

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Прядко Наталії Сергіївни

«Розвиток теорії тонкого подрібнення корисних копалин»

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.15.08 «Збагачення корисних копалин»

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (130 найменування), 8 додатків. Основний зміст викладений на 274 сторінках й включає 111 рисунків і 26 таблиць.

Актуальність теми дисертаційної роботи.

На сьогодні на світовому ринку спостерігається стабільне підвищення попиту на нові тонкодисперсні матеріали. Подрібнення є доволі енергоємним процесом. На збагачувальних фабриках на подрібнення руд витрачається 45 - 65% загальних витрат енергії. Особливо багато енергії необхідно для одержання тонкодисперсних продуктів. Тому розвиток теорії тонкого подрібнення корисних копалин і на цій основі пошук шляхів зниження енерговитрат на одержання продуктів необхідної дисперсності є актуальною темою. Автор у своїй роботі вирішила актуальну проблему, яка полягає у встановленні закономірностей та механізму формування гранулометричного складу продуктів тонкого подрібнення для досягнення необхідної дисперсності продукту при мінімальному енергоспоживанні.

Робота виконана у відділі термогазодинаміки енергетичних установок Інституту технічної механіки Національної академії наук України й Державної космічної агенції України (ІТМ НАНУ і ДКАУ) і базовими темами для досліджень були наступні держбюджетні теми Інституту, в яких автор була відповідальним виконавцем розділів: «Дослідження газодинаміки технічних систем щодо забезпечення їхнього надійного функціонування» № ДР 0107U001320; «Дослідження термогазодинаміки процесів газоструминного транспортування та обробки сипучих матеріалів» № ДР 0109U000341; «Дослідження термогазодинамічних процесів високоентальпійних керованих газових потоків щодо проблем створення нових і вдосконалених ракетно-космічних двигунів і енергетичних установок» № ДР 0111U000265.

Мета роботи витікає з напрямків вирішення проблеми і полягає у створенні цілісного уявлення процесу тонкого подрібнення корисних копалин для розробки технології й обґрунтування технологічних і режимних параметрів процесу, що забезпечують зниження енергоємності одержання тонкодисперсних порошків.

Постановка ідеї роботи обумовлена розглядом дисперсності продукту як параметра, що характеризується контрольним класом крупності при мінімально можливій питомій поверхні подрібненого продукту та новим підходом до контролю та оптимізації процесу подрібнення, тому ідея роботи формулюється як досягнення необхідної дисперсності шляхом моніторингу результатів подрібнення і корегуванням режимів процесу.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень дисертації, висновків, рекомендацій.

Розроблені наукові положення та висновки ґрунтуються на значному обсязі експериментів, виконаних за допомогою сучасних методів дослідження, для вивчення впливу різноманітних факторів, співставленні одержаних результатів з досягнутим рівнем. Використання відомих інформаційних методів і технологій для моделювання та ідентифікації режимів подрібнення дозволили одержати достовірну інформацію про оптимальні параметри процесу тонкого подрібнення корисних копалин. Теоретичні дослідження підтверджені значною кількістю експериментів, виконаних у лабораторних умовах та при промисловому струминному подрібненні в умовах Вільногірського гірничо-збагачувального комбінату. Основні наукові положення дисертаційної роботи є обґрунтованими висновками системного теоретико-експериментального дослідження. Інтерпретація експериментальних даних та їх теоретичне обґрунтування не суперечить основним сучасним уявленням збагачення корисних копалин. Матеріали дисертації досить повно викладено в 49 наукових працях, що входять у відповідний перелік ДАК, у тому числі: 12 – у закордонних журналах та виданнях, що входять у наукометричні бази. Основні результати роботи пройшли апробацію на міжнародних наукових конференціях.

Наукова новизна положень дисертації.

Н.С. Прярко доведено, що інтенсивність утворення нової поверхні при тонкому подрібненні твердих корисних копалин прямо пропорційна витраченій енергії й знижується при досягненні крупності продукту подрібнення критичної величини (15 - 25 мкм залежно від матеріалу), обумовленої підвищенням міцності часток.

