

МІНІСТЕРСТВО НАУКИ ТА ОСВІТИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Убай Юсеф Саламах Аль - Мададха**

УДК 621.926.534.16

**АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ СТУПЕНЯ  
ЗДРІБНЕННЯ РУДИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ  
ФЛОТАЦІЙНОГО ТА МАГНІТНОГО ЗБАГАЧЕННЯ**

Спеціальність:

05.13.07 - «Автоматизація процесів керування»

**Автореферат**

дисертації на здобуття ступеня

кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному гірничому університеті (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти та науки України на кафедрі економічної кібернетики й інформаційних технологій.

- Наукові керівники**
- доктор технічних наук, професор **Воронов Валентин Андрійович**, професор кафедри економічної кібернетики й інформаційних технологій Національного гірничого університету Міністерства освіти та науки України (м. Дніпропетровськ);
  - доктор технічних наук, професор **Кочура Євген Віталійович**, завідувач кафедрою економічної кібернетики й інформаційних технологій Національного гірничого університету Міністерства освіти та науки України (м. Дніпропетровськ).
- Офіційні опоненти:**
- доктор технічних наук, професор **Моркун Володимир Станіславович**, начальник науково-дослідної частини Криворізького технічного університету Міністерства освіти та науки України.
  - доктор технічних наук, професор **Слесарєв Володимир Вікторович**, завідувач кафедри системного аналізу і управління, декан факультету інформаційних технологій Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 р. в \_\_\_ годин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 Національного гірничого університету Міністерства освіти та науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, просп. К.Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного гірничого університету Міністерства освіти та науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, просп. К.Маркса, 19.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
к.т.н., доц.

О.О. Азюковський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Україна має великі запаси руд чорних і кольорових металів, які є сировинною базою її економіки. Завданням автоматизації здрібнення перед флотаційним або магнітним збагаченням є розкриття руд зі змінними фізико-механічними властивостями, тобто здрібнення їх до такої оптимальної крупності при якій частки корисного мінералу дезінтегруються з порожньою породою, що забезпечує максимальну ефективність збагачення руди. Питанням автоматизації процесів здрібнення присвячені роботи вчених: Бунько В.О., Воронова В.А., Качана Ю.Г., Кочури Є.В., Марюти О.М., Моркуна В.С., Новицького І.В., Процуто В.С., Тихонова О.М., Хорольського В.П., А. Лінча, Д. Гілберта та ін. Але, дотепер на всіх збагачувальних фабриках світу відсутні методологічні й технічні можливості автоматично подрібнювати руду до оптимальної крупності розкриття, тобто забезпечити відокремлення корисного мінералу від порожньої породи.

Відомі методи й системи автоматичного контролю гранулометричного складу продукту здрібнення, засновані на контролі щільності пульпи, ультразвукові й механічні гранулометри можуть побічно контролювати тільки розміри твердих часток і принципово не можуть контролювати ступінь здрібнення й розкриття руди, тобто недоздрібнення, перездрібнення або оптимальне здрібнення. Вони не розрізняють розміри, яких саме часток контролюються, чи то це частки порожньої породи, чи то це частки корисного мінералу або зростки корисного мінералу й порожньої породи.

Рішення науково-технічного завдання автоматичного контролю ступеня здрібнення руди дозволить поліпшити техніко-економічні показники збагачення руд, підвищити якість металургійних концентратів руд чорних і кольорових металів, тому тема дисертації є актуальною.

*Наукова задача дисертації* полягає у розробці методу автоматичного контролю ступеня здрібнення руд зі змінними фізико-механічними властивостями на основі встановлення закономірностей поділу та кореляції продуктів здрібнення в робочій зоні флотаційних машин і магнітних сепараторів та застосування промислових збагачувальних апаратів як аналізаторів ступеня здрібнення руди.

**Зв'язок з державними програмами, планами науково-дослідних робіт.** Робота виконана відповідно до державної програми «Розвиток і реформування гірничо-металургійного комплексу України до 2010 року».

Автор дисертації брав участь як виконавець при виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи «Автоматизація процесів рудопідготовки та збагачення руд на основі використання принципу пілотного апарату» (ДР № 0106U008092).

Результати дослідження з цієї роботи, отримані автором особисто, представлені в дисертаційній роботі.

**Мета й завдання дослідження.** Метою дисертації є розробка методу автоматичного контролю ступеня здрібнення руди на основі оцінки розкриття мінералів за допомогою пілотного збагачувального апарата й наукове обґрунтування застосування цього методу при автоматичній оптимізації гранулометричного складу твердої фази пульпи на виході здрібнювальних агрегатів.

Сформульована мета роботи обумовила необхідність рішень наступних завдань:

- встановити закономірність поділу та кореляції продуктів здрібнення в робочій зоні збагачувальних апаратів з метою обґрунтування методу автоматичного контролю ступеня здрібнення руди;
- провести спільний аналіз непрямих оцінок розкриття руд і критеріїв ефективності збагачення;
- синтезувати структуру системи автоматичного контролю ступеня здрібнення руди при флотаційному і магнітному збагаченні;
- розробити методи й технічні засоби автоматичного контролю масової частки заліза в зоні виділення хвостів магнітного сепаратора для реалізації системи автоматичного контролю ступеня здрібнення залізних руд;
- провести експериментальне дослідження в промислових умовах системи автоматичного контролю ступеня здрібнення залізних руд;
- провести експериментальні дослідження в промислових умовах системи автоматичної оптимізації ступеня здрібнення руди кольорових металів при флотаційному збагаченні.

