

На правах рукопису

СОКУР МИКОЛА ІВАНОВИЧ

**РОЗРОБКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ОСНОВ
СТВОРЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
АПАРАТІВ ДЛЯ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ РУД**

Спеціальність 05.15.16 – «Гірничі машини»

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук



00752377 (V)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному науково-дослідному і проектному інституті по збагаченню і агломерації руд чорних металів (Механобрчормет, м. Кривий Ріг).

Науковий консультант:

Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії, академік НАН України, докт. техн. наук, професор

ПОТУРАЄВ Валентин Микитович

Офіційні опоненти:

Академік АІН України, докт.техн.наук, професор

ФРАНЧУК Всеволод Петрович

Заслужений діяч науки і техніки України, академік АІН України, докт.техн.наук, професор

БИКОВ Валентин Іванович

Академік АІН України, лауреат Державної премії, докт.техн.наук, професор

ДИРДА Віталій Ілларіонович

Провідна організація — Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут гірничорудного машинобудування (НДПІрудмаш, м. Кривий Ріг).

Захист дисертації відбудеться 23 травня 1997 р. о 13³⁰ год. на засіданні спеціалізованої ради Д 03.10.02 при Інституті геотехнічної механіки НАН України за адресою: 320600, м. Дніпропетровськ, вул. Сімферопольська, 2а.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інституту.

Автореферат розісланий 21 квітня 1997 р.

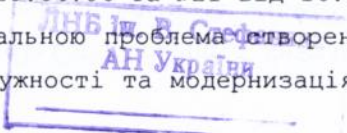
Вчений секретар спеціалізованої ради, канд. техн. наук

Перепелиця В.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Для України дуже важливою державною проблемою є зниження енерговитрат у всіх сферах виробництва і, в першу чергу, в такій енергомісткій як переробка та збагачення руд. В Концепції розвитку гірничо-металургійного комплексу України до 2010 року вказано, що «...однією із основних умов функціонування гірничо-металургійного комплексу являється переорієнтація виробничого апарату на ресурсозбе-режні технології...». Найбільш трудомістким і енергомістким процесом в технології збагачення є дезінтеграція (дроблення і подрібнення) руди, на долю якого припадає 60-70% енерговитрат. При цьому, по дослідженню автора, енерговитрати на дроблення руди складають біля 5%, а на подрібнення – 64%, тобто на порядок вище. Тому актуальною і перспективною є концепція перерозподілу енерговитрат між процесами дроблення та подрібнення в напрямку збільшення питомої ваги циклу дроблення в загальному процесі дезінтеграції руд. Для цього необхідно зменшити крупність дробленого продукту з 25-30 мм до 10-0 мм, так як кожний міліметр зменшення крупності дозволяє на 1,2-1,5% знизити енергомісткість і на стільки ж підвищити продуктивність послідовних процесів переробки руди. А таку крупність дробленого продукту можливо отримати лише в апаратах нового типу, найбільш перспективними з яких є дезінтегратори відцентрового типу, в яких реалізується принцип дроблення матеріалу вільним ударом в полі відцентрових сил. Апарати нового покоління для дезінтеграції мінеральної сировини будуть впроваджуватись як на нових, так і при модернізації існуючих гірничо-збагачувальних підприємств. (Пост. ДКНТ №128 від 28.04.86 та №21 від 16.01.91).

При цьому остається актуальною проблема створення нового покоління млинів великої потужності та модернізація існуючо-



го парку млинів на збагачувальних фабриках в напрямку підвищення їх ефективності та надійності (проблема 24.03 «Помольне устаткування великої потужності» в програмі робіт МНТК «Механобр» на 1991-95 р.р.).

Великий вклад в розвиток теорії та практики дезінтеграції мінеральної сировини внесли відомі вчені Е.Девіс, Ф.Бонд, А.І.Товаров, С.Ф.Шинкоренко, І.Л.Блехман, В.Н.Потураєв, В.І.Биков, В.А.Маслеников, В.І.Кармазін, А.І.Денисенко, В.І.Дирда, В.П.Франчук, А.Н.Марюта, А.Д.Учитель, Л.П.Шупов, П.Ф.Овчинников та інші. Але в роботах цих авторів недостатньо уваги приділялось дослідженню руху матеріалу впродовж барабана млина і впливові конструкції протокової частини барабана на ефективність роботи млина. Тому до останнього часу не була достатньо розроблена наукова база створення дробильно-помольного устаткування нового покоління великої потужності. Таким чином, розробка науково-технічних основ створення та підвищення ефективності роботи апаратів для дезінтеграції руд і впровадження їх в виробництво являється актуальною науковою і господарською проблемою, яка відповідає програмним рішенням в області створення нового покоління устаткування і комплексним науково-технічним програмам «Руда», МНТК «Механобр», «Розвиток техніки та технології для добування та збагачення корисних копалин». Вирішенню цієї проблеми і присвячена дана дисертаційна робота, що підтверджує її актуальність.

Мета роботи – вирішення науково-технічної проблеми створення дробильно-помольного устаткування нового покоління шляхом розробки наукових основ його роботи на базі досліджень дезінтеграторів в різноманітних умовах та реалізація результатів досліджень при проектуванні нових і модернізації існуючих гірничо-збагачувальних підприємств.

Ідея роботи - заключається в використанні установлених закономірностей руху матеріалу в робочій камері апарата для інтенсифікації процесів подрібнення та підвищення ефективності роботи дезінтеграторів шляхом розробки і впровадження нових конструкцій робочих камер, зменшення енергомісткості та підвищення надійності апаратів для дезінтеграції руд.

Задачі досліджень:

1. Виконати теоретичні та експериментальні дослідження закономірностей руху матеріалу в протоковій частині млина, розробити на цій науковій базі, випробувати і впровадити нові конструкції вузлів існуючих млинів та нові високоефективні рудорозмольні млини нового покоління.

2. Виконати дослідження характеру та закономірностей розподілу напруження в барабані млина та реалізувати їх результати в промисловість.

3. Провести дослідження та створити математичні моделі енергоспоживання, розробити і впровадити заходи по економії енергоресурсів в процесах дезінтеграції руд.

4. Розробити науково-технічні основи роботи і математичні моделі відцентрових дезінтеграторів з демпфіруючим підвісом розгонного ротору; створити типорозмірний ряд дезінтеграторів відцентрового типу; провести дослідження параметрів та організувати промислове виробництво вітчизняних дезінтеграторів.

**Обґрунтування наукової новизни,
теоретичної та практичної цінності роботи.**

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- запропоновано новий підхід до теорії руху пульпи в протоковій частині барабанного млина, аналітично описано механізм і розроблено математичні моделі, які відображають фізичну сутність та закономірності руху матеріалу в робочій камері, що

дозволило створити принципово нові конструкції протокової частини млинів, які підвищили ефективність їх роботи;

- вперше розроблено новий методологічний підхід до дослідження напруженого стану барабанів млинів з застосуванням теорії подібності та моделюванням навантаження в полі відцентрових сил, що дозволило встановити закономірності та характер розподілу напруження в барабані та послужило науковою основою для створення рівностійких конструкцій барабанів млинів з мінімальною металомісткістю;

- вперше розроблено та обгрунтовано математичні моделі електроспоживання дробильно-збагачувальних фабрик, що дозволило оцінювати, прогнозувати та мінімізувати питомі витрати електроенергії на цих фабриках без зниження їх технологічної ефективності;

- запропоновано новий підхід до створення відцентрових дезінтеграторів з застосуванням демпфіруючого підвісу ротора, науково обгрунтована і експериментально підтверджена ефективність принципово нової, не маючої у світі аналогів, системи гідростатичного підвісу розгонного ротора дезінтегратора, яка забезпечує ефективну компенсацію дисбалансів ротора, а також системи з еластомірними демпферами і магнітною подушкою;

- вперше встановлені аналітичні кореляційні залежності між технологічними, конструктивними та режимними параметрами відцентрових дезінтеграторів і розроблено номограми для розрахунків та визначення параметрів дезінтегратора.

Наукове значення роботи полягає у розвитку теорії проектування гірничо-збагачувальних машин, розробці науково-технічних основ створення та підвищення ефективності роботи апаратів для дезінтеграції руд і на їх базі нових ресурсозбережних технологій переробки мінеральної сировини.

Практична цінність результатів досліджень:

- створені принципово нові конструкції вузлів протокової частини барабаних млинів: футеровки, решітки, розвантажувальні елеватори, втулки, класифікуючі бутари, які захищені 50-ю авторськими свідоцтвами та патентами і широко впроваджені в виробництво на гірничо-збагачувальних підприємствах України, Росії, Узбекистану та Монголії;
- розроблено і впроваджено в промисловість нові конструкції барабанів млинів високої надійності;
- створено і впроваджено в виробництво вітчизняний комплекс рудопомольних млинів нового покоління великої потужності продуктивністю 2,5-5,0 млн. т. в рік;
- розроблено і впроваджено в виробництво заходи по економії електроенергії в технології по переробці та збагаченню руд;
- створено і впроваджено в виробництво принципово нові конструкції відцентрових дезінтеграторів з демпфіруючим підвісом розгонного ротору, що дозволило розробити нові ресурсозбе-режні технології збагачення залізних руд;
- нові розробки 10 раз експонувались на ВДНГ і нагороджені 6 медалями та дипломами ВДНГ.

