

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

Жаміль Абедальрахім Жаміль Альсаяйде

УДК 621.926:534.16

**АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
МАГНІТОЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ФАБРИК ЗА СИГНАЛАМИ ІНДУКЦІЇ
МАГНІТНИХ ПОЛІВ СЕПАРАТОРІВ**

Спеціальність:

05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

Дніпропетровськ – 2013

Дисертація виконана у Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України на кафедрі програмного забезпечення комп'ютерних систем

Науковий керівник:

– доктор технічних наук, професор
Кочура Євген Віталійович,
завідувач кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ);

Офіційні опоненти:

– доктор технічних наук, професор
Моркун Володимир Станіславович,
начальник науково-дослідної частини Державного ВНЗ «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України;

– кандидат технічних наук, професор
Кондратець Василь Олександрович,
професор кафедри автоматизації виробничих процесів Кіровоградського національного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

Захист відбудеться «____» _____ 2013 р. о ____ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.08.080.07 Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України за адресою:

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса 19.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України за адресою:

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса 19.

Автореферат розіслано «____» _____ 2013 р.

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

Остапчук О. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Гірничо-металургійний комплекс чорної металургії є основою економіки України. Головною сировинною базою гірничо-металургійного комплексу є запаси магнетитових залізних руд Криворізького басейну.

Переробка залізних руд проводиться на п'яти гірничо-збагачувальних комбінатах, кожен з яких має продуктивність близько 15-17 млн. тонн залізорудного концентрату на рік. Збагачення залізних руд проводиться на магнітозбагачувальних фабриках, які входять до складу гірничо-збагачувального комбінату. Збагачувана руда має змінні фізико-механічні властивості, які змінюються в часі. Тому без автоматичного контролю технологічних параметрів магнітозбагачувальних фабрик неможливо досягти високих техніко-економічних показників збагачення і якості концентрату.

Значний внесок в автоматизацію процесів збагачення залізних руд внесли роботи вчених: Бунька В.А., Воронова В.А., Зобніна Б.Б., Качана Ю.Г., Козіна В.З., Кондратця В.О., Кочури Є.В., Марюти А.Н., Моркуна В.С., Назаренка М.В., Поркуян О.В., Тихонова О.М., Тропа А.Є., Хорольського В.П., А. Лінча, Д. Гілберта та ін. Відомі системи автоматичного відбору, доставки та аналізу проб, ультразвукові та рентгенівські аналізатори громіздкі, ненадійні і дорогі, що робить нереальним їх використання для контролю комплексу технологічних параметрів збагачення сотень магнітних сепараторів магнітозбагачувальної фабрики. У Національному гірничому університеті була запропонована концепція застосування промислового магнітного сепаратора як джерела інформації про масову частку заліза в концентраті і хвостах. Однак, питання автоматичного контролю масової частки заліза в живленні сепаратора, продуктивності сепаратора за магнітним продуктом, вилучення заліза і виходу концентрату залишилися невирішеними.

Науковою задачею дисертації є встановлення нових закономірностей формування сигналів магнітної індукції в робочих зонах сепаратора і зв'язку цих сигналів з технологічними параметрами збагачення з метою розробки системи автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора за магнітним продуктом, масової частки заліза в живленні сепаратора, вилучення магнітного заліза в концентрат, виходу магнітного продукту.

Сформульована наукова задача є актуальною, тому що її вирішення дозволить забезпечити високу якість залізорудного концентрату, поліпшити техніко-економічні показники збагачення залізних руд і підвищити ефективність роботи гірничо-металургійного комплексу України.

Зв'язок з державними програмами, планами науково-дослідних робіт. В основу роботи покладені матеріали, які узагальнюють дослідження автора в рамках реалізації науково-дослідних та інжинірингових робіт, які виконувалися в Національному гірничому університеті у відповідності до Закону України № 2623-14 від 11.07.2001 «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», Постановами Кабінету Міністрів України «Про заходи щодо розвитку гірничо-металургійного комплексу», «Про хід виконання Програми розвитку залізорудної промисловості України».

Автор дисертації брав участь як виконавець при виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи «Автоматизація процесів керування збагачувальними фабриками корисних копалин» (ДР № 0112U000876). Результати досліджень з цієї теми, отримані ним особисто, представлені в даній роботі.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертації є розробка методів автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора за магнітним продуктом, масової частки магнітного заліза в живленні магнітного сепаратора, вилучення магнітного заліза в концентрат, виходу концентрату на основі закономірностей формування сигналів магнітної індукції в робочих зонах магнітних сепараторів, що дозволяє вирішити завдання оптимізації технологічних комплексів магнітозбагачувальних фабрик.

Сформульована мета роботи обумовила необхідність вирішення наступних завдань:

- аналіз сучасного стану автоматичного контролю параметрів збагачення на магнітозбагачувальних фабриках;
- дослідження закономірностей формування сигналів магнітної індукції в робочих зонах сепараторів з метою розробки методів автоматичного контролю комплексу параметрів збагачення за сигналами магнітної індукції;
- теоретичне та експериментальне обґрунтування методу автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора за магнітним продуктом;
- теоретичне та експериментальне обґрунтування методу автоматичного контролю масової частки заліза в живленні магнітного сепаратора;
- розробка методів автоматичного контролю вилучення заліза і виходу концентрату за сигналами магнітної індукції в робочій зоні магнітного сепаратора;
- розробка функціонально-алгоритмічних структур систем автоматичного контролю, оптимізації і регулювання технологічних комплексів магнітного збагачення залізних руд за сигналами магнітної індукції сепараторів.

Об'єкт дослідження: технологічний процес магнітного збагачення залізних руд.

Предмет дослідження: методи автоматичного контролю технологічних параметрів магнітного збагачення залізних руд.

Методи дослідження: теоретичні основи електротехніки, теорія магнітного поля, теорія магнітного збагачення залізних руд, теорія експерименту, теорія ймовірностей і математичної статистики, теорія автоматичного управління, методи оптимізації.

Наукова новизна отриманих результатів. Одержала подальший розвиток теорія автоматичного контролю, регулювання та оптимізації технологічних процесів магнітного збагачення руд, що знайшло своє відображення в наукових положеннях і результатах роботи.

Наукові положення:

1. Амплітудне значення змінної електрорушійної сили, що виникає під впливом магнітної індукції пульсуючого магнітного поля в послідовно з'єднаних електричних котушках, розміщених на полюсних наконечниках магнітної системи сепаратора в зоні виділення магнітного продукту при постійній щільності пульпи у ванні сепаратора пропорційно продуктивності магнітного сепаратора за магнітним продуктом, що, на відміну від контролю продуктивності за сигналом активної потужності електродвигуна барабана сепаратора, дозволило підвищити точність автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора.