**Об'єкт дослідження:** технологічні процеси здрібнення, механічної класифікації, флотаційного й магнітного збагачення руди.

**Предмет дослідження:** методи автоматичного контролю і регулювання крупності часток твердої фази пульпи в зливні механічних класифікаторів.

**Методи дослідження:**

- аналіз вітчизняного й закордонного досвіду, систематизація відомих методів і систем автоматичного контролю й оптимізації здрібнювальних агрегатів – для постановки цілей і завдань дослідження;
- теоретичні основи процесів здрібнення, класифікації й збагачення руд, теорія автоматичного контролю технологічних параметрів збагачення руд – для обґрунтування методу непрямой оцінки ступеня здрібнення руди;
- методи теорії ймовірностей, математичної статистики для обґрунтування алгоритмів автоматичного контролю ступеня здрібнення руди;
- методи теорії оптимізації, розпізнавання образів для розробки алгоритмів автоматичної оптимізації ступеня здрібнення руди.

**Наукова новизна отриманих результатів** знайшла своє відбиття в наукових положеннях і результатах роботи:

**Наукові положення:**

1. Коефіцієнт кореляції між масовими частками металу в концентраті й хвостах збагачувального апарата є непрямою оцінкою ступеня здрібнення руди в процесах рудопідготовки, причому знак коефіцієнта кореляції є позитивним при недоздрібненні руди й негативним при перездрібненні руди, що дозволяє розробити метод автоматичного контролю ступеня здрібнення руди зі змінної крупністю вкраплення металу, що на відміну від відомих методів автоматичного контролю крупності часток твердої фази пульпи в зливні апаратів, що класифікують, дозволяє зменшити недоздрібнення й перездрібнення руди, підвищити ефективність її збагачення, якість концентрату, знизити питомі витрати електроенергії й втрати металу у хвостах.

2. Мінімальне абсолютне значення коефіцієнта кореляції між масовими частками металу в концентраті й хвостах збагачувального апарата відповідає мінімальній кількості зростків корисного мінералу й порожньої породи в продукті здрібнення, що надходить на збагачення, а також оптимального ступеня здрібнення руди і є новим критерієм оптимізації процесів рудопідготовки, що на відміну від відомого критерія - максимального вмісту заданого класу крупності в продукті здрібнення, дозволяє автоматично оптимізувати крупність руди зі змінною крупністю вкраплення металу, підвищити ефективність процесів рудопідготовки й збагачення, якість концентрату й знизити втрати металу у хвостах.

**Наукові результати**

1. Отримані нові аналітичні залежності, що пов'язують випадкові величини масових часток металу в концентраті й хвостах збагачувального апарата з умовами оптимального розкриття руди, що дозволяють теоретично обґрунтувати критерій автоматичної оптимізації гранулометричного складу твердої фази пульпи на виході здрібнювального агрегату.

2. Отримані нові рівняння регресії, що пов'язують критерії ефективності розподілу при збагаченні руд і коефіцієнт кореляції між масовими частками металу в концентраті й хвостах збагачувального апарата, що дозволяє обґрунтувати новий критерій автоматичної оптимізації процесів здрібнення й збагачення руд.

3. Отримані нові аналітичні залежності, що описують умови оптимального розподілу чутливих елементів, що вимірюють магнітну індукцію магнітного поля в зоні виділення хвостів магнітного сепаратора, що дало можливість підвищити чутливість методу виміру масової частки заліза у хвостах і розробити систему автоматичного контролю ступеня здрібнення руди на основі застосування промислового магнітного сепаратора.

4. Науково обґрунтовані технічні вимоги до функціонально-алгоритмічних структур систем автоматичного контролю й оптимізації крупності здрібнення руди в циклі здрібнення й класифікації, що дозволяє підвищити продуктивність і якість концентрату на виході технологічних комплексів збагачення руд.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в розробці методу автоматичного контролю й оптимізації гранулометричного складу продукту здрібнення й класифікації руди на основі непрямой оцінки ступеня здрібнення руди за допомогою пілотного збагачувального апарата, що дозволяє знизити витрати електроенергії на здрібнення руди, підвищити масову частку металів у концентратах руд чорних і кольорових металів, знизити втрати металів у відходах.

*Реалізація висновків і рекомендацій.* Результати роботи прийняті до впровадження ВАТ «Проектний інститут «Металлургавтоматика» у проект АСУТП збагачувальної фабрики Криворізького гірничо-збагачувального комбінату (проект 042544-АСУІ, проекту автоматизації секції 10, 12 рудозбагачувальної фабрики № 2 ВАТ «Арселор МІТАЛ Кривий Ріг», довідка № 416).