Реалізація та впровадження наукових розробок.

Основні результати роботи реалізовані:

- на Сизранському турбобудівному заводі (СТЗ) при розробці конструкції і організації масового виробництва самого потужного вітчизняного млина самоподрібнення ММС-90-30А;
- на Ново-Краматорському машинобудівному заводі (НКМЗ) при розробці конструкції і масовому виробництві універсальних кульових млинів МШР-40×75 з новою конструкцією протокової частини;

- на Лебединському ГЗК при розробці і впровадженні нових конструкцій розвантажувальних елеваторів млинів MMC-90-30 та MMC 70x23;
- на Новокриворізькому ГЗК при розробці і впровадженні нових конструкцій розвантажувальних елеваторів млинів МШР-45x50;
- по Північному ГЗК при розробці і впровадженні нових конструкцій футеровок, решіток та елеваторів млинів MMC-90x30A та МШР-45x50;
- на Інгулецькому ГЗК при розробці і впровадженні нових кульових млинів МШР-40x75, та нових конструкцій вузлів протокової частини і приводів млинів МШР-40x75 та MMC-70x23;
- на машинобудівному заводі в м. Дессау (ФРН) при розробці конструкції і виготовленні млинів МШР-50x65 для Долинського ГЗК окислених руд;
- в інституті Механобрчермет при розробці конструкції і організації промислового виробництва відцентрових дезінтеграторів ЦД-1, ЦД-10, ЦД-100 та проектів підземного і других ГЗК з впровадженням нового устаткування;
- на Запорізькому залізо-рудному комбінатові (ЗЗРК) при розробці і впровадженні відцентрових дезінтеграторів ЦД-100 та нової ресурсозбережної технології переробки аглоруди, яка забезпечила її конкурентноспроможність на світовому ринку.

Сумарний річний фактичний економічний ефект, підтверджений підприємствами, складає 6,6 млн. крб., очікуваний – 66,7 млн. крб. (в цінах до 1990 року).

Апробація роботи. Основні положення та результати досліджень дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і були схвалені на республіканських науково-технічних конференціях: «Підвищення технічного рівня, удосконалення методів

1974), «Шляхи підвищення якості продукції гірничих підприємств» (Кривий Ріг, 1977), «Проблеми підвищення якості переробки сировини на збагачувальних фабриках та шляхи їх вирішення» (Дніпропетровськ, 1979); Всесоюзних науково-технічних конференціях по проблемах збагачення корисних копалин (Ленінград, 1974, 1978); по проблемах боротьби з шумом та вібрацією (АН СРСР, Челябінськ, 1980), «Інтенсифікація підготовчих, магнітних та гравітаційних процесів» (АН СРСР, Москва, 1980); галузевих науково-технічних конференціях по проблемах подрібнення (Асбест, 1982), по проблемах рудопідготовки (Москва, 1983); Всесоюзних науково-технічних конференціях «Теорія адаптивних систем і її використання» (АН СРСР, Москва, 1983), «Підвищення ефективності енерговикористання в основних металургійних процесах» (Запоріжжя, 1983), «Процеси дроблення, подрібнення та технології переробки руд» (Белгород, 1983); Республіканському семінарі «Математичне моделювання локальних автоматизованих систем і середовищ» (АН УРСР, Київ, 1983); Всесоюзних науково-технічних конференціях «Становище і напрям розвитку техніки і технології рудопідготовки» (Белгород, 1985), «Розвиток техніки і технології рудопідготовки в XII п'ятиріччі» (Кривий Ріг, 1983), «Інтенсифікація процесів переробки трудозбагачуваних руд» (Кривий Ріг, 1989), «Комплексне освоєння техногенних родовищ» (Челябінськ, 1990), «Шляхи розвитку науки і техніки при рудопідготовці» (Кривий Ріг, 1991), «Порівняння різних видів подрібнювачів» (НАН України, Одеса, 1993), «Теорія та практика процесів подрібнення та розподілу» (НАН України, Одеса, 1994), НТР Мінчермету СРСР, Мінтяжмашу СРСР, інститутів Механобр, Механобрчормет, КГРІ, СТЗ, НКМЗ, ІнГЗК, ЛебГЗК, ПГЗК (1975-95); Міжнародній нараді будівельників Долинського ГЗК з участю вчених України, Румунії, ФРН та Чехословаччини (Кривий Ріг, 1987); Міжнародному конгресі по збагаченню

(Дрезден, ФРН, 1991); Міжнародному гірничому конгресі (Скатеринбург, 1992); Міжнародному екологічному конгресі (Кривий Ріг, 1993); Міжнародній конференції по подрібненню (Одеса, 1994); Міжнародній конференції, присвяченій 75-річчю інституту Механобр (Санкт-Петербург, Росія, 1995); Міжнародній конференції по процесах помолу (Одеса, 1996).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 194 наукові роботи, у тому числі 124 статті (з них 16 без співавторів), 69 авторських свідоцтв, одна монографія.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, шести розділів і висновка, які викладені на 262 сторінках машинописного тексту, що включає 10 таблиць, 55 малюнків та список літератури з 142 найменувань і додатка, в який включені документи, що підтверджують практичне використання та впровадження результатів роботи в виробництво.

Декларація про особистий внесок в розробку наукових результатів. Особистий внесок автора в розробку наукових результатів полягає: в розробці математичної моделі, яка відображає фізичну сутність та закономірності руху матеріалу в протоковій частині млина; в розробці нового методологічного підходу до дослідження напруженого стану барабана млина з використанням теорії подібності та моделювання навантаження в полі відцентрових сил, що дозволило встановити закономірності розподілу напруження в барабані; в обґрунтуванні і розробці математичних моделей електроспоживання дробильно-збагачувальних фабрик; в науковому обґрунтуванні і створенні принципово нової системи демпфіруючого підвісу розгонного ротору відцентрового дезінтегратора; в установленні кореляційних залежностей між технологічними, конструктивними та режимними параметрами роботи відцентрового дезінтегратора, розробці методики їх розрахунку та створенні на цій науковій базі вперше в нашій країні типорозмірного ряду відцентрових

базі вперше в нашій країні типорозмірного ряду відцентрових дезінтеграторів, організації їх виробництва та впровадження в промисловість в нових ресурсозбережних технологіях. Крім цього, автором самостійно сформульована ідея роботи, її основні наукові положення, висновки та рекомендації.

Методи досліджень, обґрунтованість та вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій. В роботі застосовані комплексні методи досліджень, включаючи теоретичні узагальнення, аналітичні дослідження, експериментальні дослідження в лабораторних та виробничих умовах з застосуванням методів подібності, тензометрії, фотопружності, математичної статистики та оптимізації.

Обґрунтованість та вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується: поєднанням теоретичних та експериментальних досліджень, проведених в лабораторних, напівпромислових та промислових умовах; дублюванням експериментів та використанням методів математичної статистики для оцінки вірогідності одержаних результатів; хорошою схожістю результатів досліджень в лабораторних та напівпромислових умовах з результатами промислових випробувань з похибкою не більше 15% та довірою ймовірністю 90-92%; широким впровадженням результатів досліджень та нових науково-технічних розробок в виробництво з одержанням великого народногосподарського ефекту, підтверженого 25-ю актами впровадження.

Основний зміст роботи

Поставлена в дисертаційній роботі мета досягається шляхом розробки нових теоретичних підходів до суті фізичних процесів в робочому просторі дробильно-помольних апаратів; проведенням аналітичних та експериментальних досліджень дезінтеграторів в різних умовах з метою установлення законо-

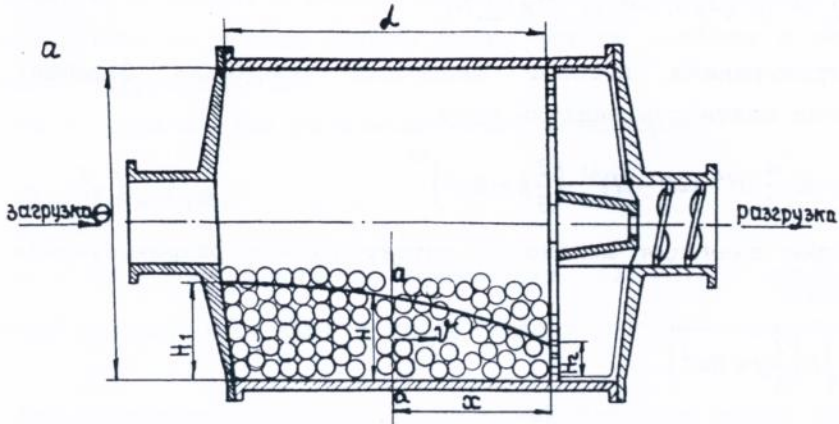
мірностей і залежностей між конструктивними та технологічними параметрами; розробки математичних моделей і створення на цій науковій базі принципово нових апаратів для дезінтеграції мінеральної сировини, які широко впроваджені при проектуванні нових та модернізації існуючих гірничо-збагачувальних підприємств.

