

РЕЦЕНЗІЯ
на дисертаційну роботу
Румницького Дмитра Олександровича

на тему: «ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАВІТАЦІЙНОГО
ЗБАГАЧЕННЯ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ У СПІРАЛЬНИХ СЕПАРАТОРАХ»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 184 – «Гірництво»
в галузі знань 18 – «Виробництво та технології»

Актуальність теми дисертації.

У сучасних умовах розвитку гірничо-металургійного комплексу спіральна сепарація посідає чільне місце серед методів гравітаційного збагачення завдяки своїй екологічності, відсутності хімічних реагентів та низькій енергоємності.

Широке впровадження спіральних сепараторів у практику збагачення магнетитових руд потребує нових підходів до керування процесом розділення.

Актуальність теми зумовлена необхідністю оптимізації процесів збагачення залізорудної сировини в апаратах спірального типу, що відзначаються високою економічною ефективністю. Ключовим бар'єром на шляху до максимального вилучення заліза є недостатня вивченість поведінки багатофазних суспензій у криволінійних потоках.

У дисертаційному дослідженні вперше системно пов'язано температурно-в'язкісні характеристики пульпи з траєкторіями руху мінеральних частинок. Використання сучасних методів обчислювальної гідродинаміки (CFD) дозволило автору сформулювати науково обґрунтовані рішення, які забезпечують стабільність технологічних показників збагачення магнетитових кварцитів у промислових масштабах. Наукове обґрунтування цих рішень підкріплене чисельним моделюванням, дозволило розробити практичні заходи для ГЗК, спрямовані на підвищення якості товарного концентрату та зниження техногенного навантаження.

Тому обрана тема дисертації є актуальною та важливою.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

У дисертаційній роботі Д. О. Румницького вперше отримано такі наукові результати:

- 1) при спіральній гравітаційній сепарації кварц-магнетитової пульпи, як двофазної суміші мінеральних частинок та рідини, запропоновано новий спосіб розрахунку ефективної в'язкості пульпи, який враховує

полімодальний гранулометричний склад суспензії, стисненість рідини в міжчастинковому просторі та вплив форми частинок, що дозволило оцінити підвищення ефективності розділення магнетиту та кварцу на рівні 18-21% за рахунок зменшення ефективної в'язкості пульпи у потоці на поверхні спірального сепаратору;

- 2) доведено, що швидкість руху частинок різної крупності магнетитової суспензії при її збагаченні у спіральному сепараторі визначається кінематичною в'язкістю суспензії і залежить від зміни температури, що дозволило визначити показники збагачення магнетитової руди й уникнути додаткових втрат цінних компонентів, а саме максимальне вилучення заліза у концентрат 74,08-82,08 % при масовій частці заліза загального 68,05-69,03 % мають місце у визначеному оптимальному діапазоні температури пульпи – 28-30 °C;
- 3) для прогнозування сегрегації частинок у спіральних сепараторах при збагаченні магнетитових руд розроблена методика моделювання спіральної сепарації, яка ґрунтується на застосуванні математичного апарата чисельної гідродинаміки (ейлерова мультифлюїдна модель VOF з урахуванням підйомної сили Бегнольда), що дозволило визначити гідродинамічні параметри потоку суспензії і встановити, що зменшення кривизни профілю поперечного перерізу спірального жолоба з параболічною геометрією поперечного перерізу до слабо похилого, сприяє збільшенню ефективності сегрегації дрібних фракцій мінеральних частинок на 5,48-7,45%.
- 4) при гравітаційному збагаченні магнетитових руд у спіральних сепараторах на підставі чисельного моделювання потоку твердих частинок встановлені закономірності сегрегації мінеральних частинок за густиною та висотою спірального потоку малої товщини, що дозволило підвищити ефективність процесу сегрегації мінеральних частинок з 0,69 до 0,87 при збільшенні масової частки твердого в живленні з 20 % до 35 % при використанні спірального сепаратору з параболічною геометрією поперечного перерізу і з 0,73 до 0,94 у разі використання сепаратору з профілем поперечного перерізу у вигляді кривої слабо похилої.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання, обґрунтування та розроблення технологічних рекомендацій щодо впровадження у гірничо-збагачувальному виробництві технології гравітаційного збагачення магнетитових кварцитів у спіральних сепараторах, виконано повністю, здобувач продемонстрував упевнене володіння методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача, Румницького Дмитра Олександровича, повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 184 – Гірництво та тематичним напрямам науково-дослідницьких робіт, що виконуються у Криворізькому національному університеті.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям гірничо-металургійної галузі.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота, Румницького Дмитра Олександровича, є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Дисертаційна робота складається з анотації (українською та англійською мовами), вступу, де визначено актуальність, новизну, мету і завдання дослідження, чотирьох розділів із висновками до кожного з них, загальних висновків, списку використаної літератури та додатку з науковими публікаціями і участі у конференціях дисертанта.

