

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Криворізький національний університет»

РАВІНСЬКА Віта Олегівна

УДК 621.926.4-044.967:[622.765.5:622.34]

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ
РУДНИХ ФЛОКУЛОУТВОРЕНЬ І АГРЕГАТІВ
ПРИ МАГНІТНО-ФЛОТАЦІЙНОМУ ЗБАГАЧЕННІ
МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ**

05.15.08 – збагачення корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Кривий Ріг – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Губін Георгій Вікторович,
ДВНЗ «Криворізький національний університет»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри металургії руд чорних металів та
ливарного виробництва.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Пілов Петро Іванович,
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Міністерства освіти і науки України (м. Дніпро),
професор кафедри технологічного
інжинірингу переробки матеріалів;

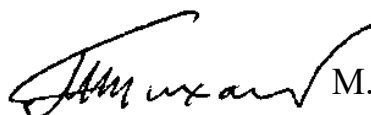
кандидат технічних наук
Хміль Ірина Віталіївна,
ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»
ТОВ «Метінвест Холдінг» (м. Кривий Ріг),
головний збагачувальник.

Захист відбудеться «21» червня 2019 року об 11:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 09.052.03 у ДВНЗ «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 50027, м. Кривий Ріг, вул. В. Матусевича, 11, ауд. 345, тел. (056) 409-06-23.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДВНЗ «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 50002, м. Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 37.

Автореферат розісланий «17» травня 2019 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

 М. П. Тиханський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування напряму досліджень. Україна посідає одне з провідних місць у світі за запасами залізних руд і має потужну гірничорудну галузь, одним із актуальних завдань якої є виробництво високоякісного концентрату й залізрудних котунів. Конкуренція сировини на світовому ринку вимагає негайних заходів із покращення якості залізрудних концентратів і одночасного зниження їх собівартості на українських гірничо-збагачувальних комбінатах. Зберегти своє місце на світовому ринку залізрудні гірничо-збагачувальні комбінати України можуть лише в разі вдосконалення виробництва концентрату, що містить 68–70 % заліза й не більше 2,5 % кремнезему. Підвищення якості магнетитових концентратів можливе за рахунок видалення з поверхні мінералів налиплих шламових частинок і руйнування так званих техногенних зростків. Аналіз основних напрямів і підходів до цього питання показав, що застосування високоенергетичного ультразвуку певної інтенсивності для попереднього оброблення залізрудної пульпи перед флотацією дає змогу збільшити вихід високоякісного концентрату внаслідок дезінтеграції рудних флокулоутворень. Тому вдосконалення технології флотаційного доведення магнетитових концентратів унаслідок формування чистої поверхні мінеральних частинок за рахунок використання комбінації керованого впливу високоенергетичного ультразвуку для підтримки кавітаційних процесів і акустичних течій у пульпі та магнітного поля спадної напруженості є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано відповідно до пріоритетних програм розвитку гірничо-металургійної галузі, що були визначені постановами Кабінету Міністрів України та планами виконання науково-дослідних робіт у ДВНЗ «Криворізький національний університет», а також корпоративними планами розвитку ПрАТ «Полтавський ГЗК». Дисертація є частиною держбюджетних науково-дослідних робіт ДВНЗ «Криворізький національний університет», а саме: «Дослідження впливу динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку на газові бульбашки у пульпі для управління параметрами її газової фази у процесі флотації» (держреєстрація № 0115U003053); «Визначення закономірностей поширення високоенергетичного ультразвуку у неоднорідних середовищах для оптимізації процесів збагачення залізної руди» (держреєстрація № 0118U000119) із вивчення структури мінералів і їх комплексів, закономірностей взаємодії фаз у процесах дроблення, подрібнення, сепарації, роздроблення елементів підвищення якості товарної залізовмісної продукції.

Мета і завдання дослідження. *Метою* роботи є встановлення закономірностей дезінтеграції рудних флокулоутворень і агрегатів при магнітно-флотаційному збагаченні магнетитових кварцитів за рахунок використання комбінації керованого впливу високоенергетичного ультразвуку для підтримки кавітаційних процесів і акустичних течій у пульпі та магнітного поля спадної напруженості для вдосконалення технології флотаційного доведення магнетитових концентратів.

Ідея роботи полягає у використанні низькочастотного високоенергетичного ультразвуку, модульованого високочастотними імпульсами, і магнітного поля спадної напруженості для дезінтеграції рудних флокулоутворень та очищення поверхні

мінеральних частинок для створення ефективних умов флотаційного збагачення сировини.

Досягнення поставленої мети передбачає виконання таких завдань дослідження:

- виконати аналіз сучасних методів підвищення технологічних показників збагачення;
- дослідити процеси зміцнення та знеміцнення обпалених котунів і вплив лужних металів концентратів на механізм цих процесів на ПрАТ «Полтавський ГЗК»;
- проаналізувати динамічні ефекти ультразвуку й умов формування кавітаційних режимів оброблення залізорудної пульпи;
- змодельовати вплив високоенергетичного ультразвуку на потік пульпи;
- розробити метод визначення оптимальної частоти високоенергетичного ультразвуку;
- вивчити промпродукти флотаційного доведення із закріплення тонкодисперсних мінеральних частинок на поверхні зерен;
- розробити пропозиції для видалення шламових покриттів із поверхні мінеральних зерен;
- розробити заходи для вдосконалення технології флотаційного доведення магнетитових концентратів на ПрАТ «Полтавський ГЗК».

Об'єкт дослідження – процеси і технологія флотаційного доведення магнетитових концентратів на ПрАТ «Полтавський ГЗК».

Предмет дослідження – залежності керованості й ефективності ультразвукового випромінювання від характеристик пульпи для створення умов формування чистої поверхні мінеральних частинок при дезінтеграції рудних флокулоутворень.

Методи дослідження. При виконанні дисертації використано комплекс методів досліджень, що включали: узагальнення наукової інформації; рентгенофазовий і мінеральний аналізи руди, продуктів збагачення сировини та котунів; вимірювання електрокінетичного потенціалу поверхні мінералів; гранулометричний аналіз; дослідження способів формування високоенергетичного ультразвуку, а також моделювання й аналіз його динамічних ефектів; технологічні випробування в лабораторних умовах; методи планування експериментів; методи статистичного оброблення результатів досліджень; регресійний і факторний аналіз для встановлення аналітичних закономірностей та обґрунтування раціональних параметрів процесу флотаційного доведення магнетитових концентратів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій підтверджуються коректністю поставлених завдань, використанням ефективних апробованих методів їх розв'язання та статистично значущим обсягом експериментальних досліджень, проведених у лабораторних умовах. Розбіжність між розрахунковими й експериментальними значеннями не перевищує 20 % при довірчому інтервалі 0,95.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Підвищення контрастності технологічних властивостей рудних та нерудних мінералів тонковкраплених і дуже тонковкраплених магнетитових кварцитів

Кременчуцького залізорудного району й підвищення якості магнетитових концентратів обґрунтовуються формуванням чистої поверхні мінеральних частинок при дезінтеграції рудних флокул та мікронних техногенних зростків, що утворилися внаслідок адгезійних взаємодій у силових гідродинамічних, ультразвукових і магнітних полях як результат взаємного неселективного покриття зерен магнетиту, кварцу й силікатів тонкодисперсними частинками мінералів руди розміром 0,001–0,005 мм.