Наукові положення, розроблені особисто дисертантом.

1. Ефективність роботи подрібнювального апарату знаходиться в прямій залежності від інтенсивності руху та швидкості виведення матеріалу із робочої камери і забезпечується новою конструкцією протокової частини з розвантажувальними елеваторами похилого типу та комбінованою решіткою.
2. Характер ізносу футеровок млинів описується еліпсоїдною залежністю і для підвищення їх зносостійкості форма робочої поверхні футеровок по довжині барабану повинна змінюватися по еліпсоїдному закону.
3. Характер розподілу напруженості в стінках барабану млина описується степеню функцією гіперболічного типу, що являється визначальним для створення конструкції барабану зі стінками перемінної товщини, яка міняється по гіперболічному закону і збільшується в напрямку до цапфи млина.
4. Підвищення ефективності та зниження енергомосткості процесів рудопідготовки досягається шляхом перерозподілу трудомісткості та енерговитрат між циклами дроблення та подрібнення в напрямку збільшення питомої ваги циклу дроблення шляхом розробки та впровадження принципово нових апаратів для дезінтеграції руд – відцентрових дезінтеграторів з демпфіруючим підвісом робочого органу.

В розділі «Дослідження закономірностей роботи протокової частини млина та реалізація їх результатів в виробництво» приведена модель руху матеріалу в протоковій частині бараба-

на млина, яка виражає взаємозв'язок між витратами пульпи, глибиною потоку і швидкістю його руху та конструктивними параметрами млина і відображає фізичну сутність явищ, які відбуваються в барабані млина під час його роботи (мал. 1).



Мал. 1. Модель руху матеріалу в протоковій частині млина.

Виведено диференціальне рівняння руху матеріалу впродовж барабана млина:

$$Q = \frac{4}{3} K \cdot H^{1,5} (D - H)^{0,5} \cdot \frac{dH}{dx},$$

де Q – об'єм пульпи, H – глибина потоку, D – внутрішній діаметр барабана, K – коефіцієнт фільтрації.

Інтегруючи це рівняння в межах від 0 до α (довжина барабана) знайдемо кінцеву формулу для розрахунку об'ємної витрати пульпи:

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \frac{K}{\alpha} \cdot (D - H_1)^{0,5} \cdot H_1 \cdot \beta_1,$$

де $\beta_1 = 1 - \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{2,5}$, H_1, H_2 – глибина потоку пульпи.

Пройшовши всю довжину барабана, потік пульпи досягає розвантажувальної решітки, яка має n отворів і витрати пульпи через яку можна виразити формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n \alpha \cdot f_0 \cdot \sqrt{2gH_i} = \alpha \cdot f_0 \cdot \sqrt{2g} \cdot \sum_{i=1}^n H_i$$

З урахуванням кутової швидкості обертання барабана пропускна здатність решітки буде:

$$Q = \alpha \cdot K \cdot \frac{4}{3} \cdot H^2 \cdot (2R - H)^{0,5} \cdot \left(\frac{2}{3}g + R\omega^2 \right)^{0,5}$$

Середнє значення швидкості витoku пульпи розраховується по формулі:

$$V_c = \sqrt{H \left(\frac{2}{3}g + R\omega^2 \right)}$$

Встановлено, що рівень пульпи перед розвантажувальною решіткою виражається формулою:

$$H = 0,865 \cdot \frac{Q^{0,5}}{\alpha_p^{0,5}} \cdot K_0^{0,5} \cdot D^{0,25} \cdot \left(\frac{2}{3}g + 0,5D\omega^2 \right)^{0,25}$$

Розроблена математична модель руху матеріалу використана як наукова база для розробки нових конструкцій вузлів протокової частини млина.

Запропонована також структурна модель руху подрібненого матеріалу в замкнутій системі – помольна камера барабана, решітка, розвантажувальна камера, втулка – та її математичне обґрунтування. Об'єм пульпи в період циклу заповнення розвантажувальної камери барабана через отвори решітки рекомендовано описувати слідуною залежністю:

$$Q_0 = K_c \left(\frac{V_1}{4} R^2 \omega t_1^2 + S_p \int_0^{t_2} V_2(t) dt \right),$$

де K_c – коефіцієнт ефективної площі решітки, V_1 – швидкість витoku пульпи через отвори решітки в період погруження її в

пульпу, м/с; R – радіус барабана млина, м; ω – кутова швидкість обертів барабана, рад/с; t_1 – час з початку погруження решітки, с; S_p – корисна площа решітки, м²; t_2 – час руху решітки в пульпі в режимі повного погруження, с; $V_2(t)$ – середня швидкість витоку пульпи через отвори решітки в режимі повного погруження, м/с.

Об'єм пульпи, яка розвантажується елеваторами:

$$Q_p = \int_0^{t_4} V_4'(t) S_3(t) dt,$$

де t_4 – час руху пульпи по елеваторах, с; $V_4'(t)$ – швидкість витоку пульпи, м/с; $S_3(t)$ – площа витоку пульпи в елеваторі, м².

Для розрахунку циркуляції всередині барабана млина запропоновано формулу:

$$Q_v = K_c \cdot \frac{V_3}{4} R^2 \omega t_1^2 + \int_0^{t_4} V_4(t) S_p dt,$$

де V_3 і V_4 – швидкість витоку пульпи через решітку і елеватори зворотно в камеру барабана, м/с.

Ефективність роботи розвантажувального вузла млина запропоновано оцінювати коефіцієнтом ефективності K_e , який рекомендовано розраховувати по формулі:

$$K_e = \frac{Q_p}{Q_p + Q_v} = \frac{\int_0^{t_4} V_4' S_3(t) dt}{\int_0^{t_4} V_4' S_3(t) dt + K_c \frac{V_3}{4} R^2 \omega t_1^2 + \int_0^{t_4} V_4 S_p(t) dt}$$

Експериментально встановлено, що із загального об'єму пульпи, яка пройшла через отвори решітки в розвантажувальну камеру, тільки 40–50% розвантажується із млина, а 50–60% повертається знову в помольну камеру барабана. Таким чином,

коефіцієнт ефективності розвантаження лише $K_3=0,4-0,5$, що говорить про недосконалість конструкції розвантажувальної частини млина і необхідність її корінного вдосконалення та розробки принципово нової конструкції млина.

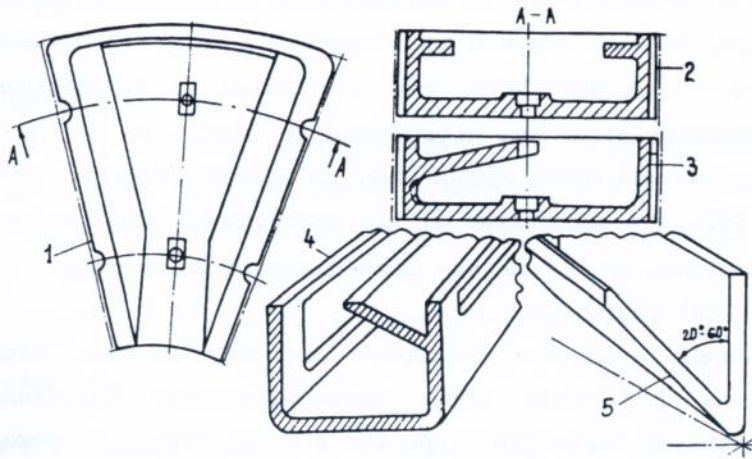
Як видно із приведених вище аналітичних викладок для інтенсифікації процесу подрібнення та виводу подрібненого матеріалу із барабана млина розвантажувальні елеватори та решітки млина повинні мати таку конструкцію, яка забезпечує проходження в розвантажувальну камеру максимальної кількості пульпи і не дозволяє їй повернутися знову в помольну камеру (тобто забезпечити максимальне значення коефіцієнта K_3).

Цим вимогам відповідає конструкція розвантажувальних елеваторів, бокові стінки яких мають нахил до решіток під кутом $20^\circ-60^\circ$, які розроблені на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень (а.с. 589018, 1335320, 1431137, мал.2).

Порівняльними випробовуваннями на дослідній фабриці інституту Механобрчормет доведено, що розроблена нова конструкція елеваторів забезпечує підвищення продуктивності млина на 30-40% у відкритому циклі помолу і на 15-20% у замкнутому циклі при відповідному зменшенні енерговитрат.