В дисертації для виконання мети досліджень сформовані задачі, які послідовно розкриваються від розділу до розділу.

Відмічається доступність викладання матеріалу та використання загальноприйнятої термінології.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації 223 сторінки.

У вступі дисертації зазначено мету дослідження, що полягає у обґрунтування технологічних параметрів гравітаційного збагачення магнетитових кварцитів на підставі встановлення залежностей ефективної в'язкості магнетитової суспензії від крупності частинок та температури пульпи, як двофазної суміші мінеральних частинок та рідини з різною щільністю та закономірностей сегрегації та руху частинок у спіральному сепараторі за рахунок чисельного моделювання гідродинаміки процесу.

Я вважаю, що вказана мета дослідження чітко демонструє відношення даної роботи до сфери гірничо-металургійної галузі та підкріплена добре сформованим списком завдань, об'єктом і предметом дослідження.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, визначено основні задачі дослідження, обґрунтовано наукову новизну і практичну значимість роботи.

Основні результати дисертаційної роботи Д. О. Румницького викладено у розділах 1-4 дисертації.

У першому розділі автором проведений аналіз теоретичних і практичних аспектів використання спіральних сепараторів для збагачення залізних руд. Ним показано, що на сучасному етапі залишається актуальною проблема ефективного отримання кондиційної продукції під час переробки різних видів мінеральної сировини. Необхідність удосконалення процесів гравітаційного збагачення, особливо для матеріалів дрібної крупності, зумовлена залученням до переробки дедалі різноманітніших за речовинним складом руд.

Встановлено, що ефективність традиційних гравітаційних методів суттєво обмежується при обробці тонкодисперсних фракцій. У зв'язку з цим актуальним є спрямування наукових досліджень і практичних розробок на впровадження інноваційних підходів до інтенсифікації процесів гравітаційного збагачення та підвищення їх результативності.

Обґрунтовано роль в'язкості суспензії як критичного фактора, що визначає стан дисперсної фази, швидкість осадження частинок та енергоефективність транспортування пульпи. Це підтверджує актуальність розробки нових технологічних рішень для руд із широким гранулометричним складом.

Наприкінці розділу сформульовано висновки, які обґрунтовують актуальність обраного напрямку досліджень, визначено мету, завдання дослідження, об'єкт і предмет дисертаційної роботи, а також окреслено основні завдання, що потребують розв'язання у подальших розділах.

Другий розділ присвячений теоретичному аналізу досліджень реології пульпи та визначено мікрореологічні моделі, що враховують гідродинамічну взаємодію та сили міжчастинкового впливу.

Встановлено, що ключовими факторами течії суспензій є броунівський рух, агрегація частинок та ефекти взаємодії полів течії за високих концентрацій твердого. Доведено необхідність врахування середнього ефективного діаметра частинок, оскільки класичні моделі на основі лише об'ємної концентрації є недостатньо точними.

Обґрунтовано, що ігнорування фактичного гранулометричного складу призводить до похибок у визначенні в'язкості, яка може змінюватися у 1,5–2 рази. Виявлено, що надмірна в'язкість прямо пропорційна частці твердої фази та обернено пропорційна об'єму вільної рідини в системі.

Підтверджено вплив полімодального складу та морфології частинок на реологічні показники, що зумовлює відмінності у значеннях в'язкості в десятки відсотків.

Вперше запропоновано комплексний метод розрахунку в'язкості магнетитової пульпи, що враховує стисненість рідини та форму зерен у спіральному потоці. Експериментально доведено обернено пропорційну

залежність в'язкості від вмісту класу +0,1 мм при концентраціях твердого від 10 % до 70 %.

Встановлено також значний вплив температури пульпи: оптимальні умови збагачення досягаються у діапазоні 28–50 °С. Контроль температури у виробничих умовах дозволяє зменшити втрати цінних компонентів, особливо взимку, коли низька температура технічної води суттєво підвищує в'язкість.