**Особистий внесок автора.** Автор самостійно сформулював завдання дослідження, наукові положення і результати, виконав теоретичну і практичну частину роботи. Зміст дисертації викладений автором самостійно.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення роботи доповідалися на сьомій міжнародній науково-практичній методичній конференції «Інформаційні технології в області дистанційної освіти міжнародного співробітництва й інтеграції освіти, науки й виробництва» (м. Дніпропетровськ 2009), міжнародної науково-технічної конференції «Інтегровані системи керування в гірничо-металургійному комплексі (ІСКГМК-2009), м. Кривий Ріг, 2009».

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 4 статті у науково-технічних журналах і збірниках наукових праць, рекомендованих ВАК України та одна теза доповіді на міжнародній конференції.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу й чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи - 154 стор., з них 138 стор. - основний текст. Дисертація містить 55 рисунків, 3 - таблиці, список використаних джерел з 120 найменувань на 12 стор., 2 додатки на 4 стор.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета й завдання досліджень. Наведені наукові положення й результати, наукова новизна й практична цінність роботи.

У **першому розділі** виконаний аналіз сучасного стану автоматизації процесів здрібнення на збагачувальних фабриках руд чорних і кольорових металів, що дозволило зробити наступні висновки:

- найпоширеніший критерій автоматичного керування циклами здрібнення - максимальна продуктивність щодо «готового» класу - 0,074 мм можливо застосовувати тільки при постійних властивостях руди, що переробляється. Цей критерій недоцільно використовувати при здрібненні та збагаченні руди зі змінними властивостями;

- відомі математичні моделі розкриття руди можуть бути застосовані тільки для використання й моделювання циклів здрібнення при їх розрахунку й проектуванні;

- при зміні типів збагачуваних руд і крупності вкраплення металу існуючі системи автоматичного регулювання щільності зливу апаратів, що класифікують, і крупності твердої фази пульпи в зливні класифікаторів не забезпечують оптимальний ступінь розкриття руди;

- відомі системи автоматичного контролю крупності часток твердої фази пульпи не можуть бути застосовані для визначення необхідного ступеня здрібнення руди тому що вони не розрізняють частки порожньої породи, мінералу й зростків;

У розділі виконана постановка цілей і завдань досліджень.

У **другому розділі** дисертації виконано теоретичне й експериментальне обґрунтування методу автоматичного контролю ступеня здрібнення руди на основі оцінки розкриття мінералів за допомогою промислового збагачувального апарата.

Виходячи з аналізу процесів масопереноса в робочих зонах збагачувальних апаратів - магнітних сепараторів і флотаційних машин, висунута наукова гіпотеза, що при недоздрібнення руди джерелом позитивного кореляційного зв'язку між масовими частками металу в концентраті й хвостах збагачувального апарата є зростки корисного мінералу й порожньої породи, які потрапляють у концентрат і хвости. Причому, якщо зростків стає більше, то масові частки металу в концентраті й хвостах збільшуються й навпаки. Теоретично при повному розкритті зростків здрібненням, зростки відсутні, і якщо збагачувальний апарат має східчасту сепараційну характеристику, то частки корисного мінералу потрапляють у концентрат, а частки порожньої породи у хвости. Тому вищеназваний кореляційний зв'язок буде відсутній. При подальшому зменшенні

крупності подрібнення руди нижче припустимого збагачувальним апаратом межі, порушується режим збагачення й збагачувальний апарат переходить із режиму збагачення у режим пульпорозподільника. У цьому випадку при перездрібненні руди виникає негативний кореляційний зв'язок між масовими частками металу в концентраті й хвостах. Тобто, якщо металу в концентраті стає більше, то у хвостах його стає менше й навпаки.

Виходячи з теоретичного аналізу сепараційних характеристик збагачувальних апаратів були отримані залежності для оцінки впливу крутості сепараційної характеристики на масові частки металу в концентраті й хвостах, при повному розкритті руди:

$$\beta_K = \beta_M, \quad (1)$$

$$\beta_X = \frac{C_M \beta_M e^{-\frac{\beta_M}{T}}}{C_M + C_M e^{-\frac{\beta_M}{T}}}, \quad (2)$$

де  $\beta_M, \beta_K, \beta_X$  – відповідно масові частки металу в корисному мінералі, концентраті й хвостах;  $C_M$  – масова частка корисного мінералу у руді;  $T$  – параметр, що характеризує крутість сепараційної характеристики.

Як видно з залежностей (1) і (2) масова частка  $\beta_K$  металу в концентраті при повному розкритті на відміну від масової частки  $\beta_X$  металу у хвостах не залежить від крутості сепараційної характеристики. У такий спосіб при повному розкритті мінералів джерело кореляційного зв'язку між  $\beta_K$  і  $\beta_X$  є виключеним.

Автором дисертаційної роботи за результатами імітаційного моделювання технологічного комплексу магнітного збагачення руд були розраховані коефіцієнти кореляції між масовими частками заліза в концентраті й хвостах  $R_{\beta_K \beta_X}$  і ефективність збагачення  $\varepsilon$ . Результати розрахунку наведені на рис. 1.

Рис. 1. Результати імітаційного моделювання процесу подрібнювання, класифікації і магнітної сепарації

I - перездрібнення; II – зона оптимального здрібнення; III – зона недоздрібнення.



