

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

НЕВЗОРОВА ВІТАЛІЯ ВАЛЕРІЙОВИЧА

на тему: **«Обґрунтування технологічних параметрів тонкого грохочення**

при збагаченні магнетитових кварцитів»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 184 – «Гірництво»,

за спеціальністю 18 – «Виробництво та технології»

Актуальність теми дисертації.

Сучасні технології переробки магнетитових кварцитів передбачають практично повне подрібнення вихідної сировини. Це призводить до втрат тонковкрапленого розкритого магнетиту та багатих зростків із відвальними хвостами, а також до потрапляння тонкодисперсного кварцу і бідних зростків у проміжні продукти та концентрат, що негативно впливає на якісні показники готової продукції.

Попередній аналіз показує, що одним із найбільш ефективних шляхів підвищення якості концентрату є додаткова переробка низькосортних концентратів мокрої магнітної сепарації. Для цього доцільним є комплексне використання грохотів тонкого грохочення, вертикальних млинів і батарей гідроциклонів. Таке технологічне поєднання забезпечує виділення чистого магнетиту, зменшення втрат багатих зростків із хвостами та скорочення потрапляння бідних зростків до промпродукту й концентрату. У ряді випадків запропонована схема може розглядатися як альтернатива флотаційному збагаченню концентратів.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуального наукового завдання, спрямованого на обґрунтування та розроблення комплексної технологічної схеми збагачення бідних магнетитових кварцитів. Запропонована технологія ґрунтується на встановленні закономірностей імовірності розділення мінеральних частинок, визначенні залежностей ефективності процесу від характеристик вихідної сировини (вмісту твердого, щільності та розрідження

пульпи, навантаження, швидкості потоку), а також від технологічних параметрів роботи грохота (частоти та амплітуди коливань, розміру отворів ситової поверхні).

У зв'язку з цим, обрана тема дисертаційного дослідження є актуальною, науково обґрунтованою та має важливе практичне значення для підвищення ефективності переробки залізорудної сировини.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

В дисертаційній роботі висвітлено два наукових положення:

Наукове положення №1

Тонке грохочення магнетитових кварцитів обґрунтовано як складна стохастична технологічна система, для якої визначальними є випадковий характер гранулометричного складу вхідного потоку, нестационарність параметрів та вплив невимірюваних факторів, що зумовлює необхідність використання ймовірнісно-статистичного підходу до моделювання процесу та визначення його технологічних показників.

Наукове положення № 2

Встановлено, що сепараційна характеристика тонкого грохочення може бути адекватно описана узагальненою математичною моделлю, яка поєднує: ймовірнісну основу просіювання частинок, кінетичні параметри процесу, та інтегральний вплив характеристик пульпи, що дозволяє визначати розділення вихідних продуктів як функцію від параметрів вхідного потоку та режимів роботи грохоту.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше для процесів збагачення магнетитових кварцитів розроблено узагальнену математичну модель тонкого гідрогрохочення, яка враховує ймовірнісну природу розділення частинок за крупністю, кінетику процесу та вплив властивостей пульпи шляхом побудови регресійної моделі коефіцієнта пульпи, що встановлює кількісний взаємозв'язок між: вмістом твердого, розрідженням, щільністю пульпи, та дозволяє враховувати їх комплексний і

взаємозалежний вплив на ефективність тонкого грохочення за рахунок чого підвищено ефективність розділення мінеральної сировини за крупністю на 4,9-12,86%.

2. Вперше встановлено узагальнені закономірності процесу тонкого грохочення магнетитових руд на високочастотному грохоті на основі введення безрозмірних параметрів, що комплексно враховують вплив часу просіювання (запас матеріалу на грохоті та вхідна продуктивність), вплив частоти та амплітуди коливань, товщини шару матеріалу та його гранулометричного складу (зокрема, критеріїв, аналогічних числам Фруда та Рейнольдса для вібраційних систем). Показано, що ефективність класифікації визначається узагальненим критерієм процесу, при оптимальних значеннях якого досягається зниження вмісту дрібних класів у надрешітному продукті на 7,68–11,93 %.