Виходячи з високої ефективності цієї розробки, виготовлено і впроваджено в виробництво нові елеватори для млинів самоподріблення ММС 90-30А та кульових МШР 4500×5000 і МШР 4000×7500 на ГЗК України та Росії.

Проведено також експериментальні дослідження зносу футеровок та решіток млинів самоподріблення ММС 70-23 та ММС 90-30 в промислових умовах. Установлені закономірності їх зносу та причини, які знижують ефективність їх роботи. Показано, що знос футеровок описується еліпсоїдною залежністю, при цьому максимальний знос мають футеровки циліндричної частини барабану біля решітки, а решітки – біля оболонки барабана.



Мал.2. Нова конструкція розвантажувальних елеваторів:

1 - загальний вигляд; 2,3 - розріз елеваторів старої і нової конструкції відповідно; 4,5 - варіанти конструктивного виконання для млинів типу МШР (а.с. 589018 та 1431137).

Створена теоретична база та результати експериментальних досліджень послугували науково-технічною основою для удосконалення конструкцій та підвищення ефективності роботи барабаних млинів. На цій основі розроблені науково-обґрунтовані конструкції вузлів протокової частини млина: футеровки перемінної висоти з еліпсоподібною робочою поверхнею (а.с. 762974, 1278022, 1362068, 1417924, 1480196); розвантажувальні решітки комбінованого типу з щільовими та квадратними отворами (а.с. 1115900, 1202618, 1210289, 1333410, 1334685, 1443969, 1505579); елеватори з нахиленими боковими стінками (а.с. 589018, 1431197, 1335320); розвантажувальний конус нової конструкції (а.с. 652965, 997803); втулка з пристосуванням для рівномірного виходу пульпи (а.с. 688750); класифікуючі бутари (а.с. 670333, 961762).

Створені нові науково-технічні розробки широко впроваджені в виробництво з великим техніко-економічним ефектом.

Результати аналітичних та експериментальних досліджень по-служили також науковою основою для створення нових універсальних млинів МШЦ-40×75 та МШР-40×75, які установлені на Інгулецькому ГЗК, що дозволило підвищити продуктивність секції на 30 т/г і отримати економічний ефект 288000 крб. Ця наукова розробка пере-дана також ФРГ, яка впровадила її при виготовлені нових високо-ефективних млинів МШР-45×60 для Долинського ГЗК окислених руд (протокол №21-87 ФРГ, ЧРСР, СРСР).

Таким чином, результати досліджень послужили науковою базою для створення принципово нових високоефективних барабанних млинів, які широко впроваджені при будівництві нових, та рекон-струкції існуючих гірничо-збагачувальних підприємств (фактичний економічний ефект 6.175.500 крб. в рік в цінах до 1990 р.).

В розділі «Дослідження напруженого стану барабана млина та реалізація їх результатів в промисловість» приведені результати досліджень напруженого стану барабана млина з застосуванням теорії подібності, методів фотоупругості та тензометрії. Вперше в практиці таких досліджень нагрзуки на барабан моделювались в полі відцентрових сил, створених горизонтальною центрофугою. В промислових умовах дослідження проводились на барабані млина МБ 90-30 методами тензометрії по спеціально розробленій методи-ці.

Дослідженнями встановлено, що під дією динамічних наванта-жень в барабані виникає значне напруження знакоперемінного ха-рактеру, величина якого збільшується в оболонці — до периферії, а в кришках — в напрямку до цапф. Встановлено закономірності розподілу напруження по висоті кришок барабана і показано, що характер змін напруження описується рівнянням степенної функції гіперболічного типу:

$$y = F(\varphi, V, \gamma_1, \gamma_2) D \frac{1}{x^2},$$

де φ – міра заповнення барабана, V – об'єм внутрішнього завантаження, γ_1, γ_2 – питома вага куль та руди відповідно, D – діаметр барабана.

На основі результатів досліджень і встановлених закономірностей для млинів самоподріблення діаметром 7, 9 і більше метрів рекомендовано 2 варіанти конструкції барабана: барабан, товщина кришки якого збільшується від оболонки до цапфи по гіперболічному закону в відповідності з рівнянням

$$\delta = K D^3 \cdot \frac{1}{x^2},$$

де δ – товщина кришки, K – коефіцієнт, який залежить від питомої ваги загрузки (2,5–3,5); D – діаметр барабану; x – переміна, яка характеризує координати, в яких розраховується товщина кришки (а.с. 1608929);

барабан млина, кришки якого підсилені ребрами таврової форми (а.с. 617073).

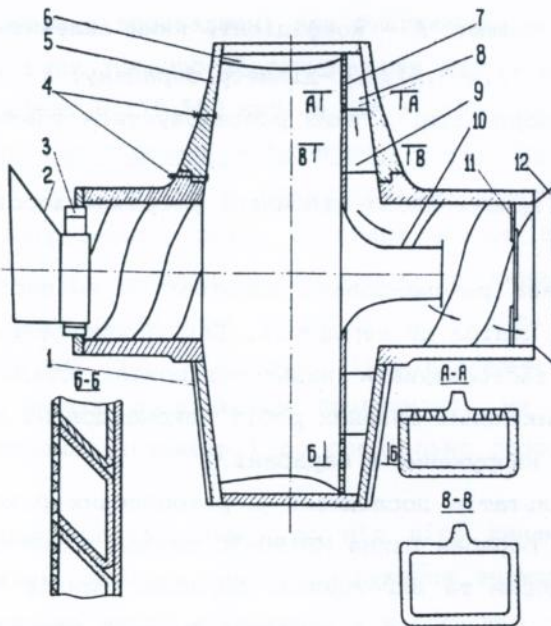
Оболонку барабана рекомендовано виготовляти змінної товщини зі збільшенням від центра до периферії. Для виготовлення барабана рекомендовано застосовувати низьколегіровані сталі 10ХСНД, 09Г2С, 18ГС; при виконанні зварних робіт рекомендовані заходи по зняттю залишкового напруження в барабані.

На основі результатів досліджень і розроблених рекомендацій було модернізовано барабан млина МБ-90-30 шляхом підсилення його ребрами таврової форми та виготовлені барабани млинів ММС 70-23 і ММС 90-30А нової конструкції з кришками змінної товщини.

Промисловими випробуваннями і дослідженнями млинів з новими конструкціями барабанів встановлено: напруження в барабанах значно зменшились і їх розподіл по висоті кришок рівномірний і не перевищує допустимих значень; підвищилась надійність та ефективність роботи млина і на 22% зменшились його зупинки; нова конструкція барабана млина є рівномірною і менш металомісткою,

Його вага на 20-25% (50-80 т) менше старої конструкції. Економічний ефект від впровадження млинів самоподрібнення ММС 70-23 та ММС 90-30 з новою конструкцією барабанів склав 126400 крб. в рік (у цінах до 1990 р.).

Як було показано в попередньому розділі, великий ефект дало впровадження і інших науково-технічних розробок по конструкції барабаних млинів. Загальний вигляд млина з новими конструкціями основних деталей, розроблених на основі результатів проведених досліджень і широко впроваджених в виробництво, показано на малюнку 3.



Мал 3. Реалізація результатів досліджень в новій конструкції млина великої потужності:

1 - барабан (а.с. 617073); 2-3 - загрузочний пристрій, 4 - футеровка і її кріплення (а.с. 1417924); 5 - кришка барабана (а.с. 1608925); 6 - футеровка оболонки (а.с. 762974, 1278022, 1369068); 7 - решітка (а.с. 1202618, 1210289); 8-9 - елеватори (а.с.

589018, 1335320, 1115800); 10 – конус (а.с. 997883); 11 – втулка (а.с. 686760); 12 – бутара (а.с. 1572696).

Таким чином, на розробленій науковій базі створено нове покоління високоефективних млинів великої потужності. Ці розробки впроваджені на гірничо-збагачувальних підприємствах, а також на машинобудівних заводах (НКМЗ, СТЗ), які виготовляють млини, в тому числі і самий потужний вітчизняний млин ММС-90-30А. Уже впроваджено 26 таких млинів на підприємствах чорної металургії в новій технології самоподрібнення.

Впровадження млинів ММС-90-30А дозволило підвищити ефективність роботи цих підприємств і отримати фактичний економічний ефект 4700000 крб. в рік (у цінах до 1990 р.).

В розділі «Дослідження та розробка математичних моделей і заходів по економії енергоспоживання» приведені результати досліджень енергомістності процесів рудопідготовки на 14-и гірничо-збагачувальних комбінатах України та Росії. Встановлено закономірності енергоспоживання в різних процесах технології збагачення. Показано, що на процеси дезінтеграції руд припадає 50-70% енергоспоживання, з них на подрібнення в середньому 60%, а на дроблення – 5%. Тому зменшення витрат електроенергії на дезінтеграцію руд є дуже актуальною науково-технічною проблемою. З використанням результатів досліджень побудовані математичні моделі енергоспоживання в процесах дезінтеграції руд.

