі млинів II та III стадії в замкнутому циклі із застосуванням поверхонь, що просівають, у II стадії 0,075 мм, у III стадії 0,053 мм. Рекомендована 3-х стадіальна схема дозволяє отримати концентрат з масовою часткою заліза 67,1% при виході концентрату 41,6%. Продуктивність по вихідній сировині 3-х стадіальної схеми з грохотами на 10-20% вище порівняно з базовою схемою. Рекомендовано 10 п'ятидечних грохотів Stack Sizer (4 грохоти для другої стадії та 6 грохотів для третьої стадії подрібнення)».

За результатами додаткових промислових випробувань з класифікації розвантаження млинів 2 та 3 стадій подрібнення на грохотах тонкого грохочення в умовах секції №8 РЗФ-1 встановлено, що ефективність грохочення для 2 стадії подрібнення - 83,07% для поверхонь, що просівають з розміром отвору 0,075 мм та для 3 стадії подрібнення - 92,42% для поверхонь, що просівають з розміром отвору 0,063 мм.

В умовах ПівдГЗК були проведені випробування тонкого грохочення. Як зазначається у статті [11] було випробувано 5 технологічних схем з використанням тонкого грохочення.

«У трьох схемах тонке грохочення використовувалось після I стадії магнітної сепарації з використанням поверхонь, що просівають з розміром отвору 0,1 мм та 0,063 мм. Було відмічено, що підрешітний продукт приблизно на 10% багатший за надрешітний. Це пов'язано з наявністю у підрешітному продукті зростків до 45%. За всіма схемами був отриманий концентрат з вмістом заліза більше 67,0%.

В четвертій та п'ятій схемах використовується тонке грохочення магнітного продукту II стадії магнітного збагачення. Але в четвертому варіанті передбачене додаткове доподрібнення надрешітного продукту з подальшим його збагаченням в окремій технологічній гілці. А в обраному для впровадження, п'ятому варіанті, надрешітний продукт тонкого грохочення подрібнюється у III стадії подрібнення, далі класифікується у гідроциклонах. Піски гідроциклону повертаються на подрібнення у III стадію подрібнення. Злив гідроциклону повертається у II стадію магнітного збагачення».

В 2019 роках на базі Полтавського ГЗК були виконані лабораторно-аналітичних дослідження [12], «метою яких була визначити найбільш оптимальне місце використання тонкого грохочення в діючій технологічній схемі діючого виробництва. Згідно цих досліджень:

на ділянці ОВД – 2 найбільш раціональним місцем використання є тонке грохочення концентрату МГС – IV стадії. Можливо, припустити, що впровадження грохоту дозволить підняти якість одержуваного концентрату первинної схеми збагачення - на 3,22% загального заліза, знизити вміст  $\text{SiO}_2$  - на 3,74%;

на ділянці ОВД – 4 найбільш раціональним місцем використання є тонке грохочення концентрату ММС III стадії. Можна припустити, що використання грохоту дозволить виділити готовий концентрат із первинної схеми збагачення якістю заліза загального – 68,3%, виходом – 88,80%;



на ділянці ФЛОТАЦІЯ №1 найбільш раціональним місцем використання є тонке грохочення вихідної сировини ділянки подрібнення, живлення вертикальних млинів, проміжного продукту ММС флотації. Це може дозволити виділити готовий концентрат до основної операції флотації, якістю не менше – 68,0% заліза загального. Використання тонкого грохочення концентрату флотації дозволить підняти якість продукції операції флотації на – 1,70% заліза загального, знизити вміст SiO<sub>2</sub> на - 2,0%;

на ділянці ФЛОТАЦІЯ №2 найбільш раціональним місцем використання є тонке грохочення пісків гідроциклонів Ø250 мм з подальшим виділенням готового концентрату до основної операції флотації. Впровадження тонкого грохочення концентрату флотації дозволить підняти якість продукції на - 1.20% заліза загального, знизити вміст SiO<sub>2</sub> на - 1,02%.