3. Вперше встановлено аналітичні залежності для переходу від розподілу крупності вхідної сировини до розподілу сепараційної характеристики тонкого грохочення, що дозволяє: підвищити селективність розділення та стабілізувати гранулометричний склад продуктів грохочення, тим самим підвищити вміст заліза у підрешітному продукті на 1,45–2,87 % Fe та знизити засміченість дрібного класу пустою породою на 1,36–4,58 %.

4. Вперше встановлено, що оптимізація режимних параметрів роботи високочастотного грохота (частота коливань у межах 40–50 Гц, амплітуда 0,7мм, питоме навантаження 26,9 т/ч*м²) забезпечує інтенсифікацію процесу тонкого грохочення, що проявляється у зменшенні втрат корисного компонента з надрешітним продуктом на 4,49–11,75 % та підвищенні вилучення магнетиту у підрешітний продукт на 6,91–18,10 %.

Отже, в дисертаційній роботі наукові завдання виконано у повному обсязі. Здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає у наступному:

- розробка та впровадження науково обґрунтованих технологічних рішень щодо використання тонкого грохочення у схемах збагачення магнетитових кварцитів;

- підвищення ефективності процесів розділення мінеральної сировини за крупністю, зменшення втрат заліза та покращення якісних характеристик товарного концентрату;

- розроблена узагальнена математична модель процесу тонкого грохочення для прогнозу технологічних показників роботи високочастотних грохотів в залежності від гранулометричного складу вихідної сировини, властивостей пульпи та режимних параметрів;

- встановлено оптимальні режими роботи високочастотного грохота, що дозволило зменшити втрати корисного компонента з надрешітним продуктом, підвищити вилучення магнетиту до підрешітного продукту та за рахунок цього покращити якість концентрату;

- запропонована технологічна схема, яка забезпечує оптимізацію магнітно-флотаційної схеми збагачення магнетитових кварцитів та дозволяє підвищити масову частку Fe у товарному концентраті з 67,18 % до 67,93 %, що підтверджено промисловими випробуваннями та актом впровадження.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачки НЕВЗОРОВА ВІТАЛІЯ ВАЛЕРІЙОВИЧА повністю відповідає освітній програмі підготовки докторів філософії за спеціальністю 184 – «Гірництво» Криворізького національного університету, яка враховує Стандарт вищої освіти зі спеціальності 18 – «Виробництво та технології».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувачки у науковій галузі 184 – «Гірництво».

Після ретельного аналізу звіту про перевірку дисертації Невзорова В.В. на текстові співпадіння, можна констатувати, що робота виконана самостійно і не містить елементів плагіату. Всі використані ідеї та цитати інших авторів належним чином оформлені і мають посилання на відповідне джерело.

Дисертація Невзорова В.В. є результатом оригінальних наукових досліджень, проведених здобувачом самостійно.

Мова та стиль викладання результатів

Дисертація, написана українською мовою, відзначається логічним викладом матеріалу та використанням наукової термінології, що відповідає загальноприйнятим стандартам.

Дисертаційна робота включає: вступ, чотири розділи, з висновками по кожному розділу, висновку в цілому по дисертаційній роботі та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 176 сторінок, включно 55 рисунків, 41 таблицю. Список використаних джерел містить 90 найменувань.

У **вступі** обґрунтовується актуальність вибраної теми дослідження, наведені цілі і завдання дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, пояснюється наукова новизна і практичні значення отриманих результатів.

Перший розділ містить аналіз технологічних процесів та обладнання, що застосовуються для розділення матеріалу за крупністю. Визначено сучасні тенденції модернізації технологій збагачення магнетитових кварцитів. Особливу увагу приділено дослідженню впливу мінералогічного складу сировини, особливостей вкрапленості корисного компонента та вимог до якості концентрату на обґрунтування вибору технологічних схем і технологічного обладнання.