Новизна цього наукового положення полягає в тому, що вперше розглянуто особливості виконання гіпотези Риттенгера для зони одержання надрібних часток. Аналіз даних роботи залізорудних комбінатів України, відомих експериментальних даних з технічних літературних джерел щодо подрібнення у барабанних млинах та одержаних автором при струминному подрібненні дали змогу виділити критичний рівень енергоспоживання млинів при тонкому подрібненні. Перехід через цей рівень характеризує граничні можливості механічного розкриття корисних компонентів і збагачення. При цьому доведено, що хоча залежність між енергоємністю і питомою поверхнею є прямо пропорційною, що стверджується гіпотезою Ріттенгера, але коефіцієнт залежності змінюється, тобто кут нахилу кривої зменшується при зменшенні розміру часток матеріалу. Автор встановила діапазони крупності часток матеріалу при досягненні критичного рівня для різних способів подрібнення.

На базі цього дослідження та доказу поставленої гіпотези про незалежність кінетики подрібнення фракції крупності твердих корисних копалин у суміші від наявності інших фракцій крупності, що подрібнюються сумісно, було розроблено низку методів знаходження, контролю та виключення переходу через критичний рівень енергоємності. При експериментальному доведенні наукового положення про незалежність кінетики подрібнення фракції у суміші в роботі розглянуто лише струминне подрібнення шамоту (розділ 2.4). *Бажано*

було перевірити наукове положення на інших матеріалах и способах подрібнення.

Дослідження кінетики гранулометричного складу продуктів різних способів подрібнення дозволили одержати кінетичні рівняння, що включали математичне сподівання і стандартне відхилення гранулометричного складу матеріалу. За допомогою низки формул і отриманих оцінок кінетики процесу зміни гранулометричного складу продукту розроблено метод прогнозування вузьких фракцій продукту під час подрібнення. Але автор використовував результати експериментального подрібнення закордонних руд (Киргизстан) для аналізу незавершеного процесу подрібнення. *Не зрозуміло, чим обумовлений цей вибір.*

Показано, що для виключення переходу величини енергоємності через критичну величину необхідно здійснювати керування процесом тонкого подрібнення з використанням математичного моделювання й інформаційних технологій. Автором розроблено дві моделі на основі імітаційного моделювання. При моделюванні процесу подрібнення кварцового піску в струминному млині при дискретному завантаженні продуктивність збільшилась на 1,4%. Але при цьому не вказано при якій дисперсності продукту проводився аналіз чи який був контрольний клас крупності, адже це суттєво для визначення продуктивності. Для другої динамічної імітаційної моделі було визначено поверхневий показник, що дозволяв контролювати величину знов утвореної поверхні часток подрібненого продукту. Наведено формулу обчислення питомої поверхні, де коефіцієнти залежать від властивостей матеріалу. Але *не вказані границі зміни цих коефіцієнтів*, що утруднює подальше порівняння результатів.

Автором розроблений новий підхід для дослідження процесу подрібнення, що базується на зв'язках акустичних параметрів з кінетичними й енергетичними параметрами руйнування й подрібнення. При цьому вперше отримано теоретичні й експериментальні залежності, які характеризують зв'язок питомої поверхні матеріалу, що подрібнюється, гранулометричного складу матеріалу, продуктивності млинів з акустичними параметрами процесу подрібнення, що дозволило розробити принципи оптимізації струминного подрібнення. Однак, не вказано *чи можливо використання одержаних залежностей і методик для інших способів подрібнення, наприклад кульового.*

Наукова значимість дисертаційної роботи полягає у встановленні зміни зв'язку дисперсності з енерговитратами на процес отримання тонкодисперсного продукту для різних способів подрібнення, встановленні незалежності кінетики подрібнення фракцій крупності в суміші розробці моделей тонкого подрібнення та методів оптимізації технологічних параметрів, візуалізації й ідентифікації процесу подрібнення на основі акустичного моніторингу струминного подрібнення.

Практична значимість дисертаційної роботи.

Розроблено методики акустичного моніторингу й створено бази даних акустичних параметрів, що дозволяють визначити оптимальні технологічні параметри струминного подрібнення. Методики використання інформаційних

технологій при ідентифікації процесу струминного подрібнення дозволили на базі обмеженої кількості вихідних даних виконати вибір оптимальних параметрів процесу струминного подрібнення для одержання заданої дисперсності продуктів різних матеріалів. Розроблені безконтактні способи контролю процесу й якості продукту тонкого подрібнення, що захищені патентами України на винахід і дозволяють істотно підвищити продуктивність млина, скоротити час досліджень, підвищити точність оцінок;

Ідею контролю і корегування режимів подрібнення на основі моніторингу процесу реалізовано в умовах ВГМК. Розроблена система оптимізації роботи промислового млина та одержані кількісні показники акустичної та технологічної енергоємності подрібнення й диспергування циркону в різних режимах роботи промислового млина ВГМК, що підвищило продуктивність млина до 50% та обумовило річний розрахунковий економічний ефект 185-507 тис. грн. в залежності від контрольної крупності цирконового концентрату.