Аналіз рис. 1 показує, що при перездрибнюванні руди і вилученні  $\varepsilon < 0,875$  коефіцієнт кореляції  $R_{\beta_k\beta_x} < 0$ , а при недоздрибнюванні руди  $R_{\beta_k\beta_x} > 0$ .

Оптимальної крупності подрібнювання руди відповідають мінімальні абсолютні значення коефіцієнта кореляції  $R_{\beta_k\beta_x}$ .

За даними технологічних випробувань комплексу, флотаційного збагачення мідної руди гірничо-металургійного комбінату «Ерденет» був експериментально перевірений статистичний зв'язок між критеріями ефективності збагачення й коефіцієнтом кореляції між масовими частками металу в концентраті й хвостах.

Розглядалися відомі критерії ефективності збагачення: вилучення  $\varepsilon$ , ступінь збагачення  $\rho$ , критерій Хенкера-Маджумдара  $c$ , коефіцієнт селективності Трушлевича  $S_T$ , індекс селективності Годена  $S_A$ , критерій Ханкока-Луйкена  $E_O$ , коефіцієнт поділу Коэна  $E_K$ , коефіцієнт збагачення Розена  $E_p$ .

Дані реєструвалися автоматичною системою відбору, доставки й аналізу технологічних проб «Кур'єр -300».

У результаті розрахунків були отримані наступні регресійні залежності:

$$\begin{aligned} r &= 0,696 - 5,64 \cdot 10^{-3} \varepsilon; & r &= 0,455 - 0,0127\rho; & r &= 0,595 - 0,0267c; \\ r &= 0,459 - 0,013S_T; \\ r &= 0,365 - 3,73 \cdot 10^{-3} S_T; & r &= 1,041 - 1,058E_x; & r &= 0,435 - 0,01E_K; & r &= 0,562 - 3,73 \cdot 10^{-3} E_p \end{aligned} \quad (3)$$

Аналіз залежностей (3) показує, що в досліджуваному діапазоні, збільшення кожного із всіх відомих критеріїв ефективності збагачення відповідає зменшенню коефіцієнта кореляції між масовими частками металу в концентраті й хвостах, що підтверджує теоретичні результати досліджень.

У **третьому розділі** наведені результати розробки й експериментальних досліджень системи автоматичного контролю ступеня здрибнення магнетитової руди (рис. 2)

Алгоритм роботи системи наступний:

$$\left| \begin{array}{l} \text{и, якщо } R_{\beta_k\beta_x} > 0 \\ \text{и, якщо } R_{\beta_k\beta_x} < 0 \\ \text{и, якщо } R_{\beta_k\beta_x} = 0 \end{array} \right| \quad (4)$$

де:  $-u$  - відповідає сигналу «якщо здрибнення»;  $+u$  - відповідає сигналу «перездрибнення»;  $0$  - відсутність сигналу відповідає нормальному розкриттю руди.

Слід зазначити необхідність перевірки гіпотези  $R_{\beta_k\beta_x} = \bar{r} = 0$ , що відповідає оптимальному розкриттю руди.

Якщо для обчисленого за вибіркою  $\bar{r}$  справедливо  $|\bar{r}| > Z_\alpha S_r$ , то гіпотеза  $\bar{r} = 0$  відхиляється. У протилежному випадку гіпотеза  $\bar{r} = 0$  приймається.

При цьому,

де  $n$  - число експериментів, за якими розраховувався коефіцієнт кореляції.

$Z_\alpha$  - обчислюється з таблиць інтеграла ймовірності нормованого центрованого нормального розподілу для заданої міри надійності  $\alpha$ .

Для реалізації системи автоматичного контролю результатів розкриття руди була поставлена задача розробити високочутливу систему автоматичного контролю масової частки заліза у хвостах, засновану на застосуванні датчиків Холла. З цією метою була досліджена залежність магнітної індукції магнітного поля в зоні виділення хвостів від масової частки заліза у хвостах. Була виконана оптимізація вимірів магнітної індукції розподіленого у просторі магнітного поля в зоні виділення хвостів магнітного сепаратора. Було встановлено, що мінімальна дисперсія вимірів магнітної індукції магнітного поля забезпечується при кроці розміщення датчиків Холла рівному кроку магнітної системи сепаратора.

Результати експериментальних досліджень системи автоматичного контролю масової частки заліза у хвостах магнітного сепаратора, (рис. 3) показали, що відносна погрішність вимірів склала 5,28%.

Експериментальні дослідження системи автоматичного контролю ступеня здрібнення руди виконані у відповідності зі схемою рис.4.

Рис.2 Функціональна схема системи автоматичного контролю результатів рудопідготовки при магнітному збагаченні руди

1 – барабан магнітного сепаратора; 2 – магнітна система; 3 – зона виділення хвостів; 4 – зона виділення концентрату; 5 – датчики магнітної індукції магнітного поля; 6,7 – підсилювально-перетворювальний блок виміру масової частки заліза по величині магнітної індукції в робочій зоні й зоні виділення хвостів;  $\omega$  - кутова швидкість обертання барабана;  $\gamma_K, \beta_K$  - відповідно вихід і масова частка магнітного заліза в концентраті;  $\gamma_X, \beta_X$  - відповідно вихід і масова частка магнітного заліза у хвостах;  $Q, \alpha$  - відповідно продуктивність і масова частка заліза в живленні сепаратора; 8 – корелятор, що обчислює коефіцієнт кореляції  $R_{\beta_K \beta_X}$ ; 9 - логічний пристрій;  $\pm u$  - вихідна напруга логічного пристрою.