2. Підвищення ефективності флотаційного доведення магнетитових концентратів забезпечується шляхом динамічного керування амплітудно-фазовим розподіленням полів збудження ультразвукової фазованої решітки, що дає змогу підтримувати в залізорудній пульпі кавітаційні процеси та створює умови для дезінтеграції рудних флокулоутворень і агрегатів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- на відміну від наявних положень про утворення техногенних зростків в операціях тонкого подрібнення руд установлено, що застосування вертикальних млинів приводить до зворотного явища – часткового відтирання поверхні мінералів від сторонніх нашарувань унаслідок заміни в цих млинах ударних навантажень стиральними тангенціальними силами руйнування, і це дає можливість розробити технологію переробки пінних продуктів, які отримуються в процесі флотаційного доведення магнетитових концентратів;

- уперше показано, що для видалення з магнетитових концентратів ПрАТ «Полтавський ГЗК» шкідливих домішок (K_2O , Na_2O), які пов'язані із силікатами пустої породи, що потрапляють у концентрат у результаті закріплення тонкодисперсних нерудних частинок розміром 0,001–0,005 мм на поверхні відносно крупних зерен рудних мінералів, необхідно застосувати ультразвукове оброблення інтенсивністю від 1,62 до 2,2 Вт/см², що забезпечить зменшення вмісту K_2O з 0,19 до 0,035–0,04 %, а вмісту Na_2O – з 0,14 до 0,027 %;

- удосконалено метод ультразвукового оброблення залізорудної пульпи, який полягає в підтриманні в ній кавітаційних процесів і акустичних течій під дією високоенергетичного ультразвуку з урахуванням характеристик пульпи, що дає змогу збільшити ефективність очищення від шламових частинок поверхонь мінералів живлення флотації концентратів магнітної сепарації в 1,4–1,8 разу;

- уперше розроблено метод просторового впливу енергій на залізорудну пульпу, який включає дію низькочастотного високоенергетичного ультразвуку, модульованого високочастотними імпульсами, для підтримання кавітаційних процесів і акустичних течій у пульпі та магнітного поля спадної напруженості, що сприяло збільшенню виходу товарного концентрату на 2,37–4,0 % та вилученню заліза загального в концентрат 3,25–3,45 % за рахунок очищення поверхні рудних і нерудних частинок від налипань перед флотацією;

- удосконалено метод ультразвукової дезінтеграції рудних флокулоутворень (агрегацій) перед флотаційним збагаченням залізної руди, який відрізняється від відомих тим, що для зменшення енерговитрат низькочастотний високоенергетичний ультразвук модулюється високочастотними імпульсами, частота яких змінюється в процесі оброблення в діапазоні від 1 до 5 МГц шляхом динамічного керування амплітудно-фазовим розподіленням полів збудження ультразвукової фазованої

решітки, – у такий спосіб обґрунтовується можливість підвищення контрастності технологічних властивостей рудних і нерудних мінералів тонковкраплених та дуже тонковкраплених магнетитових кварцитів ПрАТ «Полтавський ГЗК».

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей налипання тонкодисперсних частинок мінералів руди розміром 0,001–0,005 мм на зернах магнетиту, кварцу й силікатів та утворення техногенних зростків у процесі збагачення тонковкраплених і дуже тонковкраплених залізних руд, їх руйнування ультразвуковими впливами для підвищення ефективності магнітно-флотаційного розділення мінералів.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблено метод визначення оптимальної частоти високоенергетичного ультразвуку на підставі дослідження закономірностей протікання кавітаційних процесів, що дає змогу підтримувати в залізорудній пульпі кавітаційні процеси для дезінтеграції рудних флокулоутворень. Удосконалено технологію флотаційного доведення магнетитового концентрату ПрАТ «Полтавський ГЗК». Ідею дезінтеграції рудних флокулоутворень у потоці пульпи реалізовано в конструкції пристрою на основі ультразвукової фазованої решітки. Техніко-економічним розрахунком визначено позитивні результати запропонованих нововведень. Розрахунок чистої поточної вартості NPV є позитивним та становить 298 503 грн, що засвідчує достатньо ефективні рішення з упровадження вдосконаленої технології флотаційного доведення магнетитових концентратів із застосуванням ультразвукового оброблення продуктів збагачення.

Особистий внесок здобувача полягає в розробленні наукових результатів, винесених на захист, формулюванні мети, ідеї, наукових положень і завдань досліджень, теоретичному й експериментальному обґрунтуванні технології дезінтеграції техногенних зростків при збагачення тонковкраплених та дуже тонковкраплених залізних руд для вдосконалення технології флотаційного доведення магнетитового концентрату ПрАТ «Полтавський ГЗК», перевірці результатів досліджень у лабораторних і промислових умовах.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дослідження були представлені й одержали схвалення на наукових семінарах кафедр металургії чорних металів та ливарного виробництва, збагачення корисних копалин і хімії ДВНЗ «Криворізький національний університет»; на міжнародних науково-технічних конференціях «Сталий розвиток промисловості і суспільства» (м. Кривий Ріг, 2016–2018 рр.), «Качество минерального сырья» (м. Кривий Ріг, 2017–2018 рр.), «IEEE International young scientists forum on applied physics and engineering» (м. Львів, 2017).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в 10 працях, зокрема: 7 статей – у фахових виданнях, 1 з яких – у вітчизняному фаховому виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази SCOPUS; 2 статті – в іноземних виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел зі 127 найменувань на 13 сторінках, 7 додатків на 23 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 248 сторінок, зокрема 186 – основного тексту. Дисертація містить 91 рисунок, 31 таблицю.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, визначено мету й завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** наведено огляд літератури за темою дисертації, виконано аналіз сучасного стану теорії та практики збагачення тонковкраплених і дуже тонковкраплених магнетитових руд, обґрунтовано вибір наукового напрямку роботи.

Показано, що методологічною основою теорії та практики процесів збагачення магнетитових кварцитів є фундаментальні дослідження таких учених, як Г. В. Губін, В. В. Кармазін, П. П. Юров, В. А. Павленко, Л. А. Захарова, Н. А. Гонтаренко, Б. М. Малий, П. І. Пілов, І. К. Младецький, Ю. Л. Грицай та ін. У результаті аналізу їхніх наукових праць встановлено основну причину забруднення концентратів, а саме: погіршення контрастності технологічних властивостей мінералів відбувається за рахунок магнітної флокуляції частинок і утворення мікронних техногенних зростків.

Збільшення якості магнетитових концентратів можливе за рахунок видалення з поверхні мінералів шламових частинок, що закріпились на ній. Показано, що під дією ультразвуку в рідкому середовищі відбуваються фізичні, хімічні й фізико-хімічні процеси: кавітація, радіаційний тиск, акустичні потоки. Аналіз основних напрямів і підходів до інтенсифікації збагачення руди показав, що застосування високоенергетичного ультразвуку певної інтенсивності для попереднього оброблення залізорудної пульпи перед флотацією дає змогу збільшити вихід високоякісного концентрату внаслідок дезінтеграції рудних флокулоутворень.

У **другому розділі** описано механізм утворення техногенних зростків і вторинних утворень у процесах збагачення магнетитових кварцитів Кременчуцького залізорудного району України та встановлено особливості їх текстури і структури. Детально розглянуто речовий склад руд Кременчуцької магнітної аномалії.

У результаті вивчення розподілення шламових частинок на поверхні крупних зерен доведено, що при магнітному збагаченні та подрібненні в млинах тонковкраплених і дуже тонковкраплених магнетитових кварцитів Кременчуцького залізорудного району України й подальшому магнітно-флотаційному доведенні продуктів до високоякісної товарної продукції внаслідок адгезійних взаємодій у силових гідродинамічних, фізичних і магнітних полях має місце взаємне неселективне покриття зерен магнетиту, кварцу й силікатів тонкодисперсними частинками мінералів руди розміром 0,001–0,005 мм (рис. 1). Це приводить до утворення вторинних мікронних техногенних зростків і флокул, із вкрапленням мінеральних зерен із налиплим на їх поверхні тонкодисперсним магнетитом, що погіршує контрастність технологічних властивостей рудних та нерудних мінералів і спричиняє зниження якості концентрату.