За підсумками лабораторно-аналітичних досліджень, рекомендовано провести напівпромислово безперервні випробування на однокочному грохоті 2SG48-60W-1STK, щоб уникнути технологічної похибки його застосування».

Самим успішним впровадженням тонкого грохочення є використання 12 грохотів виробництва Derrick Corporation для очищення високосортного концентрату від пустої породи та доведення його якості до потреб виробництва DRI-окатишів відбулося на Центральному ГЗК. Як повідомляється у статті: Metinvest Media «Найбільш знаковим досягненням 2020 року для комбінату стало завершення проекту модернізації обладнання переробного комплексу. Кілька років проектних і будівельно-монтажних робіт, встановлення сучасного обладнання - і ЦГЗК отримав першу в Україні технологічну лінію з виробництва концентрату із вмістом заліза 70,5%. Він стає сировиною для високоякісного окатишу, який можна використовувати, зокрема, і для бездоменного виробництва сталі за технологією прямого відновлення заліза (DRI)». [13].

**Висновки і напрямки подальших досліджень.** Проведений аналіз стану використання технології та обладнання для тонкого грохочення дає змогу вважати це сучасним та перспективним методом, завдяки якому можливо вирішити питання підвищення якості продукції та зниження її собівартості.

Перевагами технології тонкого грохочення є:

висока точність сортування: Технологія тонкого грохочення дозволяє розділяти частинки з високою точністю, що значно підвищує якість кінцевих продуктів;

поліпшена ефективність: Завдяки більш точному сортуванню ефективність збагачення підвищується, що веде до збільшення вилучення цінного компонента у високосортні концентрати;

мінімізація втрат цінних компонентів: Технологія дозволяє ефективно вилучати цінні компоненти з сировини, мінімізуючи втрати;

зниження витрат: Підвищена ефективність та точність сортування скорочують потребу у наступних етапах обробки та переробки, що може знизити витрати на виробництво;

адаптивність: Технологія тонкого грохочення може бути налаштована під конкретні вимоги сортування та характеристики сировини.

Недоліками можна вважати необхідність додаткового доопрацювання надрешітного продукту в окремому циклі для отримання «монопродукту» з більш вищим вмістом цінного компонента та більшою площею займання у порівнянні з гідроциклонами.

Згідно з результатами проведеного аналізу сучасного стану використання у світі та в Україні, можна зробити висновок, що у порівнянні з гідроциклонами, тонке грохочення має більш високу ефективність розділення, та досягає 70-80%, а в деяких випадках і більш 90%. Це залежить від розміру поверхонь, що просіюють та місця застосування тонкого грохочення. Така висока ефективність дозволяє виділити у підрешітний продукт матеріал з вмістом заліза загального 68-70,5% у промисловому використанні. При цьому масова частка кремнезему знижується до рівня 3-5%.

Тому застосування тонкого грохочення суттєво поліпшує металургійну цінність залізрудних концентратів.

Для подальшого та більш детального вивчення умов та параметрів тонкого грохочення потрібно:

розглянути його використання в циклах подрібнення II, III стадій та використання на кінцевих продуктах переробки магнетитових кварцитів; з визначенням оптимальних параметрів грохочення;



сформувати залежності ефективності розділення від втрат води, амплітуди, навантаження на грохит та інше.