Рівняння множиної кореляції енергоспоживання дробильної фабрики має вигляд:

$$Э_n = -8,83 - 0,0975X_1 + 0,00535X_2 + 107,2X_3 - 3,63X_4 - 2,93X_5 + 0,015X_6 + 13,4X_7 + 19,9X_8 + 2,98X_9 + 11,2X_{10} + 0,0002X_{11};$$

$$Э_p = -84,8 + 1,2X_1 + 0,506X_2 - 2,07X_3 - 70,4X_4 + 52,6X_5 + 14,06X_6 + 59,08X_7 + 114,8X_8 + 60,3X_9 + 58,4X_{10} + 0,127X_{11}$$

де $Э_n$ – питома витрата електроенергії, квт*г/т; X_1 – річна потужність фабрики, млн.т; X_2 – міцність руди; X_3, X_4, X_5, X_6 – розмір вигрузочної щілини драбарок 1-ї, 2-ї, 3-ї, 4-ї стадій

дроблення; X_7 , X_8 , X_9 , X_{10} - потужність електродвигунів драбарок по стадіях дроблення, X_{11} - крупність руди; \mathcal{E}_p - річна витрата електроенергії, квт*г.

Розроблені також моделі енерговитрат на збагачувальних фабриках. Аналіз цих моделей дозволив зробити висновки про ступінь впливу різних факторів на витрати електроенергії на дезінтеграцію руд і розробити науково-обгрунтовані заходи по їх зменшенню та впровадити їх у виробництво.

Так дослідженнями електричних параметрів електроприводів млинів встановлено, що найбільші утрати потужності (35-40%) припадають на редуктор привода. Тому для зниження питомих витрат електроенергії на подрібнення розроблені і впроваджені рекомендації по підвищенню надійності і застосуванню безредукторних схем приводів млинів.

Нова конструкція привода млина самоподрібнення ММС-70-23 впроваджена на збагачувальній фабриці ІНГЗК, що дозволило на кожному із 24-х двигунів зменшити споживану потужність на 70-100 квт, питому витрату енергії на 3-5 квт*г/т, шум на робочому місці на 20 дБ., та підвищити надійність млина на 40%. Фактичний економічний ефект від впровадження нових конструкцій приводів на ІНГЗК склав 272200 крб. в рік (в цінах до 1990 р).

Успішно впроваджена в виробництво на НКГЗК ще одна розробка по економії енергоресурсів - розвантажувальні елеватори з нахиленими боковими стінками. Установлено, що їх впровадження не тільки підвищило продуктивність млинів, але й зменшило питомі витрати електроенергії на подрібнення на 11%.

Але найбільш ефективним стратегічним рішенням в області економії енергоресурсів і підвищення ефективності процесів дезінтеграції руд є перерозподіл питомої ваги процесів дроблення і подрібнення руд в напрямку збільшення питомої ваги дроблення з досягненням крупності дробленого продукту 5-10 мм, що дозволить

на 30% підвищити продуктивність і на 20% зменшити енерговитрати на дезінтеграцію руд.

Для вирішення цієї науково-технічної проблеми необхідно створити нове покоління принципово нового устаткування для дроблення руд. Одним із наукових напрямків вирішення цієї проблеми є створення дезінтеграторів відцентрового типу, в конструкції яких реалізується принцип руйнування матеріалу вільним ударом в полі відцентрових сил.

В розділі «Розробка науково-технічних основ та створення дезінтеграторів відцентрового типу» показано, що для створення надійної і ефективної конструкції відцентрового дезінтегратора необхідно вирішити дві науково-технічні проблеми: розробити конструкцію робочого органа розгонного ротора, яка забезпечить ефективне руйнування матеріалу з мінімізацією по критерію зносу і витрат електроенергії, та конструкцію демпфіруючого підвісу робочого органу, яка б забезпечила компенсацію його зносових та технологічних дисбалансів. Для вирішення першої проблеми розроблені теоретичні основи роботи дезінтегратора та математичні моделі руху матеріалу по розгонному роторові. Для розрахунку продуктивності дезінтегратора виведена наступна залежність:

$$Q = [2\pi R_0 - (B + K_\phi \cdot d) \cdot n] h V_p \delta$$

$$(\text{при } 2 \leq n \leq 4, 5 \leq d \leq 100, 2dSh \leq 5d)$$

де n , h , R_0 - кількість, висота та радіус розгонних елементів ротора; d , K_ϕ - розмір і коефіцієнт форми кусків руди; δ - питома вага руди; V_p - радіальна швидкість куска при вході на розгонний елемент (ребро).

Потужність, яка затрачується на розгон куска до швидкості вильоту розраховується по формулі:

$$N_1 = Qf(R_1 - R_0) \left(g + \frac{\omega^2(R - R_0) - 2gf}{\sqrt{1 + f^2} + f} \right)$$

де R_1 - радіус вильоту; f - коефіцієнт тертя куска об ребро; g - прискорення сили тяжіння.

Для високих продуктивностей, коли необхідно враховувати дисипативні втрати потужності при переміщенні куска в шарові матеріала виведена залежність:

$$N_2 = \frac{QK_c K_\phi^2 d^2 V_0^4 (\sqrt{1 + f^2} + f_1)}{4 \cdot \omega^4 \left(R_1 - \frac{gt}{\omega^2} \right)^4 - \left(R_0 - \frac{gt}{\omega} \right)^4}$$

де K_c - коефіцієнт в'язкого опору; V_0 - відносна швидкість на вильоті; f - швидкість обертів ротора.

Потужність на вентиляцію:

$$N_3 = c \cdot \rho \cdot F(\omega \cdot R)^3$$

де c - коефіцієнт опору; ρ - щільність повітря; F - площа ребра; R - середній радіус обертів ребра.

Загальна споживана потужність:

$$N = \eta(N_1 + N_2 + N_3)$$

Для швидкості вильоту куска руди з розгоного ротора дезінтегратора, яка забезпечує необхідну крупність дроблення, виведена залежність:

$$V = \frac{3}{4} K \frac{\sigma \cdot n}{\rho \cdot V_3 \cdot \sin \alpha}$$

де σ - межа пружності куска руди; K - коефіцієнт крупності дроблення; n - ступінь скорочення куска; ρ - питома вага руди; V_3 - швидкість звуку в матеріалі; α - кут зустрічі куска з плитою.

Розроблена методика розрахунку, алгоритм та програмне забезпечення математичної моделі для реалізації на ЕОМ.

Для вирішення проблеми компенсації дисбалансів розгонного ротора розроблено декілька варіантів демпфіруючих підвісів - гідростатичний, еластомірний, магнітний. Розроблена математична модель демпфіруючого магнітного підвісу ротора, яка описується системою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dS}{dt} = V; \frac{dV}{dt} = K_0 \frac{i^2}{S} \text{sign}(i) - g;$$

$$\frac{di}{dt} = -K_1 i - K_2 \frac{i}{S} V - \beta U$$

де S - відстань між магнітами (магнітна подушка); V - швидкість переміщення ротора на подушці; i , U , g - струм, напруга і прискорення вільного падіння (при $0 \leq S \leq 100$).

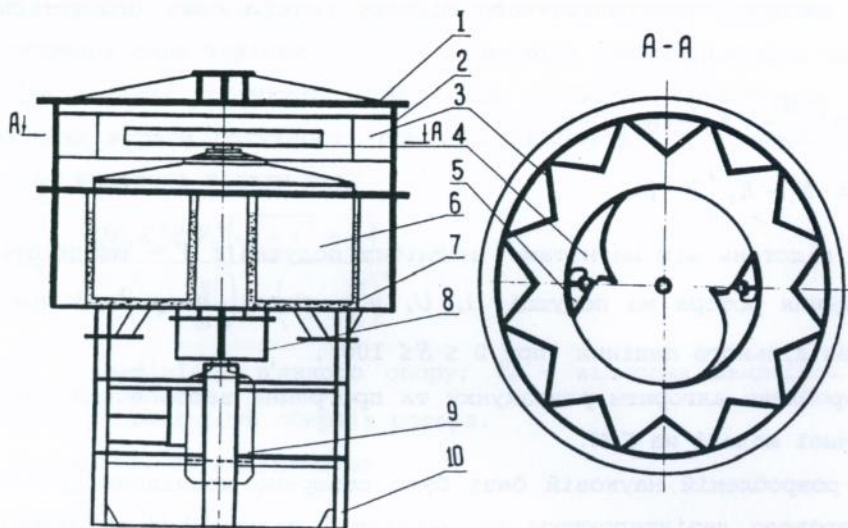
Розроблено алгоритм розрахунку та програмне забезпечення математичної моделі на ЕОМ.