2. Магнітна індукція просторово-розподіленого магнітного поля в робочій зоні подачі живлення магнітного сепаратора, виміряна вздовж твірної барабана сепаратора, перпендикулярної осі подачі пульпи у ванну сепаратора прямо пропорційна масовій частці заліза в живленні магнітного сепаратора, що на відміну від виміру магнітної індукції в зоні виділення концентрату дозволило автоматично контролювати масову частку заліза в рудній пульпі, що надходить в магнітний сепаратор.

Наукові результати:

1. Отримані нові спрощені і більш точні аналітичні залежності магнітної індукції магнітного поля сепаратора в зоні подачі рудної пульпи від масової частки заліза в живленні сепаратора, що відрізняються від відомих новою системою полярних координат, яка виключає вплив тангенціальної складової магнітної індукції.

2. Встановлено, що для автоматичної оптимізації технологічного комплексу магнітного збагачення залізних руд за критерієм продуктивності і обмеженням за масовою часткою заліза в концентраті, хвостах, вилучення і виходу концентрату і планової продуктивності млина за рудою, необхідно використовувати сигнали магнітної індукції в робочих зонах сепаратора.

3. Науково обґрунтовані та розроблені функціонально-алгоритмічні структури системи автоматичного контролю, регулювання та оптимізації технологічних комплексів магнітного збагачення залізних руд за сигналами магнітної індукції сепараторів.

Практичні результати:

1. Розроблено макет системи автоматичного контролю масової частки заліза в живленні магнітного сепаратора за сигналом магнітної індукції магнітного поля в робочій зоні подачі живлення в сепаратор. Точність автоматичного контролю масової частки заліза в живленні сепаратора складає 4% відносних одиниць.

2. Розроблено макет системи автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора за величиною електрорушійної сили, наведеної пульсуючим магнітним полем магнітного сепаратора в електричній котушці, що розміщена на полюсному наконечнику магнітної системи сепаратора в зоні виділення концентрату. Точність автоматичного контролю продуктивності сепаратора за магнітним продуктом склала 4,8% відносних одиниць.

3. Розроблено макет системи автоматичного контролю вилучення і виходу магнітного продукту за сигналами магнітної індукції сепаратора. Точність цих систем склала 4,17% та 4,21% відносних одиниць відповідно.

4. Розроблено технічні пропозиції з автоматичного контролю технологічних параметрів магнітозбагачувальних фабрик за сигналами магнітної індукції сепараторів.

Практична цінність отриманих результатів полягає в розробці систем автоматичного контролю комплексу технологічних параметрів магнітозбагачувальних фабрик за сигналами магнітної індукції сепараторів, що підвищує продуктивність за концентратом, вихід і вилучення магнітного заліза в концентрат, якість концентрату і знижує капітальні та експлуатаційні витрати на автоматизацію технологічних процесів магнітозбагачувальних фабрик.

Результати роботи прийняті до впровадження ПАТ «Центральний ГЗК», м. Кривий Ріг.

Особистий внесок автора. Всі наукові положення і результати роботи отримані автором особисто.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на міжнародній науково-технічній конференції «Сталий розвиток промисловості та суспільства» м. Кривий Ріг, 2012 рік та на X міжнародній конференції «Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості» м. Дніпропетровськ, 2013 рік.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 8 наукових праць, з них 6 у фахових виданнях та 2 тези науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи – 154 сторінки, з них 140 – основний текст. Дисертація включає 61 рисунок, 6 таблиць, список використаних джерел з 80 найменувань на 6 сторінках, 2 додатки на 7 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання досліджень. Наведено наукові положення і результати, наукова новизна і практична цінність роботи.

У першому розділі виконаний аналіз сучасного стану автоматичного контролю технологічних параметрів магнітного збагачення залізних руд, що дозволило зробити наступні висновки:

– аналіз технологічних карт процесів магнітного збагачення дозволив визначити необхідне число контрольованих параметрів магнітозбагачувальної фабрики:

$$N = p \cdot k \cdot n, \quad (1)$$

де: p – число контрольованих параметрів (продуктивність, масові частки заліза в живленні, концентраті, хвостах, вилучення та вихід); k – число технологічних стадій збагачення; n – число секцій збагачення. Наприклад, при $p = 5, k = 3, n = 27$, число контрольованих параметрів дорівнює $N = 486$;

– відомі системи автоматизованого відбору і доставки проб, рентгенівські, флуоресцентні та ультразвукові аналізатори не можуть забезпечити автоматичний контроль необхідного числа контрольованих параметрів внаслідок складності і ненадійності таких систем, а також їх високої вартості;

– виходячи з технічних і економічних вимог у важких умовах магнітозбагачувальних фабрик найбільш перспективними є методи автоматичного контролю технологічних параметрів збагачення за величиною індукції магнітних полів магнітних сепараторів;

– метод автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора за магнітним продуктом з використанням сигналу активної потужності електродвигуна барабана сепаратора має недостатню точністю через вплив стану барабана і редуктора сепаратора;

– недостатньо вивчені механізми формування сигналів індукції магнітного поля в робочих зонах магнітного сепаратора і не встановлені зв'язки цих сигналів з технологічними параметрами магнітного збагачення, такі як масова частка заліза в живленні сепаратора, продуктивність сепаратора за магнітним продуктом, вилучення заліза в концентрат, вихід концентрату;

– відсутні методи автоматичного контролю найважливіших параметрів збагачення: масової частки заліза в живленні магнітного сепаратора, вилучення заліза в концентрат і виходу концентрату, що не дозволяє вирішувати завдання оперативного управління магнітозбагачувальними фабриками при переробці руд зі змінними властивостями;

– відсутні системи автоматичного регулювання продуктивності магнітних сепараторів попереднього сухого збагачення залізних руд за магнітним продуктом, що при змінних властивостях руди призводить до коливань продуктивності за рудою на вході секцій збагачення і порушує їх нормальну роботу;

– встановлено неможливість вирішення завдань оптимізації технологічних комплексів магнітного збагачення за продуктивністю з урахуванням обмежень на масову долю заліза в концентраті і хвостах, вилучення і виходу концентрату у зв'язку з відсутністю надійних технічних засобів автоматичного контролю цих технологічних параметрів.

В результаті аналізу виконана постановка цілей і задач дослідження.