На підставі результатів дослідження механізму утворення техногенних зростків і вторинних утворень, на відміну від наявних положень про утворення техногенних зростків в операціях тонкого подрібнення руд, встановлено, що застосування вертикальних млинів приводить до зворотного явища – часткового відтирання поверхні мінералів від сторонніх нашарувань унаслідок заміни в цих млинах ударних навантажень стиральними тангенціальними силами руйнування, що

дає змогу розробити технологію переробки пінних продуктів, які отримуються в процесі флотаційного доведення магнетитових концентратів.

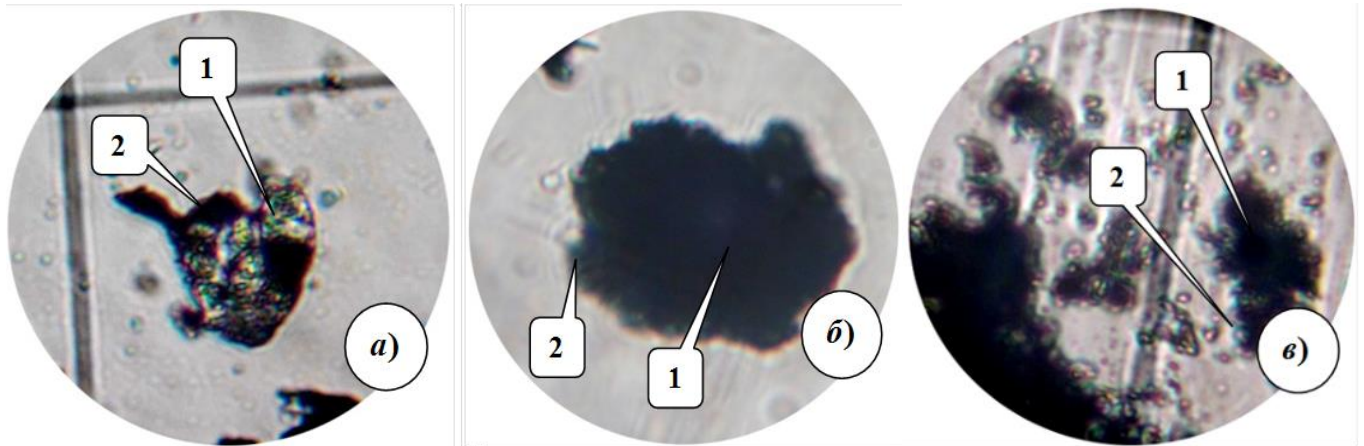


Рис. 1. Налипання дрібних частинок рудних і нерудних мінералів на більших частинках кварцу та магнетиту: *а)* – обліплені частинки кварцу (1) дрібними частинками магнетиту (2); *б)* – ізометричні частинки магнетиту з налиплими на них дрібними рудними частинками; *в)* – частинки магнетиту (1) з налиплими на них дрібними нерудними частинками (2)

Установлено, що при магнітно-флотаційному збагаченні магнетитових кварцитів Кременчуцького залізорудного району, незважаючи на відтирання поверхні мінералів у вертикальних млинах, подальші підготовчі та збагачувальні операції призводять до повторного налипання тонкодисперсних частинок на мінеральні зерна й агрегати в результаті дії гідродинамічних і магнітних полів, що зумовлює підвищений вміст у концентратах кремнезему, оксидів натрію, калію, магнію та кальцію, які знижують металургійну цінність товарної продукції.

У **третьому розділі** наводиться теоретичне обґрунтування використання енерго-технологічних впливів на залізовмісні продукти. Для підвищення якості залізорудних концентратів вирішено задачу збільшення контрастності магнітних і флотаційних властивостей мінералів шляхом дезінтеграції рудних флокул та видалення техногенних зростків із застосуванням керованих впливів магнітного поля й високоенергетичного ультразвуку.

Модель впливу високоенергетичного ультразвуку на потік пульпи створено на підставі розрахунку пристрою формування високоенергетичного ультразвуку з керованими параметрами.

В умовах двовимірного середовища без втрат рівняння поширення ультразвукового сигналу в текучому середовищі в умовах зміни швидкості поширення ультразвуку та зміни щільності мають вигляд

$$\begin{aligned} \rho(r) \frac{\partial u(r,t)}{\partial t} &= -\nabla p(r,t), \\ \frac{1}{\rho(r)c(r)^2} \cdot \frac{\partial p(r,t)}{\partial t} &= -\nabla u(r,t), \end{aligned} \quad (1)$$

де u – вектор коливання швидкості частинки;

p – флуктуації ультразвукового тиску;
 $\rho(r)$ – щільність середовища;
 $c(r)$ – швидкість ультразвуку в середовищі;
 r – вектор координат (x, y) .

Хвильове рівняння другого порядку, яке відповідає виразу (1), має вигляд

$$\nabla \left(\frac{1}{\rho(r)} \nabla p(r, t) \right) - \frac{1}{\rho(r)c(r)^2} \cdot \frac{\partial p(r, t)}{\partial t^2} = 0. \quad (2)$$

Розв'язання наведених вище рівнянь виконано з використанням методу k -space. Для спрощення міркувань вважаємо, що швидкість звуку та щільність є постійними, тобто $\rho(r) = \rho_0$, $c(r) = c_0$.

Просторові похідні з рівняння (1) обчислюються з використанням дискретного перетворення Фур'є й часової ітерації, що реалізуються з використанням методів Адамса – Башфорта й Адамса – Мультона четвертого порядку. Для випадку однорідної швидкості ультразвуку та щільності рівняння (2) можна записати в просторово-частотній області таким чином:

$$\frac{\partial^2 \hat{p}(k, t)}{\partial t^2} = -c_0^2 k^2 \hat{p}(k, t), \quad (3)$$

де $\hat{p}(k, t)$ – двовимірне просторове перетворення Фур'є флуктуації ультразвукового тиску $p(r, t)$.

Дискретне уявлення лівої частини рівняння (2) отримано з використанням методу кінцевих різниць другого порядку. Отже, наближений псевдоспектральний метод описується виразом

$$\frac{p(r, t + \Delta t) - 2p(r, t) + p(r, t - \Delta t)}{(\Delta t)^2} = c_0^2 F^{-1} \left(k^2 F(p(r, t)) \right), \quad (4)$$

де F – оператор двовимірного просторового перетворення Фур'є.

У численних реалізаціях рівняння (3) просторові похідні від правої частини рівняння (2) точно представлені з використанням дискретного перетворення Фур'є.

Застосування експоненціальних коефіцієнтів вимагає оцінювання швидкостей ультразвукової хвилі u_x і u_y за точками сітки з інтервалами $\Delta x/2$ і $\Delta y/2$ відповідно. Отриманий алгоритм має вигляд

$$\frac{u_x(r_1, t^+) - u_x(r_1, t^-)}{\Delta t} = \frac{1}{\rho(r_1)} \cdot \frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^+}_x; \quad \frac{u_y(r_2, t^+) - u_y(r_2, t^-)}{\Delta t} = \frac{1}{\rho(r_2)} \cdot \frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^+}_y;$$

$$\frac{p(r, t + \Delta t) - p(r, t)}{\Delta t} = -\rho(r) c(r)^2 \left(\frac{\partial u_x(r_1, t^+)}{\partial (c_0 \Delta t)^-}_x + \frac{\partial u_y(r_2, t^+)}{\partial (c_0 \Delta t)^-}_y \right) \quad (5)$$

де

$$r_1 = (x + \Delta x / 2, y), \quad r_2 = (x, y + \Delta y / 2),$$

$$t^+ \equiv t + \Delta t / 2, \quad t^- \equiv t - \Delta t / 2. \quad (6)$$

У рівнянні (5) замість коефіцієнта c_0 використано просторово змінювані значення швидкості ультразвуку та густини $c(r)$. Просторове розподілення в рівнянні (6) неявно включається в просторові похідні розглянутих операторів. Наприклад, оператори $\partial / \partial (c_0 \Delta t)^+_x$ і $\partial / \partial (c_0 \Delta t)^-_x$ відповідають похідним, розрахованим після просторових зсувів $\Delta x / 2$ та $-\Delta x / 2$ відповідно.