На розробленій науковій базі було створено дослідний зразок відцентрового дезінтегратора на магнітній подушці та проведені його випробування, які переконливо довели ефективність цього рішення.

Науково-технічні розробки по гідростатичному підвісу (гідростатичний демпфер) розгонного ротора дезінтегратора реалізовані при створенні дезінтегратора ЦД-10 продуктивністю 10 т/год (мал.4).

Випробуваннями цього апарату на збагачувальній фабриці встановлено, що гідростатичний підвіс є хорошим демпфером і дозволяє ефективно компенсувати дисбаланси ротора. Технологічними дослідженнями встановлено, що при вихідній крупності руди 100 мм, крупність дробленого продукту становила 91% класу мінус 10 мм та 77% класу мінус 5 мм при ступені дроблення 10. При дробленні клінкеру досягнута крупність дробленого продукту 99% класу мінус 10 мм і 95% класу мінус 5 мм. Питомі витрати електроенергії при цьому склали біля 2 квт·ч/т. Встановлені залежності по-

казників роботи дезінтегратора від конструктивних та технологічних параметрів (мал.5).

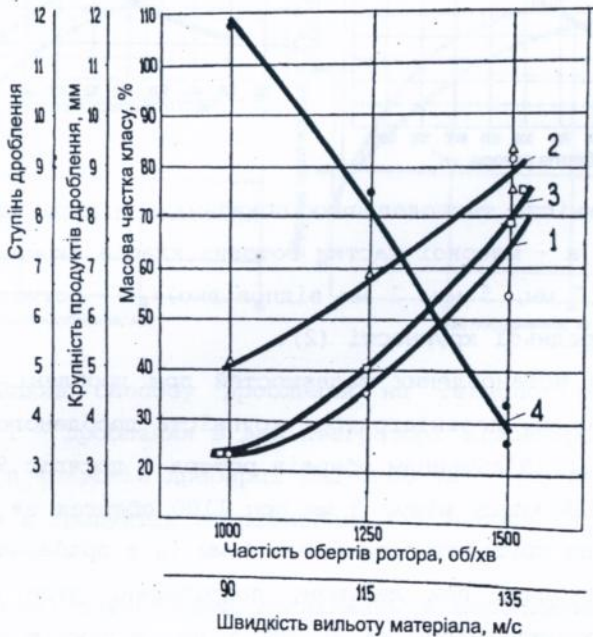


Мал.4. Відцентровий дезінтегратор ЦД-10 з гідростатичним демпфером ротора (а.с. 1424189, 1683197); 1 - кришка, 2 - корпус, 3 - плита, 4 - ротор, 5 - розгоне ребро, 6 - поплавок, 7 - гідростатик, 8 - муфта, 9 - електродвигун, 10 - опори.

Виходячи з високих показників випробовувань, відцентровий дезінтегратор ЦД-10 прийнятий в промислове виробництво і виготовляється на механічному заводі інституту Механобрчормет. Економічний ефект од його впровадження становить 120000 крб в рік на один апарат (в цінах до 1991 р.). Апарат експонувався на ВДНГ і нагороджений срібною медалю та дипломом.

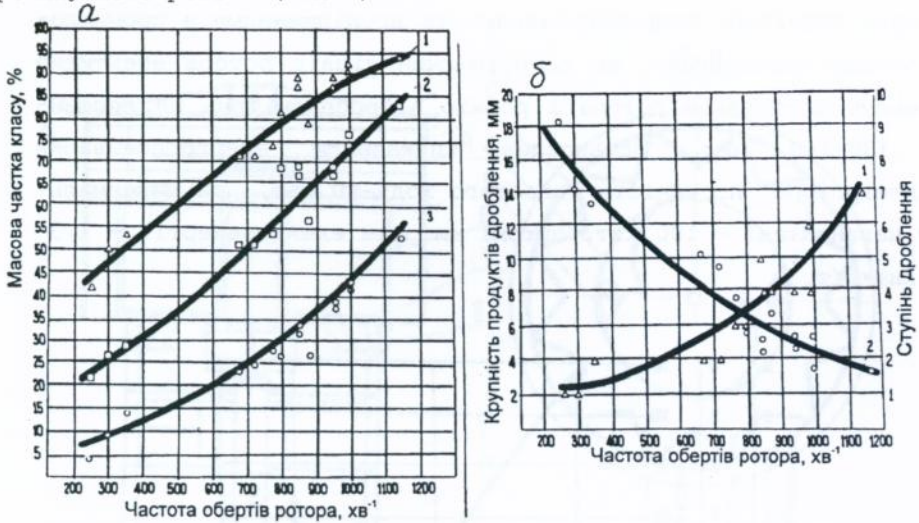
Результати досліджень послужили також науковою базою для розробки конструкції відцентрового дезінтегратора продуктивністю 50-100 т/г (ЦД-50). В його конструкції реалізовано принцип демпфіруючого підвісу розгону ротору та застосовано ротор з швидкозмінними самофутерованими розгонними елементами криволінійної форми (а.с. 1694210, 1673212, 1683192). Дослідно-про-

мисловий зразок такого дезінтегратора було виготовлено на механічному заводі інституту і змонтовано на дробильній фабриці Північного ГЗК в технологічній лінії мілкового дроблення замість драбарки КМД-2200. Випробовуваннями та дослідженнями в промислових умовах встановлено, що демпфіруючий підвіс ротора ефективно компенсує дисбаланси ротора і розмір вібропереміщень не перевищує 130-140 мкм. Встановлені показники енергоспоживання дезінтегратора: потужність холостого ходу 40 квт, при максимальному навантаженні – 100 квт, питомі витрати електроенергії – 1,3-1,4 квт*г/т.



Мал.5. Залежність технологічних показників від режиму роботи дезінтегратора ЦД-10: 1-2 – приріст масової частки класів мінус 5-0 і 10-0 мм; 3 – ступінь дроблення; 4 – середня крупність дробленого продукту.

Технологічними дослідженнями встановлені основні технологічні показники роботи дезінтегратора та їх залежність від швидкісного режиму його роботи (мал.6).

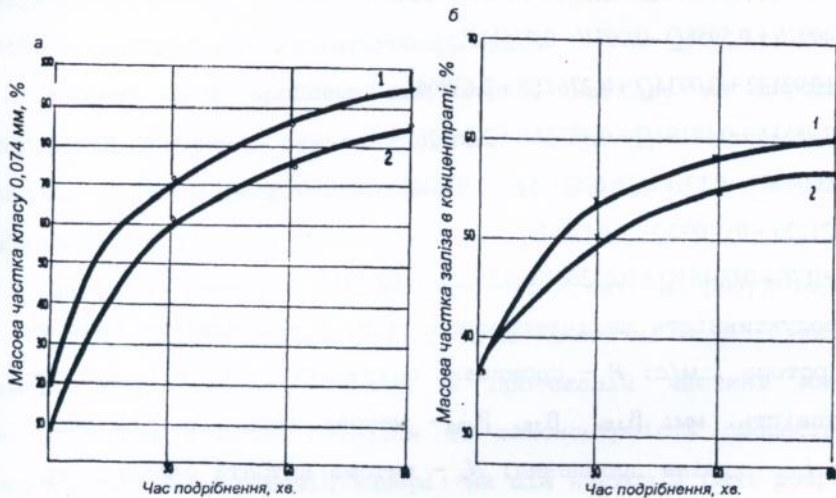


Мал.6. Залежність технологічних показників від режиму роботи дезінтегратора: а - масової частки готових класів (криві 1, 2, 3 - класи мінус 10 мм, 5 мм, 1 мм відповідно); б - ступені дроблення (1) та середньої крупності (2).

Як видно із встановлених залежностей при дробленні залізної руди у відцентровому дезінтеграторі крупність дробленого продукту зменшується зі збільшенням обертів ротора і досягає 95% класу мінус 10 мм і 80% класу мінус 5 мм при 1100 обертах за хвилину. При цьому середня крупність становить 4 мм (а в драбарках КМДТ - 25 мм), що дозволить при дальшому подрібненні руди в млинах підвищити їх продуктивність на 20-30% і на стільки ж зменшити витрати електроенергії.

Для встановлення впливу нового способу дроблення в полі відцентрових сил на інші процеси збагачення були проведені порівняльні дослідження на подрібнюваність та збагачуванність продуктів дроблення в драбарках КМД-2200 та ЦД-50. Встановлено,

що при однаковій крупності вихідної руди 100-0 мм в продуктах дроблення ЦД-50 масові частки класів мінус 10, 5, 1 та 0,074 мм на 30%, 42%, 32% і 13,5% відповідно більше, чим в продуктах дроблення КМД-2200. Подрібнюваність руди після ЦД-50 вища на 10%, а збагачуваність на 3,3% чим після КМД-2200 за рахунок кращого розкриття корисних компонентів (мал.7, криві а і б відповідно).