У другому розділі дисертації виконано теоретичне і експериментальне обґрунтування методу автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора за магнітним продуктом на основі встановлення закономірностей формування пульсацій індукції магнітного поля в робочій зоні виділення концентрату і встановлення зв'язку електрорушійної сили, виникаючої в електричній котушці, яка розміщена на полюсному наконечнику магнітної системи сепаратора, з продуктивністю магнітного сепаратора за магнітним продуктом. Схема методу контролю продуктивності сепаратора представлена на рис. 1.

Магнітна пульпа, яка надходить у ванну сепаратора, під впливом магнітного поля флокує. Утворюються магнітні флокули 5, що являють собою двополюсні намагнічені обсяги концентрату. При обертанні барабана 2 магнітні флокули 5 переміщуються в робочій зоні сепаратора ABCD, здійснюючи обертальні рухи і перемагнічуючись. Це призводить до пульсації

вектора магнітної індукції \vec{B} та магнітного потоку Φ , який проходить через електричну котушку 3, розміщену на кінці полюсного наконечника.

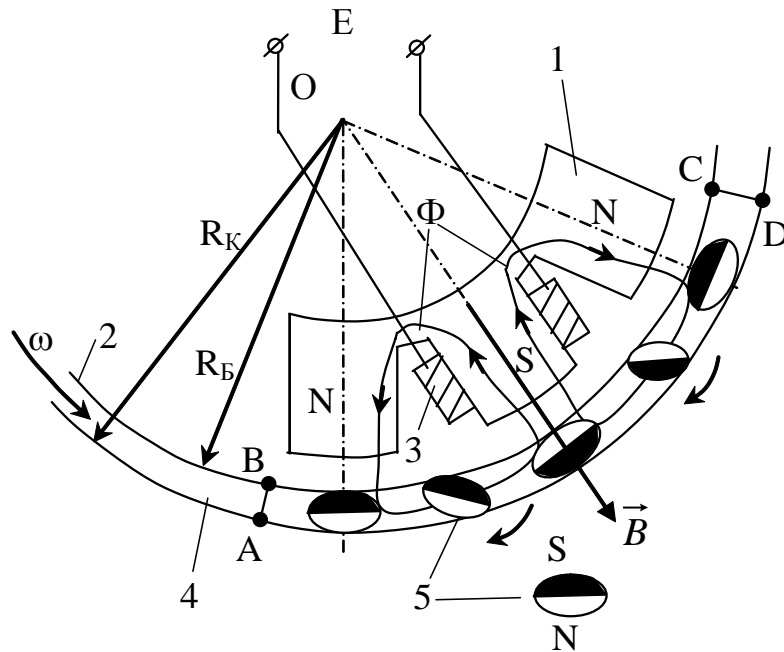


Рис. 1. Схема методу автоматичного контролю продуктивності сепаратора:

1 – полюсні наконечники магнітної системи; 2 – барабан сепаратора; 3 – електрична котушка; 4 – шар концентрату сепаратора; 5 – магнітні флокули; ω – кутова швидкість обертання барабану; R_B – радіус барабана сепаратора;

R_K – радіус шару концентрату; Φ – магнітний потік; \vec{B} – вектор магнітної індукції; E – електрорушійна сила, що наведена у електричній котушці; $ABCD$ – робоча зона сепаратора.

На підставі аналізу процесу масопереносу магнітного продукту у вигляді флокули в робочій зоні сепаратора і закономірностей електромагнітної індукції встановлено аналітичну залежність амплітудного значення електрорушійної сили E_A в електричній котушці, розміщеній на полюсному наконечнику магнітної системи сепаратора, від продуктивності магнітного сепаратора за магнітним продуктом Q_M :

$$E_A = \alpha \cdot n \cdot W \cdot S \cdot B \cdot Q_M, \quad (2)$$

де α – конструктивний постійний коефіцієнт; n – число вимірювальних котушок на полюсних наконечниках; W – кількість витків в котушці; B – магнітна індукція постійних магнітів магнітної системи сепаратора.

Були виконані експериментальні дослідження методу автоматичного контролю продуктивності магнітних сепараторів мокрого магнітного

збагачення типу ПБМ-ПП-120/300 і магнітних сепараторів сухого збагачення типу 206Б-СЕ. Отримано рівняння регресії залежності електрорушійної сили котушки розміщеної на полюсних наконечниках:

– для магнітного сепаратора мокрого збагачення

$$E = 1,37Q_M - 22,52, \quad (3)$$

– для магнітного сепаратора сухого збагачення

$$E = -1,38 + 5,04Q. \quad (4)$$

Графіки залежностей представлені на рис. 2, 3.

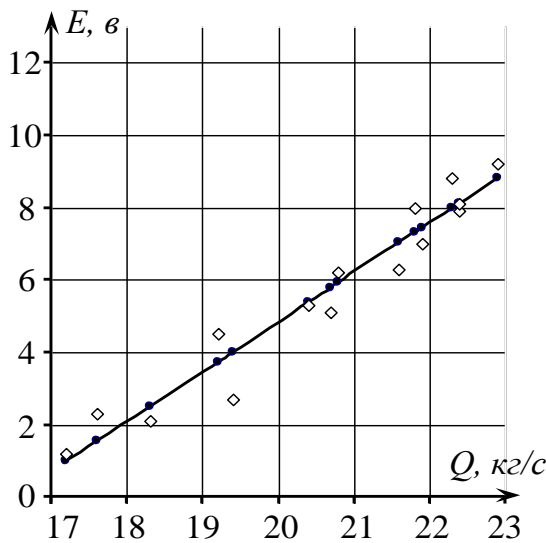


Рис. 2. Статична характеристика сепаратора мокрого збагачення ПБМ-ПП-120/300.

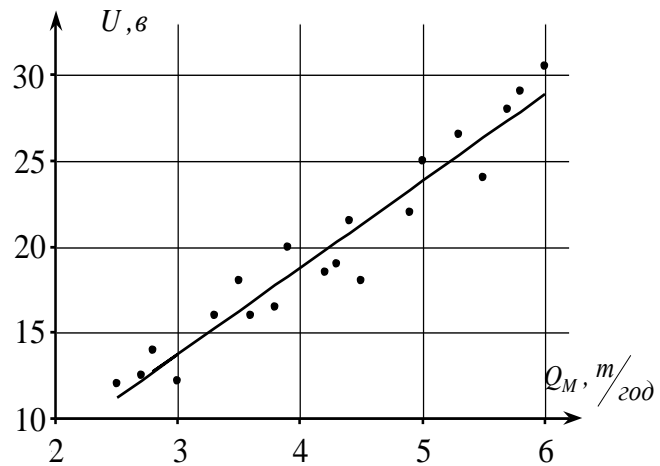


Рис. 3. Статична характеристика сепаратора сухого збагачення 206Б-СЭ.