Розрахунок потужності високоенергетичного ультразвуку, що дає можливість підтримувати кавітаційні процеси в залізорудній пульпі, здійснювався на основі отриманих вище результатів дослідження поширення фронту ультразвукового імпульсу за допомогою пакета HIFU Simulator v1.2.

Результати моделювання підводять до висновку про те, що для підвищення якості очищення часток руди перед флотацією доцільно здійснювати оброблення залізорудної пульпи за допомогою комбінації імпульсного магнітного поля спадної напруженості та високоенергетичного ультразвуку з урахуванням характеристик пульпи для підтримання в ній кавітаційних процесів і акустичних течій. Це сприяє збільшенню ефективності очищення від шламових частинок поверхонь мінералів живлення флотації концентратів магнітної сепарації в 1,4–1,8 разу.

Для зменшення енерговитрат ультразвукову дезінтеграцію рудних флокулоутворень доцільно здійснювати низькочастотним високоенергетичним ультразвуком, що модулюється високочастотними імпульсами, частота яких змінюється в процесі оброблення в діапазоні від 1 до 5 МГц шляхом динамічного керування амплітудно-фазовим розподіленням полів збудження ультразвукової фазованої решітки.

Ультразвукова фазована решітка розглядається як множина точкових джерел ультразвуку, розташованих на однаковій відстані (d) один від одного. При розробленні конструкції досліджено вплив відстані між елементами, довжини хвилі та кількості елементів на керованість і ефективність ультразвукового випромінювання.

Оптимальні параметри ультразвукової фазованої решітки обрано на основі показників, що характеризують діаграму спрямованості ультразвукової фазованої решітки (рис. 2).

Показник ширини (загостреності) головної пелюстки діаграми визначається за формулою

$$q = \frac{1}{\pi} \left(\sin^{-1} \left(\sin \theta_s + \frac{\lambda}{Nd} \right) - \sin^{-1} \left(\sin \theta_s - \frac{\lambda}{Nd} \right) \right). \quad (7)$$

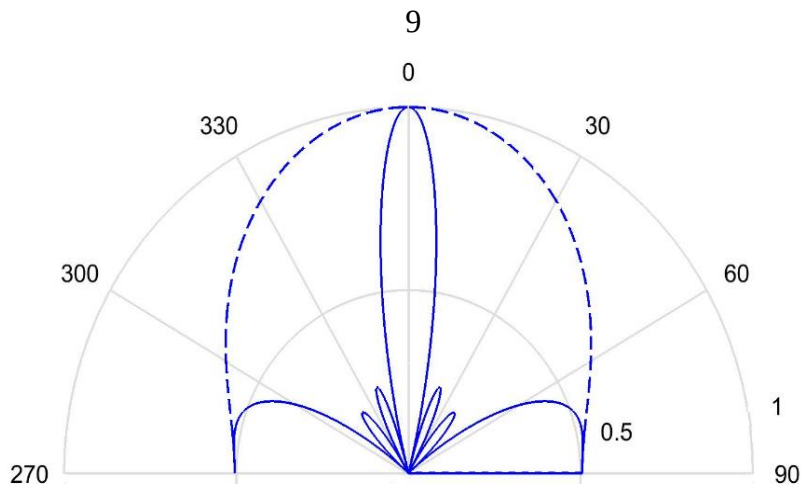


Рис. 2. Діаграма спрямованості ультразвукової фазованої решітки:
 — сумарна; — — — точкового елемента

Кращій спрямованості відповідає менше значення показника q . У разі наближення значення виразу λ/Nd до нуля значення q також прямує до нуля. Отже, кращої спрямованості можна досягти, застосовуючи більшу кількість точкових випромінювальних елементів або збільшуючи відстань між цими елементами.

Відповідно до виразу (7), збільшення кількості елементів ультразвукової фазованої решітки підвищує ефективність. Однак значення показника q різко зменшується при варіюванні кількості п'єзоелементів у фазованій решітці до восьми. А при кількості елементів, що перевищує 32, збільшення їх числа не приносить істотного поліпшення показника q . З урахуванням цієї обставини оптимальною кількістю елементів, з погляду покращення показника направленості фазованої решітки та вартості її виготовлення, є 16.

Тривимірне представлення діаграми спрямованості цієї ультразвукової фазованої решітки наведено на рис. 3. На підставі дослідження закономірностей протікання кавітаційних процесів розроблено метод визначення оптимальної частоти високоенергетичного ультразвуку, що дає змогу підтримувати в залізорудній пульпі кавітаційні процеси для дезінтеграції рудних флокулоутворень.

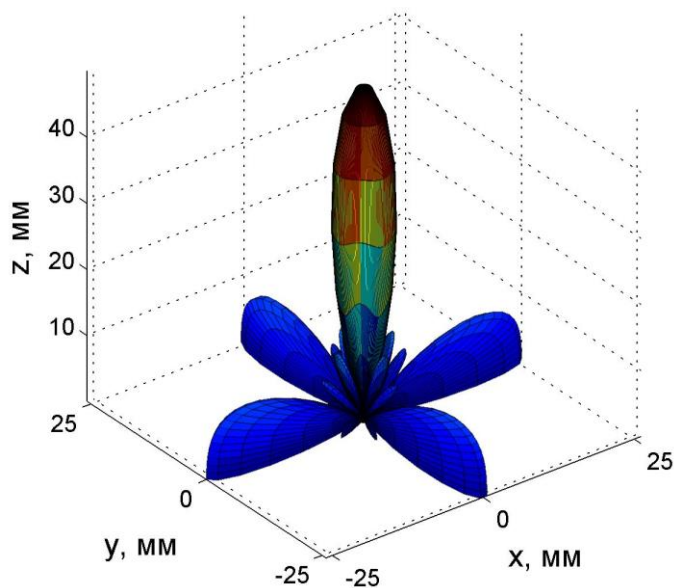


Рис. 3. Діаграма спрямованості ультразвукової фазованої решітки

У четвертому розділі для підтвердження результатів моделювання досліджено проби продуктів із технологічних потоків магнітно-флотаційного збагачення тонко- та дуже тонковкраплених магнетитових кварцитів Кременчуцького залізорудного району. Проби оброблялися з використанням імпульсного магнітного поля спадної напруженості та високоенергетичного ультразвуку в кавітаційному режимі, модульованого височастотними імпульсами. Установлено, що подрібнення у вертикальному млині розкриває зростки нерудних мінералів із магнетитом у вигляді частинок різної крупності. Як показав мінералогічний аналіз, поверхні мінеральних частинок у розвантаженні млина найменш забруднені шламами порівняно з іншими продуктами. Однак розділення в лабораторній експериментальній установці продукту без попереднього ультразвукового оброблення не сприяло значному покращенню якості матеріалу – масова частка $Fe_{\text{заг}}$ в очищеному продукті підвищилася на 0,41 %, тимчасом як після ультразвукового оброблення протягом 60 с з інтенсивністю впливу $1,62 \text{ Вт/см}^2$ якість очищеного продукту підвищилася додатково на 0,4–0,5 % при одночасному підвищенні вилучення магнетиту на 1,1 %.