Мал.7. Вплив способу дроблення на технологічні показники збагачення: 1 - дроблення в дезінтеграторі відцентрового типу; 2 - дроблення в конусній драбарці КМД-2200 (а - масова частка класу -0,074 мм в продуктах подрібнення, б - масова частка заліза в концентраті).

Таким чином результатами досліджень в виробничих умовах переконливо доведена висока ефективність застосування відцентрового дезінтегратора в стадіях дрібного дроблення і він рекомендується для широкого впровадження в виробництво. Економічний ефект від впровадження цієї розробки в виробництво складає 177600 крб. в рік на один апарат (в цінах до 1991 р.).

Результати досліджень відцентрових дезінтеграторів систематизовані і оброблені на ЕОМ по спеціальній програмі, що дозволило довести систему рівнянь регресії, які відображають взаємозв'язок між технологічними та конструктивними параметрами дезінтеграторів. Встановлено наступні кореляційні залежності:

$$Q = 91,70461 - 1,33204V + 0,26607P + 0,0106VP$$

$$P = -66,11072 + 0,61645Q + 0,00342V + 1,26696\beta_{1,0}$$

$$d_c = 17,40926 + 0,5958Q - 0,093V - 0,07411P_c$$

$$\beta_{1,0} = -10,92132 + 0,0934Q + 0,27621V + 2,63806i$$

$$\beta_{5,0} = 17,76811 + 0,17184Q + 0,48333V + 2,5653i$$

$$\beta_{10,0} = 43,04408 - 0,17182Q + 0,47515V + 0,92948i$$

$$i = -2,121226 + 0,01992Q + 0,04784V$$

$$N_n = 0,10176 - 0,00463Q + 0,01206V + 0,35223i - 0,00291Vi$$

де Q - продуктивність дезінтегратора, т/г; V - швидкість вильоту частки с ротора, м/с; P - споживана потужність, кВт*г; d_c - середня крупність, мм; $\beta_{1,0}$, $\beta_{5,0}$, $\beta_{10,0}$ - масова частка відповідного класу, %; i - ступінь дроблення; N_n - питома витрата електроенергії, кВт*г/т. ($1 \leq Q \leq 110$, $20 \leq V \leq 200$, $0 \leq \beta \leq 100\%$).

З використанням результатів досліджень та встановлених залежностей побудовані номограми, які дозволяють оперативно визначати параметри дезінтегратора для відповідних умов роботи.

На створеній науковій базі розроблені технічні завдання на типорозмірний ряд відцентрових дезінтеграторів продуктивністю 1, 10, 50, 100, 300 т/г. Організовано промислове виробництво дезінтеграторів продуктивністю 1, 10, 100 т/г. Вони стали основою для розробки нових ресурсозберіжних технологій для збагачення окислених руд ДГЗК, агломераційної руди ЗЗРК та проекту підземного ГЗК. По замовленню ЗЗРК виготовлені дезінтегратори ЦД-100 і побудована дробильна фабрика з новою ресурсозберіжною технологією переробки агломераційних руд, що дозволило

підприємстві бути конкурентноздібним на міжнародній арені і експортувати свою продукцію закордонним споживачам.

Висновок

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій на основі результатів проведених досліджень здійснено теоретичне узагальнення та вирішення науково-технічної проблеми – розробка науково-технічних основ створення та підвищення ефективності роботи апаратів для дезінтеграції руд.

Рішення цієї проблеми має велике наукове та народногосподарське значення, так як дозволяє без значних капітальних укладень зменшити енергоспоживання, підвищити якість продукції та ефективність гірничо-збагачувального виробництва в цілому.

При цьому отримані наступні науково-практичні результати:

1. Розроблено основи теорії та математичні моделі, які описують механізм руху пульпи в протоковій частині млина і відображають фізичну сутність та закономірність процесів, які проходять в його робочій камері; на цій науковій базі розроблено принципово нові конструкції протокової частини млинів, захищені 50-ю авторськими свідоцтвами та патентами. Ці розробки широко впроваджені в виробництво і використовуються вітчизняними і російськими машинобудівними заводами при створенні комплексів млинів нового покоління та заводами ФРГ і Чехії при виготовленні партії кульових млинів МШР 45×60 для Долинського ГЗК.

2. Розроблено новий методологічний підхід до дослідження напруженого стану барабанів млинів з застосуванням теорії подібності та моделюванням навантаження в полі відцентрових сил; встановлено закономірності та характер розподілу напруження в барабані, що послужило науковою основою для створення

рівностійких конструкцій барабанів млинів з мінімальною метало-місткістю.

3. Розроблено та обгрунтовано математичні моделі електроспоживання дробильно-збагачувальних фабрик, що дозволило оцінювати, прогнозувати та мінімізувати витрати електроенергії на фабриках; на цій науковій базі створено і впроваджено ряд науково-технічних рішень по економії енергоресурсів, в тому числі: безредукторний привід млинів самоподрібнення, розвантажувальні елеватори, а також переросподіл ступеня скорочення матеріалу між циклами дроблення та подрібнення і зменшення крупності дробленого продукту до 5-10 мм.

4. Розроблено науково-технічні основи роботи, математичні моделі та методи розрахунків основних параметрів відцентрових дезінтеграторів; науково обгрунтована та експериментально підтверджена ефективність застосування демпфіруючого підвісу розгонного ротора: гідростатичного, еластомірного та магнітного, які забезпечують ефективну компенсацію дисбалансів ротора.

5. Розроблена та реалізована в промисловість оригінальна (не маюча аналогів у світі) конструкція відцентрових дезінтеграторів з гідростатичним підвісом розгонного ротора продуктивністю 10 т/г (ЦД-10), тривала експлуатація яких в промислових умовах підтвердила надійність гідростатичного підвісу ротора та високу ефективність застосування дезінтеграторів ЦД-10 для дроблення руд та будівельних матеріалів до крупності 5-10мм; організовано промислове виробництво дезінтеграторів та їх впровадження в промисловість.

6. Створена конструкція дезінтегратора на механічних демпферах продуктивністю 50 т/г (ЦД-50) з самофутерованими розгонними елементами та гідравлічним приводом. Випробуваннями в виробничих умовах встановлено, що ступінь дроблення складала 10-12, середня крупність дробленого продукту 3-5 мм, питома витрата електроенергії 1,2-1,6 квт*г/т; встановлено значну економію електро-

енергії та покращення подрібнюваності і збагачуваності руди, підготовленої в дезінтеграторі порівняно з конусною дробаркою.

7. На створеній науковій базі по замовленю Запорізького залізорудного комбінату розроблено і виготовлено відцентрові дезінтегратори ЦД-100 продуктивністю 100-150 т/г, які впроваджені на спеціально збудованій фабриці з новою ресурсозберігаючою технологією переробки агломераційних руд, що дозволило виробляти конкурентноздібну на міжнародному ринкові продукцію.

8. Розроблено науково-технічні основи створення та технічне завдання на типорозмірний ряд відцентрових дезінтеграторів для переробки мінеральної сировини та промислових відходів продуктивністю 1, 10, 50, 100, 300 т/г; організовано промислове виробництво дезінтеграторів ЦД-1, ЦД-10, ЦД-100 для потреб України і країн СНГ, які по своїх параметрах конкурентноспроможні на світовому рівні.

9. Відцентрові дезінтегратори закладені в проект нової технології збагачення окислених руд Долинського ГЗК, що дозволить застосовувати одностадійну схему подрібнення, знизити витрати електроенергії та підвищити техніко-економічні показники збагачення руди, а також в проект підземного ГЗК і рекомендуються як перспективне устаткування для нових та модернізації існуючих підприємств.

10. Створене устаткування і технології більше 10 раз експонувались на ВДНГ та інших виставках, нагороджені 6-ю медалями та дипломами ВДНГ.

Фактичний річний економічний ефект, підтверджений підприємствами, від впровадження науково-технічних розробок автора в народне господарство, складає 6,6 млн. крб. при очікуваному 66,7 млн. крб. (у цінах до 1990 р.).

Найбільш важливі результати наукової діяльності автора по дослідженню, створенню та впровадженню нових науково-технічних

розробок відображені в 194-х наукових публікаціях (в.т.ч. в монографії), основні з яких слідуючі:

1. Потураев В.Н., Сокур Н.И. Мельницы самоизмельчения. - Киев: Наукова думка, 1988, -220с.

2. Сокур Н.И. Экономия энергоресурсов при дезинтеграции минерального сырья // Пути экономии ресурсов при обогащении руд: Сборник научных трудов / Минмет СССР. -М.: Недра, 1990, -С.3-8.

3. Сокур Н.И. О новой конструкции разгрузочных элеваторов барабанной мельницы // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед.научн.-техн.сб.-Киев:-Техника, 1982.-Вып.31.-С.25-27.