Аналіз змісту дисертації

У **вступі** Прядко Н.С. обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і задачі досліджень, викладені наукові положення та наукова новизна, а також практична значимість отриманих результатів, наведені дані про особистий внесок, публікації та апробацію наукових розробок.

В **першому розділі** дано аналіз стану питання у вітчизняних та закордонних публікаціях щодо тонкого подрібнення корисних копалин, моделювання процесу та використання акустоемісійного методу для моніторингу мікроруйнування матеріалу різними видами навантаження.

Але при аналізі можливостей використання акустичного моніторингу для аналізу процесу подрібнення *слід було зазначити можливість і особливості його використання при інших методах подрібнення, не тільки струминного.*

В **другому розділі** наведено теоретичні дослідження щодо встановлення енергетичних особливостей тонкого подрібнення та розкриття механізму формування гранулометричного складу матеріалу при подрібненні.

В **третьому розділі** розкриті особливості моделювання процесу тонкого подрібнення на прикладі створення чотирьох моделей. Слід було відокремити області застосування кожної і роз'яснити чому п'ята модель (коміркова модель на основі ланцюгів Маркова) наведена у четвертому розділі.

В **четвертому розділі** показані результати дослідження процесу тонкого подрібнення на основі використання акустоемісійних сигналів зони помелу, що записуються при безперервному моніторингу і проаналізовано результати лабораторних досліджень зв'язків акустичних параметрів з режимами подрібнення. Встановлені залежності величини максимальної амплітуди й частки малоамплітудних сигналів від питомої поверхні продуктів подрібнення та вказані акустичні ознаки підвищення дисперсності продукту.

П'ятий розділ містить розроблені методи ідентифікації режимів тонкого подрібнення на основі використання інформаційних технологій для аналізу результатів акустичного моніторингу струминного подрібнення.

Нажаль, при розробці системи візуалізації результатів акустичного моніторингу та ідентифікації режимів струминного подрібнення не зовсім чітко вказано на використання розроблених методів для оптимізації подрібнення.

Шостий розділ присвячений розробці пропозиції щодо практичної реалізації акустичної оптимізації тонкого подрібнення. Наведено систему акусто-технологічних й енергетичних критеріїв роботи струминного млина. На прикладі оптимізації струминного подрібнення в умовах ВГМК показано, що використання розробленої системи оптимізації дає значні позитивні результати. Робота млина в оптимальному режимі дозволила зменшити його енергоспоживання на 150-200 кВт-г/т для тонкодисперсного продукту при досягненні продуктивності 800-1400 кг/г. Впровадження системи оптимізації процесу на основі акустичного моніторингу забезпечило підвищення продуктивності млина на 50 – 70 % в залежності від дисперсності одержаного продукту (питома поверхня в діапазоні $S_{num} = 1540 - 2500 \text{ см}^2/\text{г}$).

Загальні висновки по дисертації відповідають її змісту, конкретно і стисло висвітлюють основні наукові результати.

Дисертаційна робота Прядко Н.С. в цілому являє собою закінчену наукову роботу, в якій отримані нові наукові результати, що у сукупності є цінним внеском у розвиток теорії та практики створення раціональних технологій тонкого подрібнення корисних копалин.

Матеріали дисертаційної роботи викладені логічно, послідовно. Розділи та підрозділи закінчуються аргументованими висновками. Задачі досліджень у кожному розділі обґрунтовані та вирішені доволі повно. Зроблені зауваження не знижують значущості головних отриманих наукових результатів.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації. Основні результати дослідження повністю опубліковані у фахових виданнях.

За змістом та оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів Міністерства освіти і науки України щодо докторських дисертацій, а її автор – Прядко Наталія Сергіївна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.15.08 – збагачення корисних копалин.

Офіційний опонент
завідувач кафедри рудотермічних процесів
та ливарного виробництва
ДВНЗ «Криворізький національний університет»,
д-р техн. наук, професор



Г.В. Губін