Ефективність очищення продукту (рис. 4), а саме зливу вертикального млина від нерудних мінералів, розрахована за критерієм Хенкока – Луйкена, при застосуванні ультразвукового оброблення підвищилася на 2,2–2,5 %, або в 1,8–2,1 разу.

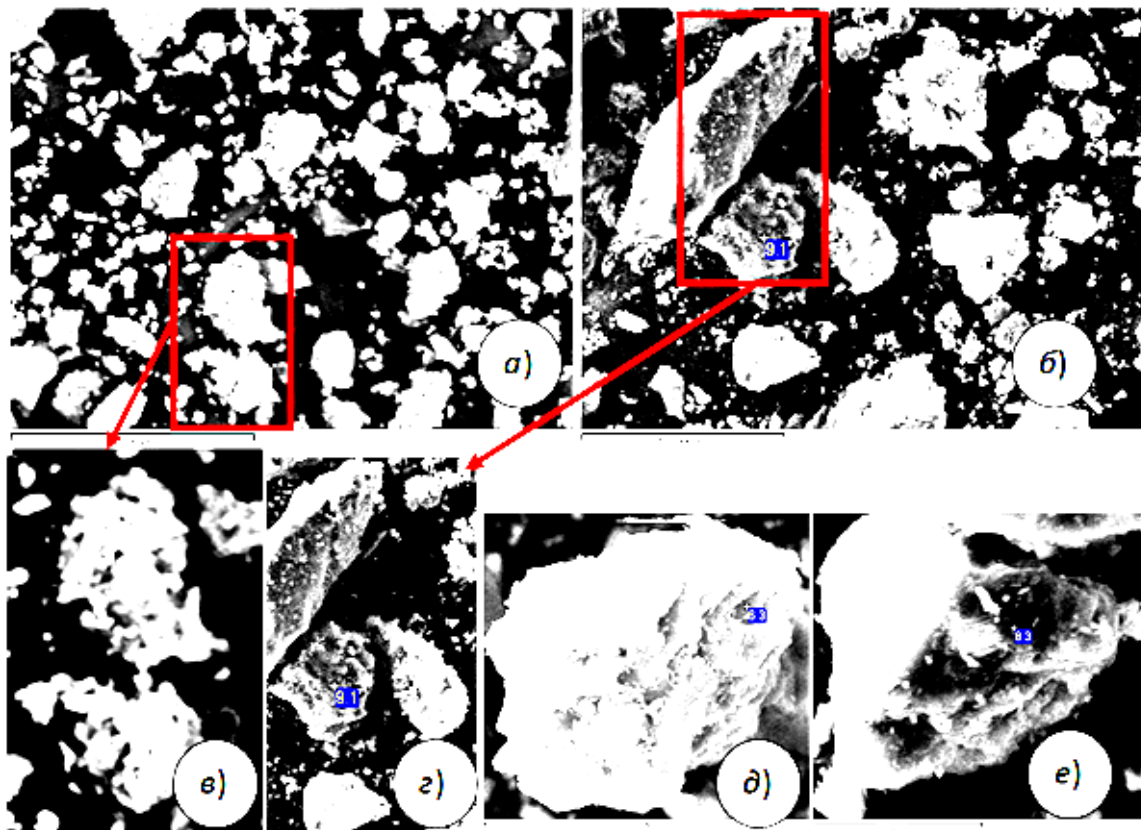


Рис. 4. Електронні фотознімки проб продукту розвантаження млина «Вертиміл» без УЗО (а) та після УЗО (б); в) – частинка магнетиту в матеріалі, але після УЗО; г) – частинка карбонату в матеріалі після УЗО; д), е) – частинка кварцу після УЗО

Ультразвукове оброблення матеріалу з інтенсивністю впливу $1,6 \text{ Вт/см}^2$ і тривалістю до 60 с дало змогу отримати диспергований матеріал із незначною величиною шламових покриттів мінеральних зерен. Із підвищенням інтенсивності ультразвукового впливу до $2,2\text{--}2,95 \text{ Вт/см}^2$ показники очищення продуктів різко знижуються. Ультразвукове оброблення очищує поверхню рудних частинок від усіляких мінеральних покриттів. Однак високі значення ультразвукових впливів змінюють кінематику коливального руху мінеральних частинок, збільшується ймовірність їх зіткнення між собою й газовими бульбашками. Відбуваються зниження поверхневої енергії частинок і коагуляція. Як показали результати експериментів, при високій інтенсивності ультразвукового впливу або при тривалому впливі на пульпу вихід очищеного продукту зростає. Це відбувається за рахунок збільшення вмісту в ньому сфлукуюваних нерудних і рудних мінералів, а якість його при цьому знижується. Наприклад, зі збільшенням ультразвукового оброблення з 60 до 240 с кількість засвоєної пульпою ультразвукової потужності підвищується з $3,5 \text{ Вт}$ до $11,5\text{--}12 \text{ Вт}$, а якість очищуваного продукту знижується. Відбувається дисипація ультразвукової енергії в рідкій фазі пульпи, що є причиною різкого зниження ефективності оброблення.

Аналіз результатів ультразвукового оброблення продукту живлення зворотної флотації магнетиту показав, що зі збільшенням інтенсивності ультразвукового впливу якість відмитого продукту підвищується на $0,3\text{--}0,48 \%$ до досягнення максимуму. При подальшому підвищенні інтенсивності якісні показники знижуються незначною мірою, на відміну від попереднього експерименту, де спостерігалось різке зниження якості. Це пояснюється тим, що продукт характеризується значно меншим вмістом великих нерудних зерен. Оптимальними параметрами оброблення за показником вилучення $\text{Fe}_{\text{заг}}$ у відмитому продукті при очищенні мінеральних частинок є інтенсивність $1,2 \text{ Вт/см}^2$ і час оброблення не більше 60 с. При цьому збільшено вихід товарного концентрату на $2,37\text{--}4,0 \%$ та вилучення заліза загального в концентрат $3,25\text{--}3,45 \%$ за рахунок очищення поверхні рудних і нерудних частинок від налипань перед флотацією. Ефективність відмивання за показником Хенкока – Луйкена підвищується із застосуванням ультразвукового оброблення з $1,7$ до $3,1 \%$, тобто в $1,4\text{--}1,8$ рази.

Також проведено дослідження з ультразвукового оброблення концентрату й відходів флотації. Після ультразвукового оброблення якість флоконцентрату практично не змінюється, а при тривалому обробленні навіть незначною мірою знижується. Це пов'язано з тим, що всі мінеральні зерна інтенсивно очистилися в процесі ультразвукового оброблення, проте, потрапляючи в слабке магнітне поле експериментальної установки, у рідкій фазі ці зерна утворюють магнітні флокули, до складу яких входять бідні залізовмісні силікати. У цьому разі якість кінцевого концентрату не росте, але вихід збільшується.

Аналіз результатів очищення відходів флотаційного доведення магнетитових концентратів показав, що ультразвуковий вплив очищає поверхні мінералів від шламових частинок і загалом диспергує у тверду фазу. Це створює сприятливі умови для видалення нерудних мінералів в експериментальних умовах. Вихід відмитого продукту (відходів) знижується на $1,8\text{--}2 \%$, а з підвищенням інтенсивності

впливу понад $1,62 \text{ Вт/см}^2$ зростає. Масова частка заліза в цьому продукті знижується на 2,2–2,3 %, при цьому ефективність очищення підвищується в 1,4 разу.

Ультразвуковий вплив також знижує масову частку нерудних оксидів в очищених продуктах проб флотаційного доведення (рис. 5). В інтервалі інтенсивності ультразвукового впливу від $1,2$ до $2,2 \text{ Вт/см}^2$ має місце значне зниження концентрації оксидів в очищеному продукті. Концентрація оксидів K_2O , Na_2O , MgO , Al_2O_3 в очищеному продукті знижується в 1,2–3 рази. Подальше збільшення інтенсивності приводить до зниження ефективності ультразвукового впливу.