В результаті виконаних досліджень встановлено, що амплітудне значення змінної електрорушійної сили, що виникає під впливом магнітної індукції пульсуючого магнітного поля в послідовно з'єднаних електричних котушках, розміщених на полюсних наконечниках магнітної системи сепаратора в зоні виділення магнітного продукту пропорційно продуктивності магнітного сепаратора за магнітним продуктом, що дозволило розробити метод і систему автоматичного контролю і регулювання продуктивності сепаратора, точність якої для мокрого магнітного сепаратора склала 4,8% відносних одиниць.

У третьому розділі наводяться результати розробки та дослідження методів автоматичного контролю масової частки заліза в живленні

сепаратора, вилучення й виходу концентрату за сигналами магнітної індукції в робочих зонах сепаратора.

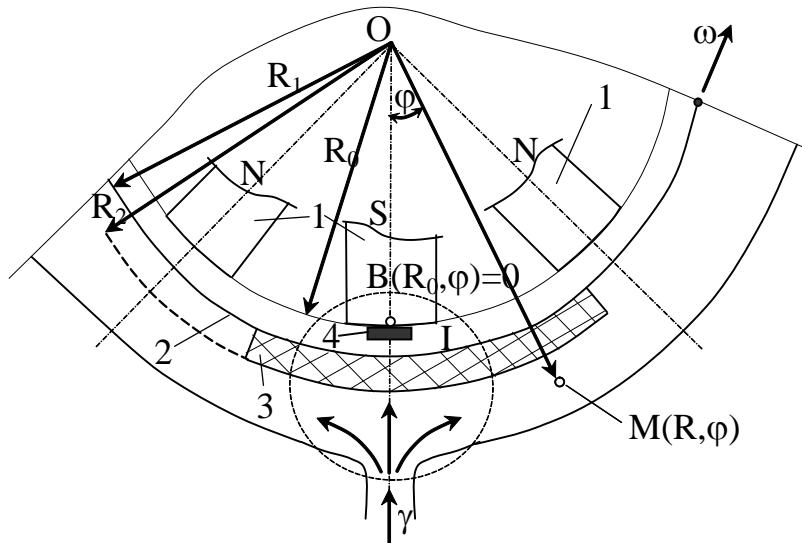


Рис. 4. Розрахункова схема робочої зони сепаратора:

I – зона подачі пульпи; 1 – полюси магнітної системи; 2 – барабан сепаратора; 3 – шар концентрату; 4 – датчик магнітної індукції; ω – кутова швидкість барабану; R_0 – радіус магнітної системи сепаратора; R_1 – радіус барабану сепаратора; R_2 – радіус шару концентрату; R – радіус розрахункової точки M ; φ – кут полярних координат.

У нашому випадку $\varphi = 0$; $\sin \varphi = 0$; $\cos \varphi = 1$, тому формула Файнштейна-Федотова для розрахунку напруженості магнітного поля в робочій зоні сепаратора істотно спрощується. Радіальна складова напруженості магнітного поля буде дорівнювати модулю напруженості поля в точці B:

$$H = \frac{PH_0R_0^P\psi_1}{\psi} R_2^{-P-1} + \frac{2PH_0\psi_2}{R_1^2P\psi} R_2^{2P-1}, \quad (5)$$

де ψ_1, ψ, ψ_2 – змінні, що залежать від масової частки заліза в живленні магнітного сепаратора α ; H_0 – напруженість магнітного поля на поверхні магнітних полюсів; p – кількість пар полюсів.

Були проведені експериментальні дослідження макета системи автоматичного контролю масової частки заліза в живленні магнітного сепаратора (рис. 5, 6).

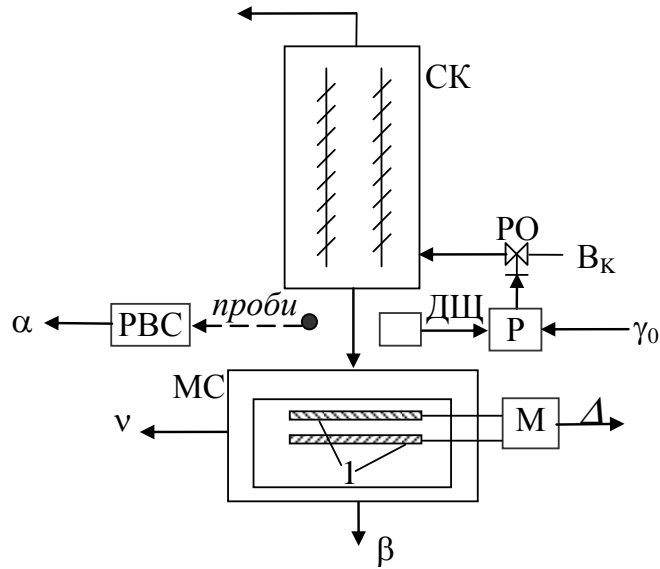


Рис. 5. Схема експериментальних досліджень макета системи автоматичного контролю масової частки заліза в живленні магнітного сепаратора:

СК – спіральний класифікатор; МС – магнітний сепаратор; РВС – рудовипробувальна станція; ДЩ – датчик щільності; Р – регулятор витрати води B_K в класифікаторі; РО – регулюючий орган витрати води; γ_0 – задане значення щільності пульпи; 1 – робочий і термокомпенсаційний магніторезистори; М – автоматичний міст постійного струму; α, β, ν – відповідно масові частки заліза в живленні, концентраті і хвостах; Δ – показання мосту.

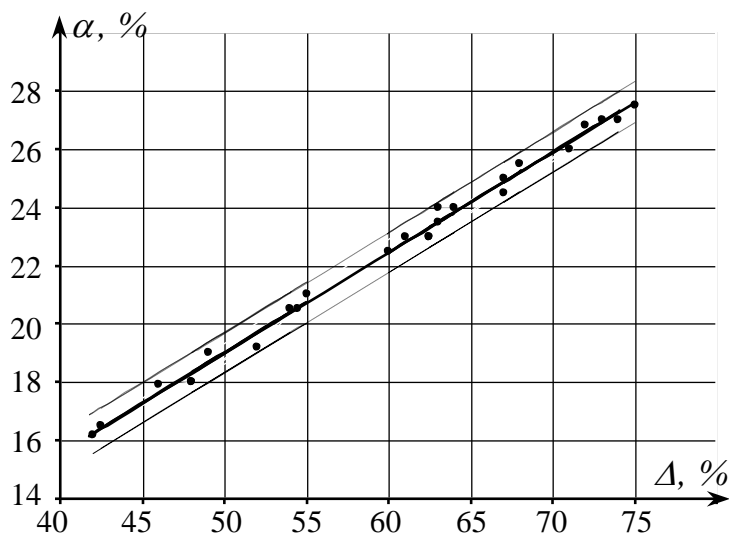


Рис. 6. Статична характеристика системи.