Під час експериментальних досліджень послідовно встановлювалися щільності зливу класифікатора  $\gamma_1 = 1,3 \frac{T}{M^3}$ ;  $1,6 \frac{T}{M^3}$ ;  $1,9 \frac{T}{M^3}$ .

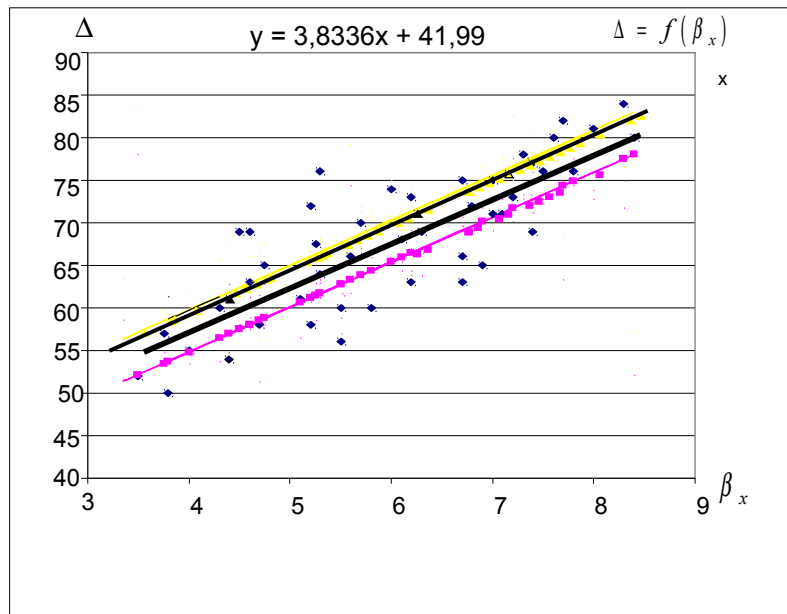


Рис. 3. Статична характеристика системи автоматичного контролю масової частки заліза у хвостах

При кожній щільності зливу знімалися показання з моста  $M$  и потенціометра  $\Pi$ , шкали яких наведені в % масової частки заліза в концентраті  $\beta$  й хвостах.

Результати експериментальних досліджень системи автоматичного контролю ступеня здрібнення руди наведені на рис. 5, 6. При  $\gamma_1 = 1,6 \frac{T}{M^3}$  кореляційний зв'язок між масовими частками заліза в концентраті й хвостах відсутній.

При недоздрібненні коефіцієнт кореляції між масовими частками заліза в концентраті й хвостах позитивний,  $R_{\beta_{kv}} > 0$ . При перездрібненні руди коефіцієнт кореляції між масовими частками заліза в концентраті й хвостах – негативний,  $R_{\beta_{kv}} < 0$ . При оптимальному ступені розкриття руди, що відповідає для нашого експерименту максимальному значенню вилучення заліза  $\varepsilon = 0,85$ , коефіцієнт кореляції між масовими частками заліза в концентраті й хвостах дорівнює нулю,  $R_{\beta_{kv}} \approx 0$ . Система автоматичного контролю ступеня здрібнення руди показала себе працездатною в промислових умовах.

У четвертому розділі виконане наукове обґрунтування функціонально-алгоритмічних структур систем автоматичної оптимізації ступеня здрібнення руд чорних і кольорових металів і наведені результати експериментальних досліджень цих систем у промислових умовах збагачувальних фабрик.

Рис. 4. Схема експериментальних досліджень системи автоматичного контролю ступеня подрібнення руди

М – млин; СК – спіральний класифікатор; МС – магнітний сепаратор; Л – лабораторія; Q – продуктивність по вихідній руді; Вк – витрата води в класифікатор; ДП – давач щільності; Р – регулятор;  $\gamma_0$  - завдання щільності зливу класифікатора; 1 – магнітний резистор; 2 – давачі Холла; М – автоматичний міст; П – потенціометр;  $\beta, \nu$  – масові частки заліза в концентраті й хвостах; НБ – ноутбук;  $R_{\beta, \nu}$  – коефіцієнт кореляції між масовими частками заліза в концентраті й хвостах.

За базову обрана функціональна схема системи автоматизації замкнутого циклу здрібнення, що працює з послідовно з'єднаною флотаційною машиною розроблена для умов збагачувальної фабрики збагачення мідних руд комбінату «Ерденет» (Монголія), що має вигляд, наведений на рис. 7. За базовий алгоритм був обраний алгоритм автоматичної оптимізації MELNIK, розроблений на основі ситуаційного керування й К-S перетворення ВАТ «Механобрінженірінг».