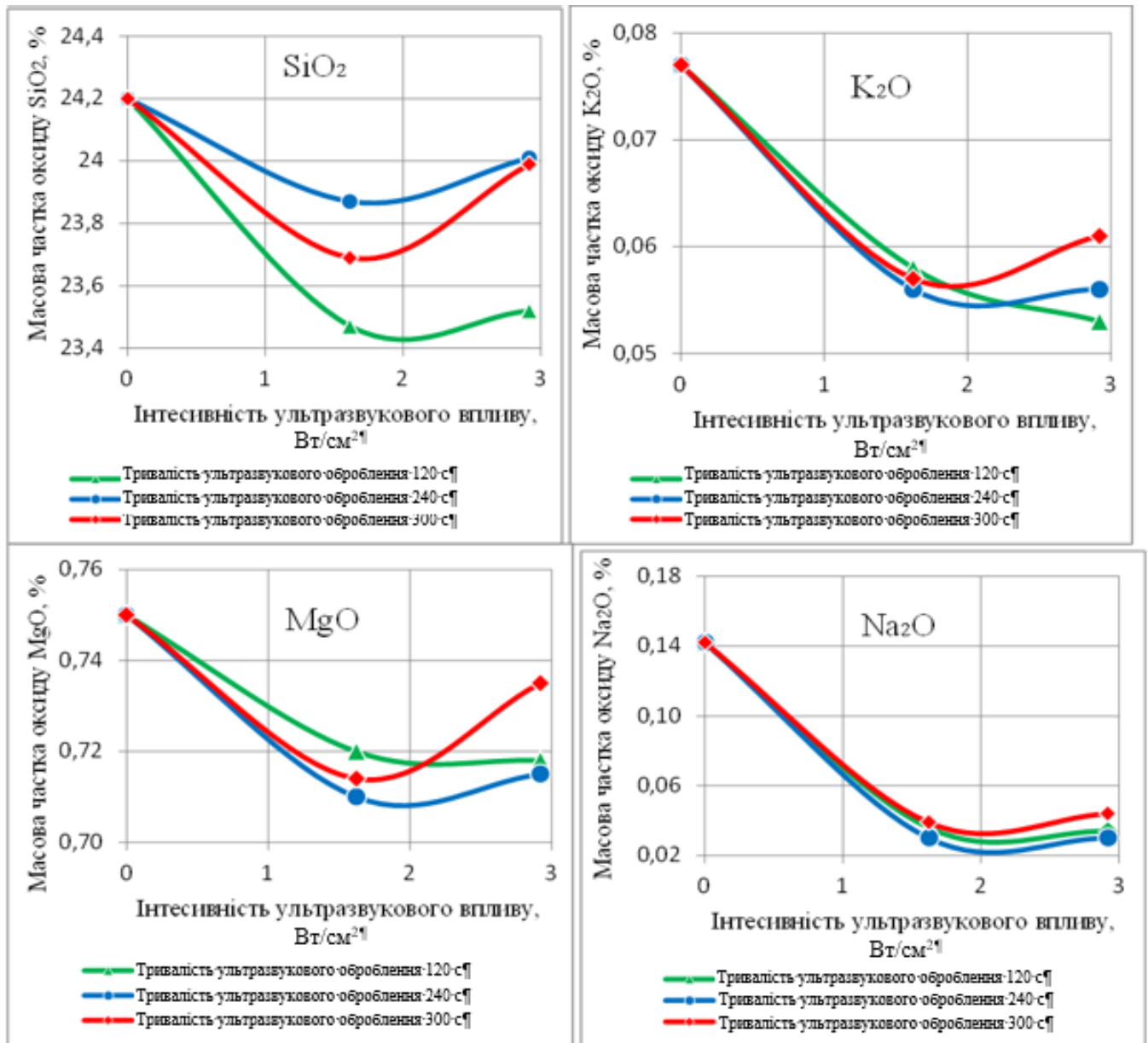


Рис. 5. Залежність масової частки оксидів нерудних мінералів в очищеному продукті проби концентрату флотації від інтенсивності ультразвукового оброблення

У п'ятому розділі розроблено рекомендації щодо варіантів удосконалення технології флотаційного доведення магнетитового концентрату. За першим варіантом ультразвуковому обробленню піддавалися продукти розвантаження вертикальних млинів. За другим варіантом ультразвуковому обробленню піддавалися такі продукти: живлення мокрої магнітної сепарації на ділянках флотації 1–2 та живлення флотації 3. За удосконаленою технологією флотаційного доведення магнетитових концентратів отримано флотаційні концентрати з масовою часткою заліза загального 68,4–68,72 %, що на 0,48–0,52 % більше, ніж у концентратах, отриманих за базовою технологією. При цьому вихід концентрату зріс на 2,37 %. Відповідно збільшено вилучення заліза загального в концентраті на 3,25 % порівняно з базовою технологією. При цьому зниження шкідливих домішок у концентратах становило: діоксиду кремнію – з 4,3 до 3,9 %, оксидів натрію – з 0,14 до 0,027 %, оксиду калію – з 0,19 до 0,035 %, оксиду алюмінію – з 0,9 до 0,76 %.

Виконано оцінювання металургійних властивостей отриманих концентратів. З'ясовано, що високий показник міцності при низькотемпературному відновленні (LTD), який задовольняє експортні вимоги сучасного доменного виробництва, досягається утворенням у неофлюсованих та низькоосновних котунах висококременистого, рівномірно розвиненого в об'ємі котуна силікатного скла не менше 5 %.

Установлено, що аномальному розбуханню сприяють лужні домішки (K_2O , Na_2O). Уважається, що оксиди калію й натрію інтенсифікують процес відновлення, який і є причиною знеміцнення.

Доцільність застосування ультразвукового оброблення пульпи перед флотацією з метою зменшення вмісту шкідливих домішок і підвищення масової частки заліза загального в товарному концентраті підтверджується результатами техніко-економічного розрахунку. Чиста поточна вартість NPV становить 298 503 тис. грн, внутрішня норма прибутковості – 72 %, термін окупності капітальних інвестицій за чистим дисконтованим прибутком – 1 рік 8 місяців.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, у якій розв'язано актуальне науково-практичне завдання наукового обґрунтування закономірностей дезінтеграції рудних флокулоутворень і агрегатів при магнітно-флотаційному збагаченні магнетитових кварцитів за рахунок використання комбінації низькочастотного високоенергетичного ультразвуку, модульованого високочастотними імпульсами, для підтримання кавітаційних процесів і акустичних течій у пульпі та магнітного поля спадної напруженості для вдосконалення технології флотаційного доведення магнетитових концентратів.

1. Доведено, що підвищення контрастності технологічних властивостей рудних і нерудних мінералів тонковкраплених та дуже тонковкраплених магнетитових кварцитів Кременчуцького залізорудного району та підвищення якості магнетитових концентратів обґрунтовуються формуванням чистої поверхні мінеральних частинок при дезінтеграції рудних флокул і мікронних техногенних

зростків, що утворилися внаслідок адгезійних взаємодій у силових гідродинамічних, фізичних і магнітних полях як результат взаємного неселективного покриття зерен магнетиту, кварцу й силікатів тонкодисперсними частинками мінералів руди розміром 0,001–0,005 мм.

2. На відміну від сучасних положень про утворення техногенних зростків в операціях тонкого подрібнення руд доведено, що застосування вертикальних млинів приводить до зворотного явища – часткового відтирання поверхні мінералів від сторонніх нашарувань унаслідок заміни в цих млинах ударних навантажень стиральними тангенціальними силами руйнування, що дає змогу розробити технологію переробки пінних продуктів, які отримуються в процесі флотаційного доведення магнетитових концентратів.