### Список літератури

1. Губін Г.В., Хованець В.А., Лотоус, В.В., Равінска В.О. Шляхи подальшого підвищення якості залізорудних концентратів на ПрАТ «Полтавський ГЗК» у сучасних умовах, Вісник ЖДТУ. 2018. № 1 (81), с.1.
2. Ширяєв А. А. Застосування тонкого грохочення для підвищення якості залізорудного концентрату на збагачувальній фабриці гірничозбагачувального комплексу «АрселорМіттал Кривий Ріг»
3. Олійник Т.А., Перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд. Збагачення корисних копалин, 2018.-Вип. 69(110),-с.34.
4. Олійник Т.А., Сучасні тенденції розвитку технологій збагачення гематитових руд в Україні, Збагачення корисних копалин, 2014. – Вип. 56(97).
5. [Advances in screening technology in the mining sector](#)
6. [Maurice C. Fuerstenau and Kenneth N. Han, Principles of Mineral Processing, Copyright © 2003 Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc](#)
7. <https://derrick.com/about-us/>
8. Carly Leonida. [Screens Offer New Era in Process Efficiency](#)
9. Олійник Т.А., Скляр Л.В., Олійник М.О., Кушнірук Н.В., Скляр А. Ю. Коржан І.А. Використання тонкого грохочення в умовах ПрАТ Північного ГЗК. Збагачення корисних копалин, 2018-вип. 69-с.69.
10. Губін Г.В., Скляр Л.В., Ярош Т.П., Губін Г.Г., Аналітичний огляд шляхів покращення якості магнетитових кварцитів. Збагачення корисних копалин, 2016. – Вип. 64(105).
11. Булах О. В., Хміль І. В., Костючик О. В. Виробництво залізорудного концентрату в умовах ПАТ «Північний ГЗК з впровадженням у технологію збагачення операції тонкого грохочення. Гірничий вісник, 2014-Вип. 97.
12. Звіт з проведення лабораторно-аналітичних досліджень проб продуктів збагачення секції ОВД – 2 ДЗФ, ОВД – 4 ДЗФ, Флотация № 1, 2, 3 у компанії ТОВ «Ферострой» з метою визначення можливості та технологічної доцільності застосування гуркотів тонкого гуркотіння Stack Sizer™ компанії Derrick Corporation. Договір № 2735 від 13.11.18р
13. Metinvest Media ЦГЗК відмічає день народження. <https://metinvest.media/ru/page/den-rozhdeniya-cgok->

Рукопис подано до редакції 10.10.23

УДК 331.45:613.6:159.9:65

О.В. ПИЩИКОВА, канд. техн. наук, доц, А.І. НАСТИЧ, аспірантка  
Криворізький національний університет

## РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІ ЩОДО СТВОРЕННЯ ОПИТУВАЛЬНИКА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТРЕСОТІЙКОСТІ ПРАЦІВНИКІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ НА РОБОТАХ ЗІ ШКІДЛИВИМИ УМОВАМИ ПРАЦІ

У цій статті розглядається проблема стресостійкості працівників на промислових підприємствах, які виконують роботи в умовах, що можуть впливати на їхнє фізичне і психічне здоров'я. Проводиться комплексний аналіз різних сучасних методик оцінки стресостійкості. Крім того, стаття надає рекомендації щодо створення опитувальника для визначення стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

**Мета** цієї статті, вирішення питання щодо стресостійкості працівників на промислових підприємствах, які працюють у шкідливих умовах, надання рекомендацій для їх оцінки та підвищення стресостійкості.

**Методи дослідження.** Стаття використовує комплексний аналіз сучасних методик визначення рівня стресостійкості працівників та досліджує розробку рекомендацій щодо створення опитувальника для визначення стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

**Наукова новизна.** Стаття вносить вклад в галузь адаптуючи опитувальники для визначення стресостійкості під національні вимоги, контекст та потреби підприємств, враховуючи критерії, які не були раніше використані.

**Практична значення.** Західні методики оцінки стресостійкості працівників на промислових підприємствах, де виконуються роботи в шкідливих умовах праці, мають численні переваги, такі як визнана валідність і надійність, врахування специфічних факторів стресу, пов'язаних із роботою в таких умовах, та можливість адаптації для працівників промислових підприємств. Проте вони можуть не охоплювати всі аспекти стресостійкості. Тому впровадження різних методів оцінки стресостійкості на основі формул ORS-HWE для підприємств в Україні дозволить отримувати більш точну оцінку стресостійкості.

**Результати.** Запропонований підхід до розробки опитувальника для визначення стресостійкості працівників національних промислових підприємств ляже в основу удосконалення методики розрахунку стресостійкості та продовжить дослідження, щодо розробки рекомендацій визначення рівня стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.