Другий розділ присвячено розробці та дослідженню математичної моделі процесу тонкого грохочення. На основі методів теорії ймовірностей і математичної статистики сформульовано та розв'язано задачу моделювання даного процесу. Отримано аналітичні залежності для визначення сепараційної характеристики підрешітного продукту, які враховують властивості вихідної рудної шихти та технологічні параметри грохочення.

Для опису процесу використано модель О. М. Тихонова, що дозволило оцінити щільність розподілу сепараційної характеристики підрешітного продукту як випадкової величини, на формування якої впливають як характеристики вхідного потоку рудної шихти, так і особливості самого процесу тонкого грохочення.

З метою врахування специфіки мокрого тонкого грохочення визначено основні параметри пульпи та об'єднано їх у комплексний коефіцієнт пульпи. Для

встановлення його функціональної залежності та числових значень застосовано методи регресійного аналізу, що дало змогу оцінити ступінь впливу кожного з досліджуваних параметрів.

Результати математичного моделювання узгоджуються з даними експериментальних досліджень процесу грохочення та підтверджують адекватність розробленої моделі. Отримані залежності між параметрами вхідної рудної шихти та показниками процесу тонкого грохочення можуть бути використані для вирішення практичних завдань під час проектування та вдосконалення технологічних схем збагачення.

У третьому розділі наведено результати досліджень магнетитових кварцитів як об'єкта тонкого грохочення, а також вивчено умови розділення частинок магнетитових руд у процесі класифікації. На основі лабораторних і напівпромислових випробувань проведено оцінку впливу основних технологічних параметрів на ефективність грохочення. Проаналізовано особливості та технологічні аспекти переробки магнетитових кварцитів, а також визначено основні проблеми та обмеження, що виникають під час їх збагачення.

У ході експериментальних досліджень обґрунтовано критерії оцінки ефективності процесу класифікації та встановлено оптимальні режими роботи тонкого грохочення, які забезпечують підвищення якості розділення матеріалу за крупністю.

У четвертому розділі наведено обґрунтування та розроблено комплексну технологічну схему збагачення бідних магнетитових кварцитів. Запропоноване технологічне рішення дає змогу відмовитися від виробництва низькоякісного концентрату з вмістом Feзаг. 64,5 % та забезпечити отримання високоякісного концентрату з вмістом Feзаг. 68,5 %. Крім того, реалізація схеми дозволяє збільшити випуск товарного концентрату з вмістом Feзаг. 67,5 % на 460,0 т/год.

Оцінку економічної ефективності розробленої технологічної схеми виконано із застосуванням методу варіантного дисконтованого аналізу, який враховує зміну вартості грошових потоків, інвестиційних вкладень та надходжень протягом усього життєвого циклу проєкту.

Практичне впровадження результатів проведеного дослідження зазначено у додатку до дисертаційної роботи.

Оформлення дисертаційної роботи відповідає вимогам наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 5 наукових публікаціях здобувачки, серед яких: 3 статті – у фахових наукових виданнях категорії Б; 1 стаття – у журналі категорії В, 1 тези – в іноземному виданні.

Результати проведеного дослідження були презентовані та успішно апробовані не лише на локальному рівні (кафедра збагачення корисних копалин і хімії КНУ), а й на міжнародних наукових форумах, таких як конференції «Розвиток промисловості і суспільства» (Кривий Ріг) та «Інноваційний розвиток ресурсозберігаючих технологій» (Румунія). Це свідчить про актуальність та наукову новизну дисертаційного дослідження.