3. Установлено, що при магнітно-флотаційному збагаченні магнетитових кварцитів Кременчуцького залізорудного району, незважаючи на відтирання поверхні мінералів у вертикальних млинах, подальші підготовчі та збагачувальні операції призводять до повторного налипання тонкодисперсних частинок на мінеральні зерна й агрегати в результаті дії гідродинамічних і магнітних полів, що зумовлює підвищений вміст у концентратах кремнезему, оксидів натрію, калію, магнію та кальцію, які знижують металургійну цінність товарної продукції.

4. Доведено, що підвищення ефективності флотаційного доведення магнетитових концентратів забезпечується шляхом динамічного керування амплітудно-фазовим розподіленням полів збудження ультразвукової фазованої решітки, що дає змогу підтримувати в залізорудній пульпі кавітаційні процеси та створює умови для дезінтеграції рудних флокулоутворень і агрегатів.

5. Показано, що для видалення з магнетитових концентратів ПрАТ «Полтавський ГЗК» шкідливих домішок (K_2O , Na_2O), пов'язаних із силікатами пустої породи, що потрапляють у концентрат у результаті закріплення тонкодисперсних нерудних частинок розміром 0,001–0,005 мм на поверхні відносно крупних зерен рудних мінералів, необхідно застосувати ультразвукове оброблення інтенсивністю від 1,62 до 2,2 Вт/см², це сприятиме зменшенню вмісту K_2O з 0,19 до 0,035–0,04 %, а вмісту Na_2O – з 0,14 до 0,027 % і тим самим збільшенню міцності котунів.

6. Для дезінтеграції рудних флокулоутворень та очищення поверхні рудних частинок перед флотаційним збагаченням розроблено метод ультразвукового оброблення залізорудної пульпи, який полягає в підтриманні в ній кавітаційних процесів і акустичних течій під дією високоенергетичного ультразвуку з урахуванням характеристик пульпи, що дає змогу збільшити ефективність очищення від шламових частинок поверхонь мінералів живлення флотації концентратів магнітної сепарації в 1,4–1,8 разу.

7. Розроблено метод просторового впливу енергій на залізорудну пульпу, який включає дію низькочастотного високоенергетичного ультразвуку, модульованого високочастотними імпульсами, для підтримання кавітаційних процесів і акустичних течій у пульпі та магнітного поля спадної напруженості, що збільшило вихід товарного концентрату на 2,37–4,0 % та вилучення заліза загального в концентрат 3,25–3,45 % за рахунок очищення поверхні рудних і нерудних частинок від налипань перед флотацією.

8. На підставі дослідження закономірностей протікання кавітаційних процесів розроблено метод визначення оптимальної частоти високоенергетичного ультразвуку, що дає змогу підтримувати в залізорудній пульпі кавітаційні процеси для дезінтеграції рудних флокулоутворень.

9. Удосконалено метод ультразвукової дезінтеграції рудних флокулоутворень (агрегацій) перед флотаційним збагаченням залізної руди, який відрізняється від відомих тим, що для зменшення енерговитрат низькочастотний високоенергетичний ультразвук модулюється високочастотними імпульсами, частота яких змінюється в процесі оброблення в діапазоні від 1 до 5 МГц шляхом динамічного керування амплітудно-фазовим розподіленням полів збудження ультразвукової фазованої решітки, у такий спосіб обґрунтована можливість підвищення контрастності технологічних властивостей рудних і нерудних мінералів тонковкраплених та дуже тонковкраплених магнетитових кварцитів ПрАТ «Полтавський ГЗК».

10. Ідею дезінтеграції рудних флокулоутворень у потоці пульпи реалізовано в конструкції пристрою на основі ультразвукової фазованої решітки. Техніко-економічним розрахунком визначено позитивні результати запропонованих нововведень. Розрахунок чистої поточної вартості NPV є позитивним і становить 298 503 грн, що свідчить про достатню ефективність рішень щодо впровадження вдосконаленої технології флотаційного доведення магнетитових концентратів із застосуванням ультразвукового оброблення продуктів збагачення. Внутрішня норма прибутковості IRR становить 72 % та додатково підтверджує економічну ефективність розроблених технічних рішень. Термін окупності капітальних інвестицій за чистим дисконтованим прибутком – 1 рік 8 місяців.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Ravinskaia V. High-energy ultrasound to improve the quality of purifying the particles of iron ore in the process of its enrichment / V. Morkun, G. Gubin, T. Oliinyk, V. Lotous, V. Ravinskaia, V. Tron, N. Morkun, M. Oliinyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6, № 12(90). – P. 41–51. (*Видання включено до міжнародної наукометричної бази SCOPUS*).

2. Равинская В. О. Применение ультразвука для очистки поверхности измененных минеральных частиц перед флотацией / Г. В. Губин, В. В. Ткач, В. О. Равинская // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. – Кривой Рог, 2017. – Т. 1. – С. 341–349.

3. Равінська В. О. Моделювання впливу ультразвукового сигналу в середовищі для розробки нової технології рудопідготовки залізорудної сировини / В. С. Моркун, Г. В. Губін, Т. А. Олійник, В. В. Тронь, В. О. Равінська // Збагачення корисних копалин. – Дніпро, 2018. – Вип. 69(110). – С. 95–109.

4. Равинская В. О. Пути дальнейшего повышения качества железорудных концентратов на ЧАО «Полтавский ГОК» в современных условиях / Г. В. Губин,

В. А. Хованец, В. В. Лотоус, В. О. Равинская // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1(81). – С. 232–239.

5. Равинская В. О. Анализ и обобщение результатов испытаний применения органических связок при производстве железорудных окатышей / А. А. Кириченко, В. В. Деметков, А. Е. Федотов, В. О. Равинская // Горный журнал Казахстана. – 2017. – № 12. – С. 28–33.

6. Равинская В. О. Современные высокоэффективные методы измельчения руды в слое и их влияние на топологию традиционных технологических схем // Г. В. Губин, В. О. Равинская, В. И. Головань // Горный журнал Казахстана. – 2018. – № 1. – С. 10–23.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

7. Равинская В. О. Оценка показателей качества железорудного сырья и их влияния на работу доменной печи / Г. В. Губин, С. Г. Савельев, В. О. Равинская // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. – Кривой Рог, 2017. – Т. 1. – С. 83–91.

8. Равинская В. О. К вопросу об образовании техногенных сростков / Г. В. Губин, В. В. Лотоус, В. О. Равинская // Процессы литья. – 2018. – № 3(129). – С. 3–8.

9. Ravinskaya V. O. Optimization of High-Energy Ultrasound Source Parameters for Cavitation Disintegration of Ore Floccules Before Floatation // V. Morkun, V. Tron, V. O. Ravinskaya // 2017 IEEE International young scientists forum on applied physics and engineering (YSF-2017). – Lviv, 2017. – P. 96–99.

10. Равинская В. О. Система контроля качества продукции на Полтавском ГОК // А. С. Красуля, В. С. Мартыненко, В. А. Зенин, В. О. Равинская // Горный журнал. – 2010. – № 1. – С. 25–27.

Внесок автора в праці, опубліковані у співавторстві:

У працях [1; 3; 7; 8] – виконано аналіз досвіду попередніх наукових досліджень технологій та обладнання, сформовано й обґрунтовано наукове завдання досліджень дезінтеграції рудних флокулоутворень і агрегатів; [1; 2; 3; 9] – проаналізовано проблеми та перспективи застосування ультразвукового оброблення пульпи для розроблення нової технології рудопідготовки залізорудної сировини й розроблення математичної моделі, встановлено закономірності впливу змінних факторів на процеси дезінтеграції флокулоутворень та очищення поверхонь зерен; [4; 5; 6; 10] – систематизовано результати експериментальних досліджень і виконано їх аналіз; [5; 6] – узагальнено теоретичні та практичні результати досліджень.