Отримано рівняння статичної характеристики системи автоматичного контролю масової частки заліза в живленні магнітного сепаратора

$$\alpha = 1,81 + 0,34\Delta. \quad (6)$$

Експериментально підтверджена лінійна залежність сигналу магнітної індукції в зоні подачі живлення в сепаратор від масової частки заліза в живленні сепаратора. Точність автоматичного контролю масової частки заліза в живленні магнітного сепаратора склала 4,04% відносних одиниць.

У четвертому розділі розроблені функціонально-алгоритмічні структури систем автоматичного контролю, оптимізації і регулювання технологічних комплексів магнітного збагачення за сигналами магнітної індукції сепараторів. Розроблена функціональна схема системи автоматичного контролю технологічних параметрів збагачення, що представлена на рис. 7. Система реалізована на базі промислового магнітного сепаратора.

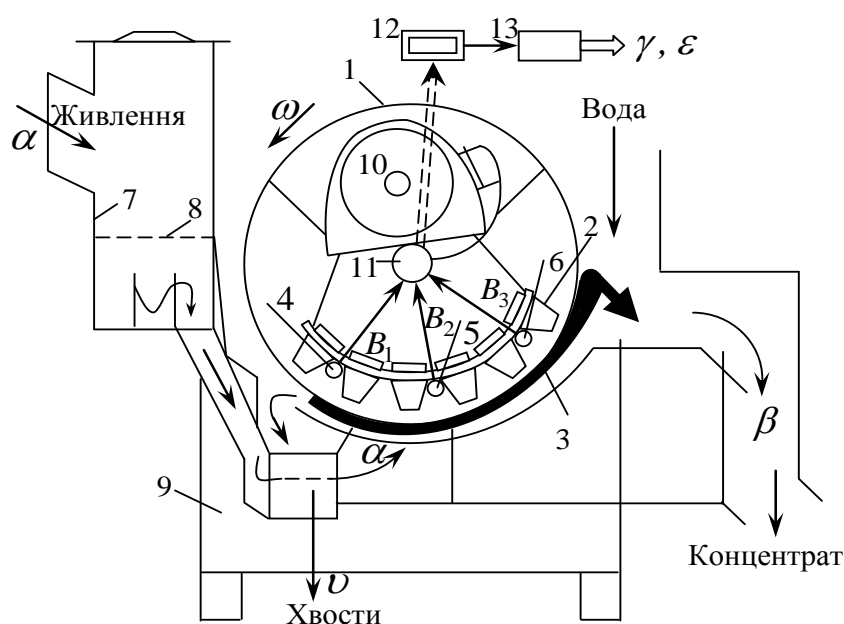


Рис. 7. Функціональна схема системи автоматичного контролю технологічних параметрів магнітного збагачення:

1 – барабан сепаратора; 2 – магнітна система сепаратора; 3 – шар концентрату; 4-6 – магнітні резистори; 7 – напірний бак; 8 – гідравлічний заспокоювальний пристрій; 9 – корпус сепаратора; 10 – електродвигун барабана сепаратора; 11 – порожнистий вал барабана; 12 – мікропроцесорний контролер; 13 – принтер; ω – кутова швидкість обертання барабана; α , β , ν – масові частки заліза відповідно у живленні, концентраті і хвостах; B_1 , B_2 , B_3 – магнітні індукції відповідно в зонах виділення хвостів, живленні сепаратора і в зоні виділення концентрату.

При подачі рудної пульпи у ванну сепаратора відбувається розшарування живлення на бідні і багаті фракції. Багаті фракції, що містять частинки магнетиту, притягуються до обертового барабану 1 сепаратора магнітною системою 2 і формують на барабані шар концентрату 3. Шар концентрату змінює магнітну індукцію в робочих зонах сепаратора. У зоні подачі рудної пульпи встановлюється чутливий елемент 5 у вигляді лінійного магнітного резистора. При зміні масової частки заліза в руді α змінюється магнітна індукція B_2 , опір магнітного резистора змінюється, перетворюється в цифровий сигнал і подається в мікропроцесорний контролер. Аналогічно вимірюється магнітна індукція B_1 в зоні виділення хвостів, пропорційна ν і магнітна індукція B_3 в зоні виділення концентрату, пропорційна β . Цифрові коди сигналів магнітної індукції B_1, B_2, B_3 подаються в мікропроцесорний контролер 12, де за допомогою підпрограм за рівняннями регресії розраховуються масові частки заліза α, β, ν у вихідному живленні, концентраті і хвостах.

За відомими формулами розраховуються вихід магнітного заліза і вилучення заліза в концентрат. Наведена схема алгоритму розрахунку всіх технологічних параметрів збагачення магнітозбагачувальної фабрики. Наводиться наукове обґрунтування можливості автоматичної оптимізації технологічного комплексу магнітного збагачення руд за продуктивністю за магнітним продуктом на основі застосування промислового магнітного сепаратора як технічного засобу автоматизації.

Постановка задачі оптимізації включає вибір цільової функції і обмежень. Якщо продуктивність комплексу за переробленою рудою Q_0 задається планом, то керуючими впливами є витрати води в млин і класифікатор, відповідно B_M та B_K . Постановка завдання керування технологічним комплексом магнітного збагачення першої стадії може бути представлена у вигляді

$$\begin{aligned} Q_M &\rightarrow \max \\ Q &= Q_0; \beta \geq \beta_3; \varepsilon \geq C; \nu \leq a \\ B_{M \min} &\leq B_M \leq B_{M \max}; B_{K \min} \leq B_K \leq B_{K \max}, \end{aligned} \quad (7)$$

де Q_M – продуктивність комплексу за магнітним продуктом; Q – продуктивність комплексу за переробленою рудою; Q_0 – планове значення переробки руди; β – масова доля заліза в концентраті; β_3 – задане значення масової частки заліза в концентраті за технологічною картою; ε, ν – відповідно вилучення і втрати заліза у хвостах; a, c – планові значення

технологічних параметрів збагачення за технологічною картою; $V_{M \min}$, $V_{M \max}$, $V_{K \min}$, $V_{K \max}$ – відповідно мінімальні та максимальні допустимі значення витрат води в млин і класифікатор.