Розділ третій презентує результати математичного моделювання здобувачем. Розраховані гідродинамічні та кінематичні характеристики потоку, придатні для оптимізації конструктивних параметрів сепаратора і режимів його роботи. Створено тривимірну модель течії методом скінченних елементів (FEM), що відкриває перспективи подальшої деталізації процесу: локалізації зон турбулентності, аналізу концентраційних профілів та умов формування зон збагачення. Модель має потенціал інтеграції із сучасними середовищами чисельного аналізу, такими як OpenFOAM або COMSOL, через обмін mesh-форматами з FreeFEM++.

Результати CFD-розрахунків були експериментально підтверджені: відносна похибка між модельними та лабораторними даними не перевищила 3,6%, що є нижчим за типовий інженерний рівень похибки (5–10%).

Розроблена здобувачем чисельна модель спіральної сепарації базується на системі рівнянь нерозривності та збереження імпульсу, модифікованих з урахуванням багатофазності потоку, генерації та дисипації турбулентної енергії, а також рівнянь балансу сил, що діють на мінеральні частинки.

У **четвертому розділі** представлено результати промислових випробувань на базі реального виробництва та доведено високу ефективність спіральної сепарації при переробці пісків II стадії класифікації. Автором визначено оптимальні режимні параметри (зокрема, положення відсікача на рівні 95 мм), що дозволяють стабільно отримувати концентрат із вмістом $Fe_{заг.} > 68\%$.

Доведено принципову можливість отримання високоякісних концентратів із наднизьким вмістом діоксиду кремнію $SiO_2 < 2\%$ безпосередньо з підRESHІтних продуктів тонкого грохочення, що відкриває шлях до спрощення технологічних схем збагачення.

Рецензент відзначає глибокий аналіз, проведений здобувачем, впливу фізико-хімічних властивостей пульпи. Ним оцінено негативний вплив сезонного зниження температури води: зростання в'язкості у 1,9 раза призводить до суттєвих втрат заліза 11,54% та зниження якості концентрату, що має критичне значення для стабільності роботи ГЗК у зимовий період.

Практична цінність роботи підкріплена розрахунками річного економічного ефекту, який для рекомендованого варіанту схеми перевищує 90 млн грн. Запропонована стратегія дозволяє одночасно знизити навантаження на секції подрібнення (на 10–12%) та диференціювати продукцію на концентрат вищого та першого сортів.

У висновках узагальнено результати проведеного дослідження, підсумовано виконану роботу та наведено основні наукові й практичні положення, отримані в процесі дослідження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Основні положення та результати дослідження були представлені й одержали схвалення на наукових семінарах кафедри збагачення корисних копалин і хімії Криворізького національного університету.

Наукові результати дисертації висвітлені у 5 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus, віднесених до четвертого квартиля Q4. Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях: на міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток промисловості і суспільства» (м. Кривий Ріг, 2025, 2026 pp.), «І Всеукраїнська студентська науково-практична WEB конференція «Технології гірництва –виклики, перспективи, інновації» (м. Кривий Ріг, 2026 p.), «Future of science: innovations and perspectives. Proceedings of the 12th International scientific and practical conference» (Stockholm, Sweden, 2025).

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повною мірою пройшли апробацію і висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Потребує роз'яснення чи враховано специфіку мінерального складу магнетитових руд при застосуванні узагальнених реологічних моделей.
2. При аналізі впливу форми частинок використано еліпсоїди обертання, проте реальні зерна магнетиту та кварцу мають більш складну морфологію, що може знижувати точність моделі.
3. У роботі для більш детального розгляду впливу в'язкості суспензії на показники збагачення магнетитових руд розглянуто моделі залежності в'язкості від концентрації дисперсної фази (розділ 2). Чому жодна з моделей не описує одночасно пластичну та псевдопластичну течію – чи є спроби їх комбінування?
4. У розрахунках швидкості осадження (розділ 3) використано формулу Стокса для всього діапазону крупності частинок до 0,16 мм, проте не наведено

перевірку критерію Рейнольдса, що підтверджує правомірність застосування саме ламінарного режиму осадження.

5. Потребує уточнення практичне значення запропонованої технології для інших гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя, окрім ЦГЗК.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії, Румницького Дмитра Олександровича, на тему «Обґрунтування технологічних параметрів гравітаційного збагачення магнетитових кварцитів у спіральних сепараторах», 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 спеціальності 184 – «Гірництво». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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, Румницький Дмитро Олександрович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 184 – «Гірництво», в галузі знань 18 – «Виробництво та технології».

Рецензент:

Кандидат геологічних наук,
доцент кафедри геології та екології
Криворізького національного університету



Віталій Харитонов



Харитонів В.	
ЗАСВІДЧУЮ:	
член секретар	
Криворізького національного	
університету	
«17»	08 2026 р.

«17» серпня 2026 року