АНОТАЦІЯ

Равінська В. О. Обґрунтування технології дезінтеграції рудних флокулоутворень і агрегатів при магнітно-флотаційному збагаченні магнетитових кварцитів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.08 – збагачення корисних копалин. – Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України, Кривий Ріг, 2019.

Дисертація присвячена науковому обґрунтуванню закономірностей дезінтеграції рудних флокулоутворень і агрегатів при магнітно-флотаційному збагаченні магнетитових кварцитів за рахунок використання комбінації високоенергетичного ультразвуку в кавітаційному режимі та імпульсного магнітного поля спадної напруженості.

Підвищення контрастності технологічних властивостей рудних і нерудних мінералів тонковкраплених і дуже тонковкраплених магнетитових кварцитів Кременчуцького залізорудного району та підвищення якості магнетитових концентратів обґрунтовуються формуванням чистої поверхні мінеральних частинок при дезінтеграції рудних флокул і мікронних техногенних зростків, що утворилися внаслідок адгезійних взаємодій у силових гідродинамічних, фізичних і магнітних полях як результат взаємного неселективного покриття зерен магнетиту, кварцу й силікатів тонкодисперсними частинками мінералів руди розміром 0,001–0,005 мм.

Удосконалено технологію флотаційного доведення магнетитового концентрату ПрАТ «Полтавський ГЗК». За удосконаленою технологією флотаційного доведення магнетитових концентратів збільшено вихід товарного концентрату на 2,37–4,0 % та вилучення заліза загального в концентрат 3,25–3,45 % за рахунок очищення поверхні рудних і нерудних частинок від налипань перед флотацією.

Ключові слова: ультразвуковий вплив; флокули; очищення мінералів; магнетитові кварцити; кавітаційний режим; техногенні зростки; флотаційне збагачення.

АННОТАЦИЯ

Равинская В. О. Обоснование технологи дезинтеграции рудных флокулообразований и агрегатов при магнитно-флотационном обогащении магнетитовых кварцитов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.08 – обогащение полезных ископаемых». – ГВУЗ «Криворожский национальный университет» Министерства образования и науки Украины, Кривой Рог, 2019.

Диссертация посвящена научному обоснованию закономерностей дезинтеграции рудных флокул и агрегатов при магнитно-флотационном обогащении магнетитовых кварцитов за счет использования комбинации высокоэнергетического ультразвука в кавитационном режиме и импульсного магнитного поля нисходящей

напряженности для совершенствования технологии флотационной доводки магнетитовых концентратов.

Повышение контрастности технологических свойств рудных и нерудных минералов тонковкрапленных и очень тонковкрапленных магнетитовых кварцитов Кременчугского железорудного района и повышение качества магнетитовых концентратов обосновываются формированием чистой поверхности минеральных частиц при дезинтеграции рудных флокул и микронных техногенных сростков, образовавшихся в результате адгезионных взаимодействий в силовых гидродинамических, физических и магнитных полях как результат взаимного неселективного покрытия зерен магнетита, кварца и силикатов тонкодисперсными частицами минералов руды размером 0,001–0,005 мм.

В отличие от современных положений об образовании техногенных сростков в операциях тонкого измельчения руд, применение вертикальных мельниц приводит к обратному явлению – частичному оттиранию поверхности минералов от посторонних наслоений вследствие замены в этих мельницах ударных нагрузок стирающими тангенциальными силами разрушения, что позволяет разработать технологию переработки пенных продуктов, получаемых в процессе флотационной доводки магнетитовых концентратов.

Усовершенствована технология флотационной доводки магнетитового концентрата ЧАО «Полтавский ГОК». Согласно усовершенствованной технологии, увеличен выход товарного концентрата на 2,37–4,0 % и извлечение железа общего в концентрат 3,25–3,45 % за счет очистки поверхности рудных и нерудных частиц от налипаний перед флотацией. При этом снижение вредных примесей составило: диоксида кремния – с 4,3 до 3,9 %, оксида натрия – с 0,14 до 0,027 %, оксида натрия з 0,19 до 0,035 %, оксида алюминия – с 0,9 до 0,76 %.

Идея дезинтеграции рудных флокул в потоке пульпы реализована в конструкции устройства на основе ультразвуковой фазированной решетки. Усовершенствован метод ультразвуковой дезинтеграции рудных флокулообразований перед флотационным обогащением железосодержащих продуктов. Метод отличается от известных тем, что для уменьшения энергозатрат низкочастотный высокоэнергетический ультразвук модулируется высокочастотными импульсами. Частота импульсов изменяется в процессе обработки в диапазоне от 1 до 5 МГц путем динамического управления амплитудно-фазовым распределением полей возбуждения ультразвуковой фазированной решетки.

Технико-экономическим расчетом определены положительные результаты предлагаемых нововведений, а именно: расчет чистой текущей стоимости NPV является положительным и составляет 298 503 грн. Внутренняя норма доходности IRR составляет 72 % и дополнительно подтверждает экономическую эффективность разработанных технических решений. Срок окупаемости капитальных инвестиций по чистой дисконтированной прибыли – 1 год 8 месяцев.

Ключевые слова: ультразвуковое воздействие; флокулы; очистка минералов; магнетитовые кварциты; кавитационный режим; техногенные сростки; флотационное обогащение.

ABSTRACT

Ravinska V. O. The disintegration technology justification of the ore flocculation units and aggregates under the magnetic-flotation enrichment of magnetite quartzite. Manuscript copyright.

The thesis for the Degree of Candidate of Technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.15.08 – enrichment of minerals. – State higher educational institution «Kryvyi Rih National University» Ministry of Education and Science of Ukraine, Kryvyi Rih, 2019.

The dissertation is devoted to the scientific justification of the regularities of ore flocculation units and aggregates disintegration under the magnetic-flotation enrichment of magnetite quartzite due to the use of a combination of high power ultrasound in cavitation mode and pulsed magnetic field of descending tension.

Increasing the contrast of the technological properties of the ore and non-metallic minerals of finely dispersed and very finely dispersed magnetite quartzite of Kremenchuk iron ore region and improving the quality of magnetite concentrates are based on the formation of a clean surface of mineral particles under the disintegration of ore floccules and micron technogenic intergrown pieces formed as a result of adhesion interactions in force hydrodynamic, physical and magnetic fields, as a result of a mutual nonselective coating of magnetite's grains, quartz and silicates of finely-dispersed ore minerals particles in size 0,001–0,005 mm.

The technology of the magnetite concentrate flotation at PJSC «Poltava GOK» is improved. According to the improved magnetite concentrate flotation technology the output of the commercial concentrate is increased by 2.37–4.0 % and the total iron extraction in the concentrate is 3.25–3.45 % due to the cleaning of the surface of the ore and non-metallic particles from sticking before flotation.

Key words: ultrasonic impact; floccules; mineral purification; magnetite quartzite; cavitation mode; technogenic intergrown pieces; flotation enrichment.

РАВІНСЬКА Віта Олегівна

**Обґрунтування технології дезінтеграції рудних флокулоутворень
і агрегатів при магнітно-флотаційному збагаченні
магнетитових кварцитів**

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.15.08 – збагачення корисних копалин

Підписано до друку 15.05.2019.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. – 1,17. Авт. арк. – 0,9.

Тираж 100 пр.

Друкарня С. Г. Щербенка «Літерія»
вул. Рокоссовського, 5, 3, м. Кривий Ріг, 50027

Тел. 097-192-20-77

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК № 4561 від 13.06.2013