При виконанні науково-дослідних робіт в Державному ВНЗ «НГУ» методом регресійного аналізу для 22 секції збагачувальної фабрики Північного ГЗК були отримані рівняння моделей технологічного комплексу магнітного збагачення, що були використані для вирішення задачі оптимізації (7).

Метою управління є визначення оптимальних керуючих впливів – витрат води в млин V_{MO} та класифікатор V_{KO} , які задовольняють постановці задачі оптимізації.

Ця задача оптимізації відноситься до класу задач нелінійного програмування і вирішувалася методом Ньютона. Графічна інтерпретація рішення задачі представлена на рис. 8.

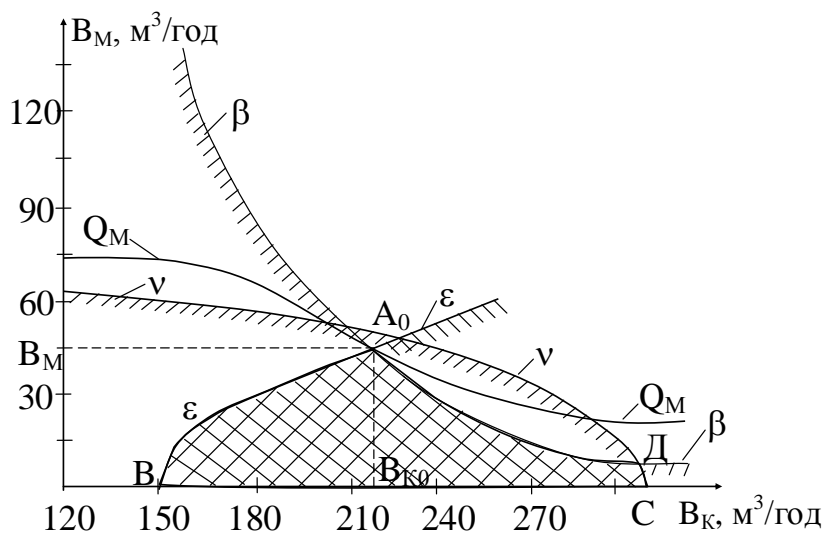


Рис. 8. Графічна інтерпретація вирішення задачі оптимізації комплексу магнітного збагачення за продуктивністю

Заштрихована ділянка A_0BCD на рис. 8 являє собою область допустимих значень керуючих впливів, що задовольняють накладеним обмеженням. Крива цільової функції Q_M торкається області допустимих значень в точці A_0 . Координати точки A_0 відповідають оптимальним значенням витрат води в млин V_{M0} і класифікатор V_{K0} . У нашому випадку $V_{M0} = 45 \text{ м}^3 / \text{год}$, $V_{K0} = 217 \text{ м}^3 / \text{год}$.

Функціональна схема системи автоматичної оптимізації технологічного комплексу магнітного збагачення наведена на рис. 9.

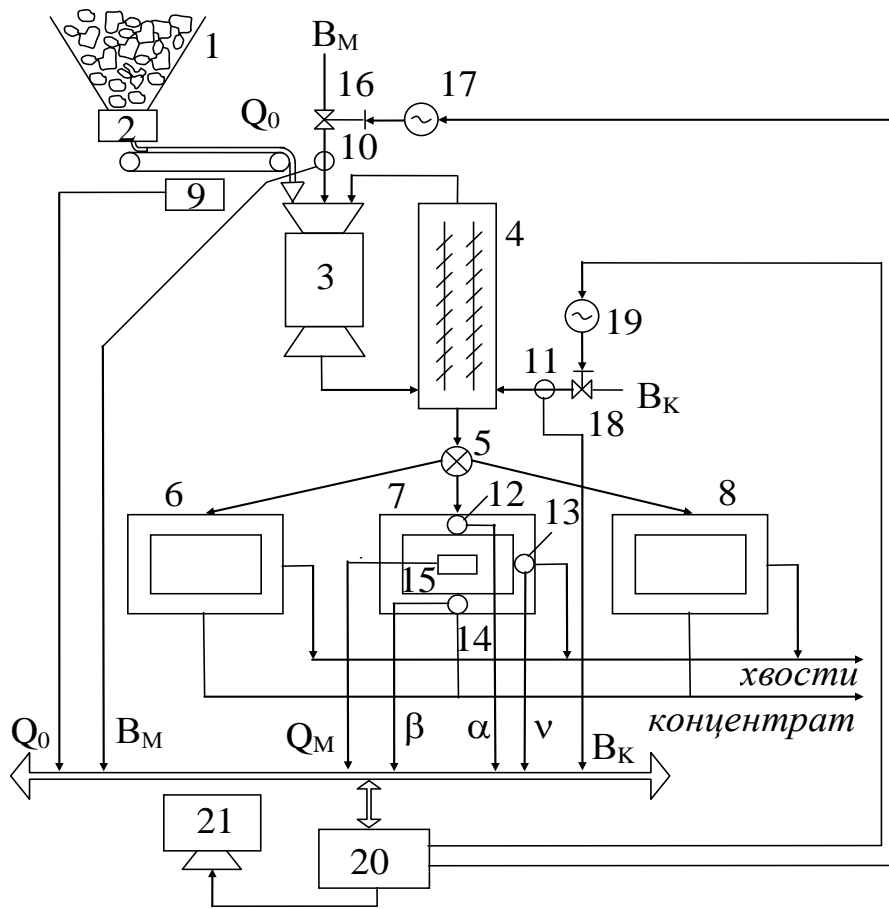


Рис. 9. Функціональна схема системи автоматичної оптимізації технологічного комплексу магнітного збагачення:

1 – бункер з рудою; 2 – вібропідживлювачі; 3 – млин; 4 – класифікатор; 5 – пульпорозділювач; 6, 7, 8 – магнітні сепаратори; 9 – конвеєрні ваги; 10, 11 – відповідно датчики витрати води в млин і класифікатор; 12, 13, 14 – відповідно датчики масової частки заліза у вихідному живленні, хвостах і концентраті; 15 – датчик продуктивності сепаратора за магнітним продуктом; 16, 18 – регулюючі клапани витрати води в млин і класифікатор відповідно; 17, 19 – виконавчі електродвигуни; 20 – промислова комп'ютерна робоча станція; 21 – монітор; Q_0 – сигнал датчика витрати руди в млин; V_M , V_K – відповідно витрати води в млин і класифікатор; Q_M – сигнали датчиків продуктивності магнітних сепараторів за магнітним продуктом; β , α , ν – відповідно сигнали датчиків масової частки заліза в концентраті, вихідному живленні і хвостах.