**v**

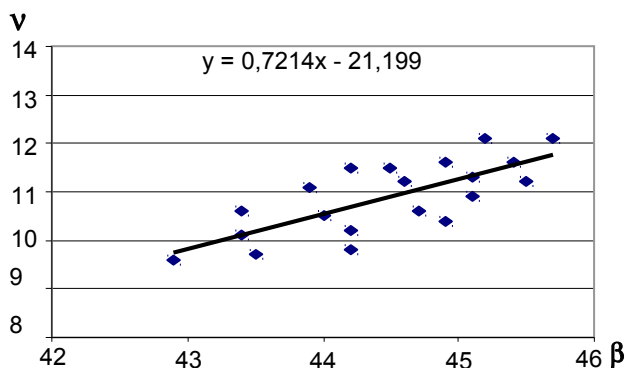


Рис. 5. Поле кореляції масових часток заліза в концентраті й хвостах при  $\gamma = 1,3 \frac{\text{T}}{\text{M}^3}$  й Perezdrіbnyovannі руди

Рис. 6. Поле кореляції масових часток заліза в концентраті й хвостах при  $\gamma = 1,9 \frac{\text{T}}{\text{M}^3}$  й недоздріbnyovannі руди

На підставі запропонованого в дисертації критерія оптимізації, яким є мінімум коефіцієнта кореляції між масовими частками металу в концентраті й хвостах:  $R_{\beta_1\beta_2} \rightarrow \min$ , було зроблене перекодування технологічних ситуацій таким чином, що критерій  $B_{(-0,074)}$  був замінений на критерій  $R_{\beta_1\beta_2}$ . Новому алгоритму була надана назва MELNIK-R. Були проведені порівняльні випробування алгоритмів MELNIK і MELNIK-R у продовж 72 годин.

Результати випробувань показали, що керування за запропонованим критерієм підвищило вилучення міді в концентрат на 6,07%, а вилучення молібдену на 10,09%.

Експериментальні дослідження автоматизованої системи оптимізації циклу здріbнення залізних руд із млином мокрого самоздріbнення (див. мал. 6) проводилися в умовах фабрики збагачення №3 Лебединського гірничо-збагачувального комбінату. Дослідження проводилися у двох режимах роботи. Перший режим - ключ 14 у положенні «К». Це режим автоматичної стабілізації заданого значення масової частки заліза в концентраті шляхом корекції завдання системи автоматичного регулювання щільності зливу класифікатора. Другий режим, ключ 14 у положенні «R». Це режим автоматизованої оптимізації ступеня здріbнення руди за мінімумом коефіцієнта кореляції між масовими частками заліза в концентраті й хвостах, за допомогою людини-оператора 27.

Алгоритм автоматизованої оптимізації реалізується людиною-оператором, що розраховує коефіцієнт кореляції за допомогою ноутбука 25 і оцінює технологічну ситуацію та приймає рішення з корекції щільності зливу. Експериментальні дослідження проводилися протягом 22 днів на одній і тій же секції збагачувальної фабрики.

Крок корекції щільності пульпи  $\Delta \gamma = \pm 20 \frac{\text{T}}{\text{M}^3}$  визначався експериментально відповідно до мінімального порога чутливості. Під час експерименту відбиралися через 4 години проби руди, концентрату й хвостів. За результатами аналізу цих проб у лабораторії відділу технічного контролю – визначалися значення вилучення заліза в концентрат  $\varepsilon$ . Аналіз експериментальних даних показав, що при роботі системи автоматичного регулювання якості концентрату середньоарифметичне значення вилучення заліза в концентрат склало:  $\bar{\varepsilon}_k = 0,83\%$ . При роботі автоматизованої системи

оптимізації середньоарифметичне значення вилучення заліза в концентрат склало:  $\bar{\varepsilon}_R = 0,89\%$ .

Рис. 7. Функціональна схема автоматизації технологічного комплексу флотаційного збагачення

МШР – млин; СК – спіральний класифікатор; ФМ – флотомашина; Б – бункер з рудою; ДО – конвеєр; ВП – віброживлювач; КВ – конвеєрні ваги; П – датчик щільності; ПО1, ПО2 – автоматичні пробовідбірники; Вм, Вк – відповідно витрати води в млин і класифікатор; Q - продуктивність по переробленій руді;  $\gamma$  – щільність зливу класифікатора; САК – система автоматизованого контролю; ПКРС - промислова комп'ютерна робоча станція.

Підвищення середньоарифметичного значення вилучення склало:  $\Delta \bar{\varepsilon} = \bar{\varepsilon}_R - \bar{\varepsilon}_k = 0,06$  абсолютних величин або 7,2% відносних одиниць.

Розроблені пропозиції щодо технічної реалізації системи автоматичної оптимізації на базі промислової комп'ютерної робочої станції.

У **висновку** наведені основні результати й висновки дисертації.

Дисертація є завершеною науковою роботою у якій вирішена актуальна науково-практична задача розробки методу автоматичного контролю ступеня здрібнення руд чорних і кольорових металів, а саме недоздрібнення, оптимального здрібнення й перездрібнення руд, що дозволило підвищити вилучення металів у концентрати, підвищити металургійну цінність концентратів руд чорних і кольорових металів.