4. Сокур Н.И. Совершенствование и внедрение мельниц самоизмельчения большой единичной мощности // Черная металлургия. Бюл. науч.-техн. информ. 1979, - №13, -С.45-47.

5. Сокур Н.И. Создание новой конструкции разгрузочного устройства барабанной мельницы // Горное оборудование: НИИНФОМТЯЖМАШ.-1977, №20, -С.1-4.

6. Сокур Н.И. Новая конструкция разгрузочной части мельницы // Черная металлургия.Бюл.науч.-техн.информ.-1979, №16, -С.22.

7. Сокур Н.И. Внедрение новой конструкции разгрузочной решетки мельницы самоизмельчения // Цветная металлургия. -1981, №5,-С.18-19.

8. Сокур Н.И. Исследование и пути повышения надежности и ремонтно-пригодности мельниц самоизмельчения на Лебединском ГОКе // Металлургическое машиноведение и ремонт оборудования. Тематич. отрасл. сб. -1980, №9. -С.36-38.

9. Сокур Н.И. Внедрение новой конструкции узлов проточной части барабанных мельниц // Горное дело и обогащение руд. НИИ-Цветмет. -1987. -№5. -16 с.

10. Сокур Н.И. К вопросу разрушения минерального сырья в поле центробежных сил / Новые технологии для переработки руд: Отрасл.темат.сб. / Минпром Украины.-Кривой Рог, 1993.

11. Сокур Н.И. Исследование влияния способа дробления на технологические показатели обогащительного передела / Новые технологии для переработки руд: Отрасл. темат.сб. / Минпром Украины.-Кривой Рог, 1993.

12. Сокур Н.И. Исследование и создание типоразмерного ряда дезинтеграторов центробежного типа // Тез. докл. Всесоюзн.научн.-техн. конф.: Пути развития науки и техники при подготовке руд черных металлов к металлургическому переделу. - Кривой Рог, 1991, -С.46-48.

13. Сокур Н.И. Новые универсальные мельницы МШР 4000х7500 и МШЦ 4000х7500 // Оборудование для дезинтеграции минерального сырья: Сб. научн. трудов. Санкт-Петербург.-1992.

14. Сокур Н.И. Основы теории разрушения в поле центробежных сил // Обогащение руд. Санкт-Петербург.- 1995.- С.8-10.

15. Сокур Н.И., Соколовский А.К. О методике расчета конструктивных параметров разгрузочной камеры барабанной мельницы // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб.- Киев: Техника,1986.-Вып.36. -С.3-7.

16. Сокур Н.И., Соколовский А.К. Закономерности движения материала в разгрузочной части барабанной мельницы с принудительной разгрузкой // Гор. журн. -1981, №6. -С.51-53.

17. Сокур Н.И., Ширяев А.А., Корж В.П. Промышленные испытания новых мельниц МШР-40х75 и МШЦ-40х75 на обогащительной фабрике Ингулецкого ГОКа // Гор.журн. -1987, №7. -С.40-42.

18. Сокур Н.И., Флак П.М., Маковецкий В.Ф. Оборудование для обогащения руд черных металлов // Обогащение руд черных металлов. -1981, №10. -С.48-56.

19. Сокур Н.И., Ширяев А.А., Корж В.П. Промышленные испытания полусамоизмельчения железных руд // Горн.журн. -1984. №10. - С.83-86.

20. Сокур Н.И., Ширяев А.А., Корж В.П. и др. Испытание технологии комбинированного измельчения на Ингулецком ГОКе // Горн. журн. -1988. -№3, -С.35-37.

21. Промышленные испытания технологии комбинированного измельчения на СевГОКе /Н.И. Сокур, В.П.Корж, Л.Н.Халаджи и др. // Горн. журн. -1990, -№5, -С.41-43.

22. Сокур Н.И., Корж В.П., Юртаева А.В. Испытания новой технологии комбинированного измельчения на Ингулецком ГОКе // Горн. журн. -1990. -№6. -С.35-37.

23. Сокур Н.И., Дербас А.Г. О рациональной конструкции торцевых стенок барабанов мельниц самоизмельчения большого диаметра // Обогащение полезных ископаемых: Респ.межвед.науч.-техн.сб. - Киев: Техніка, 1978. -Вып.22. -С.21-25.

24. Состояние и перспективы развития технологии и оборудования для измельчения полезных ископаемых / М.Я.Антоньчев, Н.И.Сокур, А.А.Ширяев и др. // Черная металлургия, Бюл.научн.-техн.информ. 1990. №11, -С.2-11.

25. Сокур Н.И., Хорольский В.П., Бабец Е.К. Исследование и пути снижения расхода электроэнергии на ГОКах // Горн. журн., -1989, -№2, -С.51-54.

26. Сокур Н.И., Хорольский В.П., Бабец Е.К. Исследование и разработка математических моделей электропотребления ДОФ // Горн. журн. -1989. -№4, -С.47-48.

27. Сокур Н.И., Кияновский Н.В. Эмпирическая оптимизация геометрической структуры футеровок мельниц самоизмельчения // Горн. журн., -1991, -№1. -С.53.

28. Бережной Н.Н., Сокур Н.И. К вопросу распределения энергии в барабанных мельницах между измельчаемым материалом // Горн. журн., -1991, -№11, -С.45-48.

29. Сокур Н.И., Хорольский В.П., Москаленко И.В. Робототехнологическая схема управления процессами дезинтеграции и обога-

щения железных руд // Тез.докл.на Международном горном конгрессе. -Екатеринбург. -1992, -С.121-122.

30. Сокур Н.И., Хорольский В.П., Москаленко И.В. Исследование и разработка новой технологии обогащения окисленной аглоруды // Новые технологии для переработки руд: Отрасл.темат.сб. / Мин-пром Украины. -Кривой Рог, 1993.

31. Сокур Н.И., Учитель С.А., Калиниченко. Центробежные дезинтеграторы для мелкого дробления минерального сырья // Оборудование для дезинтеграции минерального сырья: Сб.науч.трудов. Санкт-Петербург, 1992.

32. Сокур Н.И., Потураев В.Н., Учитель С.А. Новый подход к теории разрушения материала свободным ударом в поле центробежных сил. // Тез.докл. Международной конференции: Теория и практика процессов измельчения и разделения. -Одесса, -1994 -С.8-11.

SUMMARY

Sokur N.I. Development of Scientific and Technical Fundamentals for Creation of Ore Disintegration Apparatus and Their Efficiency Increase.

The dissertation for competing the degree of Dr. of Techn. Sci. in speciality 05.15.16 - «Mining machines». Geotechnical Mechanics Institute of National Academy of Science in Ukraine, Dnepropetrovsk, 1997. The theoretical and experimental researches of drum mills and disintegrators of centrifugal type were conducted. It was established that the design of the drum the wall thickness of which changes according to the hyperbolic law $\delta = Kd^3/X^2$ is optimal and the mills with curvilinear inclination of elevators at 30-60° are most efficient. Scientific and technical fundamentals and mathematical models for centrifugal disintegrators were developed. It is shown that the new disintegrator design reduces the crushed material size

by 3 times, increases the productivity by 30% and reduces energy consumption for grinding by 20%. The new apparatus have found wide application in production and the data of their technoeconomic effectiveness are presented.

Key words: mill, disintegrator, new design, crushing, beneficiation, productivity, efficiency, energy, saving, economic effect.

АННОТАЦІЯ

Сокур М.І. Розробка науково-технічних основ створення і підвищення ефективності роботи апаратів для дезінтеграції руд.

Дисертація на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за фахом 05.15.16. - «Гірничі машини». Інститут геотехнічної механіки НАН України м.Дніпропетровськ, 1997.

Виконано теоретичні та експериментальні дослідження барабаних млинів та дезінтеграторів відцентрового типу. Встановлено, що оптимальною є конструкція барабана, товщина стінок якого змінюється по гіперболичному закону $\delta = Kd^3/X^2$, а найбільше ефективними є млини з криволінійними, нахиленими під кутом 30-60° елеваторами. Розроблені науково-технічні основи роботи і математичні моделі дезінтеграторів відцентрового типу. Показано, що створена нова конструкція дезінтегратора дозволяє зменшити в 3 рази крупність дроблення, підвищити на 30% продуктивність і знизити на 20% витрати електроенергії на подріблення. Здійснено широке промислове впровадження нових апаратів, подаються дані про їх технічну та економічну ефективність. Результати роботи викладені в монографії, 124 наукових статях, 69 винаходах.

Ключові слова: млин, дезінтегратор, нова конструкція, подріблення, збагачення, продуктивність, ефективність, енергозбереження, економоефект, впровадження, виробництво.

Автореферат

Відповідальний за випуск В.Г.Перепелиця

РТП КТУ м.Кривий Ріг, вул. XXII партз'їзду, 11. Зам. 21.

Тираж 100 екз., обсяг 2 друк. арк. Підписано до друку 07.04.97.

125555

AB 37.607