Аналіз публікацій здобувача дозволяє зробити висновок, що вони в достатній мірі висвітлюють результати дисертаційного дослідження.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Не зважаючи на загальне позитивне враження від дисертації Невзорова В.В., робота має ряд недоліків і дискусійних питань:

1. На захист виноситься як наукову новизну «вперше встановлені» оптимальні параметри: частота 40–50 Гц, амплітуда 0,7 мм, питоме навантаження 26,9 т/год·м². Чим ці параметри відрізняються від стандартних паспортних режимів роботи промислових грохотів типу Derrick Stack Sizer? В чистому вигляді вони не можуть вважатися абсолютною науковою новизною. Необхідно додати специфіку мінерального складу Кривбасу або щось таке, що визначає процес, що вивчається.

2. В дисертаційній роботі для визначення форми і значення коефіцієнту пульпи використано регресійний аналіз на базі пакету STATGRAPHIC Plus. Чому обрано регресійний аналіз і на чому саме базується пакету STATGRAPHIC Plus?

3. В роботі вказано, що другорядні процеси тонкого грохочення доцільніше розглядати як «випадкові фактори і трактувати їх як зашумленість, ніж розумітися

на їх механізмі». Які саме реальні фізичні чи технологічні явища (наприклад, знос щілин ситової панелі, коливання тиску промивної води чи сегрегація матеріалу) роблять найбільший внесок у цей "шум", і чи можна ними керувати?

4. В роботі автор представляє тонке грохочення як ефективна альтернатива гідроциклонам (оскільки гідроциклони класифікують частинки не лише за розміром, а й за густиною, сприяючи переподрібненню важкого магнетиту). Проте при мокрому грохоченні на високочастотних ситах також присутній ефект сегрегації та гідравлічного опору у шарі пульпи. За рахунок яких факторів на грохоті Stack Sizer вдається досягти вищої селективності розділення саме за геометричним розміром для мінералів із різною питомою вагою (магнетит — 5,2 г/см³, кварц — 2,65 г/см³)?

5. У четвертому розділі запропоновано надрешітні продукти тонкого грохочення 1 і 2 направляти на дільницю підготовки концентрату (вертикальні млини, гідроциклони). Чи не призводить повернення важкозбагачуваних багатих зростків і крупного кварцу в замкнений цикл до їх накопичення та критичного перевантаження млинів? Чи є якісь кількісні показники зміни циркуляційного навантаження для цієї ділянки? Яким є розрахунковий коефіцієнт циркуляції для нової дільниці?»

6. У розділі 1 вказана необхідність розмагнічування живлення грохоту для підвищення ефективності класифікації на 20%. Чи передбачені розмагнічувальні апарати (котушки) безпосередньо перед операціями "Тонке грохочення 1" та "Тонке грохочення 2" у вашій новій схемі в Розділі 4, і яка частота/напруженість поля є оптимальною для руйнування магнітних флоккул перед просіюванням?»

7. В роботі використовуються встановлені ціни на концентрат. Чи чутливий проект до зміни ціни на концентрат, що відбудеться при падінні цін на 15–20%? Чому ставка дисконтування 18,7% і чи не є вона завищеною/заниженою для воєнного часу?

8. У тексті роботи, в таблицях відмічається наявність помилок, некоректних переносів цифр та словосполучень. Трапляються окремі стилістичні помилки.

В цілому зазначені зауваження не зменшують наукового рівня роботи та її практичного значення.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувачки ступеня доктора філософії Невзорова Віталія Валерійовича на тему «Обґрунтування технологічних параметрів тонкого грохочення при збагаченні магнетитових кварцитів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для гірничо-добувної галузі у цілому, і збагачення зокрема.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Невзоров Віталій Валерійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 184 – «Гірництво», за спеціальністю 18 – «Виробництво та технології».

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор,
завідувач відділу термогазодинаміки
енергетичних установок Інституту
технічної механіки Національної
академії наук України і Державного
космічного агентства України



Наталія Прядко

Підпис Прядко Н С. завіряю

Вчений секретар ІТМ НАНУ і ДКАУ



Людмила ЛАПІНА