Рис. 8. Схема експериментальних досліджень автоматизованої системи оптимізації циклу здрібнення залізної руди

1 – бункер з рудою, 2 – віброживлювач; 3 – конвеєр; 4 – млин; 5 – класифікатор; 6 – пульподільювач; 7,8,9,10 – магнітні сепаратори; 11 – давач щільності; 12,21 – регулювальні клапани витрати води; 13 – регулятор щільності зливу; 14 – перемикач режиму роботи; 15 – давач масової частки заліза в концентраті; 16 – давач масової частки заліза в хвостах; 18 – конвеєрні ваги; 19 – регулятор завантаження; 20 – витратомір; 22 – регулятор співвідношення « руда-вода»;  $\gamma_0$  - оптимальне завдання щільності зливу;  $\beta_k$  – масова частка заліза в концентраті;  $\beta_x$  – масова частка заліза у хвостах; 23,24 – вторинні прилади; 25 - коррелятор (ноутбук); 26 - регулятор масової частки заліза в концентраті; 27 - людина-оператор

Основні висновки і результати роботи полягають у наступному:

1. Запропонований новий критерій оптимізації процесів здрібнення й класифікації руди - мінімум коефіцієнта кореляції між масовими частками металу в концентраті й хвостах збагачувального апарата.

2. Отримані нові рівняння регресії, що пов'язують критерій ефективності поділу при збагаченні руд і коефіцієнт кореляції між масовими частками металу в концентраті й хвостах збагачувального апарата, що дозволяє обґрунтувати новий критерій автоматичної оптимізації процесів рудопідготовки й збагачення руд.

3. Отримані нові аналітичні залежності, що описують умови оптимального розподілу чутливих елементів, що вимірюють просторово розподілене магнітне поле в зоні виділення хвостів магнітного сепаратора, що дало можливість підвищити чутливість методу виміру масової частки заліза у хвостах і розробити систему автоматичного контролю ступеня здрібнення залізної руди.

4. Науково обґрунтовані технічні вимоги до функціонально-алгоритмічних структур систем автоматичного контролю й оптимізації крупності здрібнення чорних і кольорових металів руди в циклах здрібнення й класифікації, що дозволяє підвищити вилучення металів у концентрати руд чорних і кольорових металів і їх металургійну цінність.

5. Розроблена система автоматичного контролю масової частки заліза у хвостах магнітного сепаратора, що пройшла експериментальні дослідження в промислових умовах. Точність контролю масової частки заліза склала менш 5% відносних одиниць.

6. . Результати роботи прийняті до впровадження ВАТ «Проектний інститут «Металургавтоматика» в проекти АСУТП збагачувальних фабрик Криворізького ГЗК та ВАТ «Арселор МІТАЛ Кривий Ріг».

### ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Убай Юсеф Саламах Аль-Мададха. Теоретическое обоснование критерия автоматической оптимизации измельчения руд на основе косвенной оценки раскрытия минералов / В.А. Воронов, Убай Юсеф Саламах Аль - Мададха // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. - № 2. – С. 85-89.

2. Убай Юсеф Саламах Аль-Мададха. Анализ критериев управления эффективностью обогащения и косвенных оценок раскрытия руды / В.А. Воронов, Убай Юсеф Саламах Аль-Мададха // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. - № 1. – С. 77-80.

3. Убай Юсеф Саламах Аль-Мададха. Система автоматической оптимизации крупности помола железной руды в замкнутом цикле измельчения / Убай Юсеф Саламах Аль - Мададха // Гірничая електромеханіка та автоматика. – 2008. - № 81 . С. 120-124

4. Убай Юсеф Саламах Аль-Мададха. Автоматический контроль массовой доли железа в хвостах магнитного сепаратора. Убай Юсеф Саламах Аль - Мададха // Науковий вісник Національного гірничого університету.- 2009. - №1. – С. 66-68.

5. Убай Юсеф Саламах Аль-Мададха. Автоматическая оптимизация крупности измельчения руды на основе оценки раскрытия минералов / Е.В. Кочура, Убай Юсеф Саламах Аль - Мададха // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інтегровані системи керування в гірничо-металургійному комплексі» (ІСГМК-2008) м.Кривий Ріг, 2008. Академический вестник Международной академии компьютерных наук и систем. – 2008. - № 21-22. – С. 62 – 65.

Особистий внесок автора в роботи, написані в співавторстві: [1] – наукове обґрунтування критерія оптимізації ступеня здрібнення руди – мінімуму коефіцієнта кореляції між масовими частками металу в концентраті і хвостах



збагачувального апарату; [2] – розробка методики та математична обробка експериментальних досліджень, аналіз результатів; [3] – наукове обґрунтування функціонально-алгоритмічної структури системи автоматичної оптимізації крупності здрібнення руди.

### **АНОТАЦІЯ**

Убай Юсеф Саламах Аль-Мададха. Автоматичний контроль ступеня здрібнення руди в технологічних комплексах флотаційного та магнітного збагачення.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування. Національний гірничий університет. Дніпропетровськ, 2010.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми автоматичного контролю ступеня здрібнення руди в технологічних комплексах флотаційного та магнітного збагачення на основі встановлення нових закономірностей розділення та кореляції продуктів здрібнення руди у робочих зонах збагачувальних апаратів та використання промислових флотаційних машин та магнітних сепараторів як природних аналізаторів ступеня здрібнення руди.