Система автоматичної оптимізації технологічного комплексу магнітного збагачення працює таким чином. Сигнали з датчиків технологічних змінних $Q_0, V_M, \beta, \alpha, \nu, V_K$ потрапляють через пристрій зв'язку з об'єктом в промислову комп'ютерну робочу станцію, яка за результатами опитування датчиків методом регресійного аналізу визначає математичні моделі технологічного комплексу. Потім вирішується задача оптимізації і знаходяться оптимальні значення витрат води в млин V_{MO} і класифікатор V_{KO} .

Розроблено функціональну алгоритмічну структуру системи автоматичного контролю і регулювання продуктивності технологічного комплексу сухої магнітної сепарації. Виконано розрахунок параметрів системи автоматичного регулювання продуктивності та аналіз перехідних процесів. Розроблено пропозиції щодо технічної реалізації систем автоматичного контролю оптимізації і регулювання технологічних комплексів магнітного збагачення руд на основі комп'ютерної розподіленої системи управління, орієнтованої на застосування сучасних технічних засобів.

У висновку наводяться основні результати та висновки дисертації. Дисертація є завершеною науковою роботою, в результаті виконання якої вирішена актуальна наукова задача встановлення нових закономірностей формування сигналів індукції магнітного поля в робочих зонах сепараторів магнітозбагачувальних фабрик магнетитових залізних руд і зв'язку сигналів індукції з технологічними параметрами магнітного збагачення: продуктивністю сепаратора за магнітним продуктом, масовою часткою заліза в живленні магнітного сепаратора. На основі отриманих закономірностей розроблено системи автоматичного контролю основних технологічних параметрів магнітозбагачувальних фабрик за сигналами індукції магнітного поля сепараторів, що дозволяє підвищити оперативність, точність, надійність автоматичного контролю, поліпшити техніко-економічні показники збагачення залізних руд, підвищити якість концентрату.

Основними висновками і результатами роботи є:

1. Встановлено нову закономірність, яка полягає в тому, що амплітудне значення змінної електрорушійної сили, яка виникає під впливом магнітної індукції пульсуючого магнітного поля в послідовно з'єднаних електричних котушках, розміщених на полюсних наконечниках магнітної системи сепаратора в зоні виділення магнітного продукту при постійній щільності пульпи у ванні сепаратора пропорційно продуктивності магнітного сепаратора за магнітним продуктом.

2. Встановлено нову закономірність, яка полягає в тому, що магнітна індукція просторово-розподіленого магнітного поля в робочій зоні подачі живлення магнітного сепаратора, виміряна вздовж твірної барабана сепаратора, перпендикулярної осі подачі пульпи у ванну сепаратора прямо пропорційна масовій частці заліза в живленні магнітного сепаратора.

3. Отримані нові спрощені і більш точні аналітичні залежності індукції магнітного поля сепаратора в зоні подачі рудної пульпи від масової частки заліза в живленні сепаратора, що відрізняються від відомих новою системою полярних координат, яка виключає вплив тангенціальної складової магнітної індукції.

4. Встановлено, що для автоматичної оптимізації технологічного комплексу магнітного збагачення залізних руд за критерієм продуктивності і обмеженням по масовим часткам заліза в концентраті, хвостах, вилучення і виходу концентрату і планової продуктивності млина за рудою необхідно використовувати сигнали магнітної індукції в робочих зонах сепаратора.

5. Науково обґрунтовані та розроблені функціонально-алгоритмічні структури системи автоматичного контролю, регулювання та оптимізації технологічних комплексів магнітного збагачення залізних руд за сигналами магнітної індукції сепараторів.

6. Розроблено макет системи автоматичного контролю масової частки заліза в живленні магнітного сепаратора за сигналом магнітної індукції магнітного поля в робочій зоні подачі живлення в сепаратор. Точність автоматичного контролю масової частки заліза в живленні сепаратора складає 4% відносних одиниць.

7. Розроблено макет системи автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора за величиною електрорушійної сили наведеної пульсуючим магнітним полем магнітного сепаратора в електричній котушці, розміщеній на полюсному наконечнику магнітної системи сепаратора в зоні виділення концентрату. Точність автоматичного контролю продуктивності сепаратора за магнітним продуктом склала 4,8% відносних одиниць.

8. Розроблено макет системи автоматичного контролю вилучення і виходу магнітного продукту за сигналами магнітної індукції сепаратора. Точність цих систем склала 4,17% та 4,21% відносних одиниць відповідно.

9. Розроблено технічні пропозиції з автоматичного контролю технологічних параметрів магнітозбагачувальних фабрик за сигналами магнітної індукції сепаратора, що впроваджені на збагачувальній фабриці Центрального гірничо-збагачувального комбінату (м. Кривий Ріг).

ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде. Теоретическое обоснование метода автоматического контроля производительности магнитного сепаратора по магнитному продукту / Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде, Е.В. Кочура // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2011. – № 6. – С. 131-133.

2. Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде. Экспериментальные исследования метода автоматического контроля производительности магнитных сепараторов по магнитному продукту / Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде, Е.В. Кочура // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 1. – С. 117-121.

3. Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде. Автоматическая оптимизация технологического комплекса магнитного обогащения по производительности / Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде, Е.В. Кочура // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 3. – С. 120-123.

4. Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде. Автоматический контроль извлечения и выхода магнитного железа по сигналам магнитной индукции сепаратора / Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде, Е.В. Кочура // Гірничя електромеханіка та автоматика. – 2012. – № 88. – С. 68-71.

5. Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде. Автоматический анализатор процесса обогащения, встроенный в промышленный магнитный сепаратор / Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде, Е.В. Кочура // Гірничя електромеханіка та автоматика. – 2012. – № 89. – С. 91-95.

6. Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде. Метод автоматического контроля массовой доли железа в обогащаемой руде с помощью промышленного магнитного сепаратора / Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде, Е.В. Кочура // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 5. – С. 96-101.

7. Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде. Автоматический анализатор процесса обогащения, встроенный в промышленный магнитный сепаратор / Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде, Е.В. Кочура // Тези міжнародної науково-технічної конференції «Сталий розвиток промисловості та суспільства». Гірничий вісник. Науково-технічний збірник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – 2012. – № 95. – С. 150-153.

8. Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде. Автоматическая оптимизация технологического комплекса обогащения железных руд по сигналам магнитной индукции сепаратора / Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяйде, Е.В. Кочура // Тези X міжнародної конференції «Проблеми використання інформаційних технологій в галузі освіти, науки та промисловості». Збірка наукових праць. Державний ВНЗ «Національний гірничий університет». – 2013. – № 1. – С. 116-121.

В роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належить: [1] – теоретичні залежності та моделі, які обґрунтовують метод автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора; [2] – методика експериментальних досліджень, результати обробки експериментальних даних та аналіз результатів експериментів; [3,8] – постановка та результати вирішення задачі оптимізації технологічного комплексу магнітного збагачення, функціональна схема системи автоматичної оптимізації; [4] – метод та схема алгоритму автоматичного контролю вилучення та виходу магнітного заліза; [5,7] – функціонально-алгоритмічна структура автоматичного аналізатора процесу збагачення; [6] – метод та схема алгоритму автоматичного контролю масової частки заліза в руді, що збагачується.

АНОТАЦІЯ

Жаміль Абедальрахім Жаміль Альсаяйде. Автоматичний контроль технологічних параметрів магнітозбагачувальних фабрик за сигналами індукції магнітних полів сепараторів. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування. Державний ВНЗ «Національний гірничий університет». Дніпропетровськ, 2013.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової задачі автоматичного контролю технологічних змінних магнітозбагачувальних фабрик на основі встановлення нових закономірностей формування сигналів індукції магнітного поля в робочих зонах сепараторів та використання промислових магнітних сепараторів як природних автоматичних аналізаторів результатів магнітного збагачення залізних руд.

Розроблені системи автоматичного контролю продуктивності магнітних сепараторів, масової частки заліза в живленні сепаратору, виходу концентрату та вилучення заліза.

Науково обґрунтовані функціонально-алгоритмічні структури та технічні вимоги до систем автоматичного контролю, регулювання та оптимізації технологічних комплексів магнітного збагачення за сигналами індукції магнітних полів сепараторів.

Результати роботи впроваджені на ПАТ «Центральний ГЗК» м. Кривий Ріг і можуть бути використані на магнітозбагачувальних фабриках руд чорних металів інших ГЗК.

Ключові слова: магнітне збагачення руд, автоматичний контроль, системи та алгоритми автоматичного контролю та оптимізації.

АННОТАЦИЯ

Жамиль Абедалрахим Жамиль Альсаяде. Автоматический контроль технологических параметров магнитообогатительных фабрик по сигналам индукции магнитных полей сепараторов. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – Автоматизация процессов управления. ГВУЗ «Национальный горный университет». Днепропетровск, 2013.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи автоматического контроля технологических переменных магнитообогатительных фабрик на основе установления новых закономерностей формирования сигналов индукции магнитного поля в рабочих зонах сепараторов и использования промышленных магнитных сепараторов как природных автоматических анализаторов результатов магнитного обогащения железных руд.

Установлено, что амплитудное значение переменной электродвижущей силы, возникающей под воздействием магнитной индукции пульсирующего магнитного поля в последовательно соединенных электрических катушках, размещенных на полюсных наконечниках магнитной системы сепаратора в зоне выделения магнитного продукта при постоянной плотности пульпы в ванне сепаратора пропорционально производительности магнитного сепаратора по магнитному продукту.

Установлено, что магнитная индукция пространственно-распределенного магнитного поля в рабочей зоне подачи питания магнитного сепаратора, измеренная вдоль образующей барабана сепаратора, перпендикулярной оси подачи пульпы в ванну сепаратора прямо пропорциональна массовой доле железа в питании магнитного сепаратора.

Установлено, что для автоматической оптимизации технологического комплекса магнитного обогащения железных руд по критерию производительности и ограничениям по массовым долям железа в концентрате, хвостах, извлечению и выходу концентрата и плановой производительности мельницы по руде, необходимо использовать сигналы магнитной индукции в рабочих зонах сепаратора.

Разработаны системы автоматического контроля производительности магнитных сепараторов, массовой доли железа в питании сепаратора, выхода концентрата и извлечения железа.

Разработан макет системы автоматического контроля массовой доли железа в питании магнитного сепаратора по сигналу магнитной индукции магнитного поля в рабочей зоне подачи питания в сепаратор. Точность автоматического контроля массовой доли железа в питании сепаратора составляет 4% относительных единиц.

Разработан макет системы автоматического контроля производительности магнитного сепаратора по величине электродвижущей

силы наводимой пульсирующим магнитным полем магнитного сепаратора в электрической катушке, размещенной на полюсном наконечнике магнитной системы сепаратора в зоне выделения концентрата. Точность автоматического контроля производительности сепаратора по магнитному продукту составили 4,8% относительных единиц.

Разработан макет системы автоматического контроля извлечения и выхода магнитного продукта по сигналам магнитной индукции сепаратора. Точность этих систем составила 4,17% и 4,21% относительных единиц соответственно.

Научно обоснованы функционально-алгоритмические структуры и технические требования к системам автоматического контроля, регулирования и оптимизации технологических комплексов магнитного обогащения по сигналам индукции магнитных полей сепараторов.

Результаты работы внедрены на ЗАО «Центральный ГОК» г. Кривой Рог и могут быть использованы на магнитообогатительных фабриках руд черных металлов других ГОКов.

Ключевые слова: магнитное обогащение руд, автоматический контроль, системы и алгоритмы автоматического контроля и оптимизации.

ABSTRACT

Zhamyl Abdelrahim Zhamyl Alsayayde. Automatic control of process-dependent parameters of magnetic concentration plant by signals of induction of magnetic field of separators. On manuscript basis.

Thesis for obtaining a candidate of economic sciences degree, specialty 05.13.07 – Automation of control processes. State institute of higher education "National Mining University". Dnepropetrovsk, 2013.

The thesis deals with the actual scientific and technical problem of automatic control of technological variables of magnetic concentration plant on the basis of establishment of new regularity of formation of signals of induction of magnetic field of separators working area and usage of industrial magnetic separators as natural automatic analyzers of results of iron ore magnetic separation.

Automatic system is developed for control of magnetic separators performance, mass fraction of iron in separator feeding, concentrate output and extraction of iron.

Scientific substantiations are produced for functional algorithmic structure and technical requirements for automatic systems of control, adjustment and optimization of technological systems of magnetic separation by the signals of induction of separators magnetic field.

Results of the research have been implemented at the CGOK and also can be used on other magnetic concentration plants of iron ore.

Keywords: magnetic concentration of ore, automatic control, systems and algorithms for automatic control and optimization.

Жаміль Абедальрахім Жаміль Альсаяйде

**АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
МАГНІТОЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ФАБРИК ЗА СИГНАЛАМИ ІНДУКЦІЇ
МАГНІТНИХ ПОЛІВ СЕПАРАТОРІВ**

(Автореферат)

Підписано до друку 11.11.2013. Формат 60 x 90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. № _____

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49600, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.