Науково обґрунтовані функціонально-алгоритмічні структури та технічні вимоги до систем автоматичного контролю ступеня здрібнення руди та до систем автоматичного управління технологічними комплексами флотаційного та магнітного збагачення.

Результати роботи впроваджені в проект і можуть бути використані на флотаційних та магнітозбагачувальних фабриках руд кольорових та чорних металів.

Ключові слова: збагачення руд, подрібнення руд, автоматичний контроль та оптимізація, системи та алгоритми автоматичного контролю.

### **АННОТАЦИЯ**

Убай Юсеф Саламах Аль - Мададха. Автоматический контроль степени измельчения руды в технологических комплексах флотационного и магнитного обогащения.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. Национальный горный университет. Днепропетровск, 2010.

Решена актуальная научно-техническая задача научного обоснования метода автоматического контроля степени измельчения руд черных и цветных металлов, а именно недоизмельчения, оптимального измельчения и переизмельчения руд при их обогащении на основании косвенной оценки

степени раскрытия минералов, что позволило разработать функционально-алгоритмические структуры систем автоматической оптимизации процессов измельчения и классификации руд, повышающие эффективность процесса обогащения. Это позволило повысить извлечения металлов в концентраты, повысить металлургическую ценность концентратов руд черных и цветных металлов. Предложен новый критерий оптимизации процессов измельчения и классификации руды – минимум коэффициента корреляции между массовыми долями металла в концентрате и хвостах обогатительного аппарата, который предложено использовать в качестве анализатора раскрытия руды.

Получены новые уравнения регрессии связывающие критерии эффективности разделения при обогащении руд и коэффициент корреляции между массовыми долями металла в концентрате и хвостах обогатительного аппарата, что позволяет обосновать новый критерий автоматической оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения руд.

Научно обоснованы технические требования к функционально-алгоритмическим структурам систем автоматического контроля и оптимизации крупности помола руды в цикле измельчения и классификации, что позволяет повысить извлечение металлов в концентраты руд черных и цветных металлов и их металлургическую ценность.

Разработана система автоматического контроля массовой доли железа в хвостах магнитного сепаратора, которая прошла экспериментальные исследования в промышленных условиях. Точность контроля массовой доли железа составила менее 5% относительных единиц.

Разработана система автоматического контроля степени измельчения железной руды, построенная на базе промышленного магнитного сепаратора. Выполнены сравнительные экспериментальные исследования системы автоматической оптимизации технологического комплекса флотационного обогащения медной руды в условиях горно-металлургического комбината «Эрдэнэт». Сравнивалась эффективность двух критериев оптимизации: максимальная производительность по готовому ( $- 0,074$  мм) классу крупности продукта измельчения и предлагаемый критерий косвенной оценки раскрытия руды – минимум коэффициента корреляции между массовыми долями металла в концентрате и хвостах. Предложенный критерий оптимизации позволил повысить извлечение меди в концентрат на 6,07%, а извлечение молибдена на 10,09%.

Выполнены сравнительные испытания предложенной автоматизированной системы автоматической оптимизации цикла измельчения железных руд по критерию минимума коэффициента корреляции между массовыми долями железа в концентрате и хвостах с системой автоматического регулирования массовой доли железа в концентрате магнитного сепаратора в

условиях Лебединского ГОКа. Предложенная система повысила извлечение железа в концентрат на 7,2% относительных единиц и качество концентрата на 2,19%.

Ключевые слова: обогащение руд, измельчение руд, автоматический контроль и оптимизация, системы и алгоритмы автоматического контроля.

### **THE SUMMARY**

Ubay Jusef Salamakx Al - Madadkha. Automated control of degree of ore grinding in the technological complexes of flotation and magnetic concentration. Manuscript.

Dissertation on scientific degree of Candidate of Technical Science on specialty 05.13.07 – Automation of processes of commanded. – National Mining University, Dnipropetrovsk, 2010.

The dissertation is devoted to solving actual scientific problem of increasing efficiency of automated control of degree of ore grinding for optimizing of technological complexes of flotation and magnetic concentration of ore by using industrial magnetic separator and flotation machine as technical means of automation and establishing new regularities of separation in working zones of separator.

Technical requirement to the systems of automated control and optimization of technological complexes of flotation and magnetic concentration are established.

Functional schemes of the systems of automated control and optimization of technological complexes of concentration are suggested.

The results of experimental researches the systems of automated control and optimization have shown their efficiency.

Keywords: ore dressing, ore grinding, automated control and optimization, systems and algorithms of automatic control.

**Убай Юсеф Саламах Аль - Мададха**

**АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ СТУПЕНЯ  
ЗДРІБНЕННЯ РУДИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ  
ФЛОТАЦІЙНОГО ТА МАГНІТНОГО ЗБАГАЧЕННЯ**

(Автореферат)

Підписано до друку \_\_.\_\_.2010. Формат 60 x 90/16.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.  
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж \_\_\_\_ прим. Зам. № \_\_\_\_

Національний гірничий університет  
49027, м. Дніпропетровськ, просп. К.Маркса, 19.