

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

кандидата технічних наук, доцента Мацуя Анатолія Миколайовича на дисертацію Фаріс Самір Расмі Альхорі «Метод автоматичного контролю ступеня завантаження рудою барабанних млинів магнітозбагачувальних фабрик» представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 - автоматизація процесів керування

### **1. Актуальність теми дисертації, її зв'язок з державними науковими програмами та відповідність теми дисертації її змісту.**

Підвищення ефективності виробництва залізорудного концентрату та його якості неможливо без автоматизації процесів управління подрібнення руди у барабанних млинах. Ступінь завантаження млинів рудою значною мірою визначає продуктивність млинів та збагачувальних фабрик, а також якість залізорудного концентрату. При подрібненні руд зі змінними фізико-механічними властивостями оптимальна ступінь завантаження млинів рудою, при якій забезпечується найкраще розкриття руди, є величиною змінною. Існуючі методи автоматичного контролю ступеня завантаження млинів рудою не дозволяють автоматично визначити яку саме оптимальну ступінь завантаження млина рудою необхідно підтримувати, щоб забезпечити найкращі показники подрібнення, розкриття і збагачення залізних руд зі змінними властивостями. Треба автоматично контролювати ступінь завантаження млина рудою, тобто визначити чи млин недовантажений, або перевантажений, чи працює в оптимальному режимі.

Здобувач вирішив важливу і актуальну задачу встановлення нових закономірностей спільного формування активної потужності електродвигунів млинів і магнітних сепараторів з метою розробки системи автоматичного контролю оптимального ступеня завантаження рудою барабанних млинів різних типів з урахуванням змінних властивостей збагачувальної руди. Вирішення цієї задачі дозволить істотно підвищити техніко-економічні показники збагачення залізних руд і якість залізорудного концентрату на гірничо-збагачувальних

комбінатах України.

Робота виконана відповідно до державної програми «Розвиток і реформування гірничо-збагачувального комплексу України». В основу роботи покладені матеріали, які узагальнюють дослідження автора в рамках реалізації науково-дослідних та інженерних робіт, які виконувалися в Національному гірничому університеті відповідно до закону України № 2326-14 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», Державної комплексної програми розвитку України .

Автор дисертації брав участь в якості виконавця при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт «Розробка методів синтезу моделей корисних енергетичних, акустичних і вібраційних сигналів для ідентифікації процесів гірничого виробництва» (ДР № 0113U000402), «Автоматизація процесів керування збагачувальними фабриками корисних копалин (ДР № 0112U000876). Результати досліджень по цій темі, отримані ним особисто, представлені в цій роботі.

Тема дисертації повністю відповідає її змісту.

Таким чином, за своїм спрямуванням і за фактичним змістом представлена дисертаційна робота є актуальною і відповідає спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

## **2. Наукова новизна основних висновків і результатів дисертації.**

Найбільш значущими і цікавими виявляються наукове положення і результати досліджень автора, новизна і достовірність яких підтверджується оригінальністю підходу, теоретичним і експериментальним обґрунтуванням нового методу автоматичного контролю ступеня завантаження залізною рудою барабанних млинів магнітозбагачувальних фабрик. Сутність запропонованого методу автоматичного контролю ступеня завантаження рудою барабанних млинів представлена в дисертаційній роботі одним науковим положенням і чотирма науковими результатами, що мають суттєву наукову новизну.

## **Наукове положення, що вноситься на захист.**

1. В технологічних комплексах подрібнення і магнітної сепарації недовантаження або перевантаження барабанного млина рудою визначається за знаком емпіричного коефіцієнта кореляції між вибірковими значеннями активної потужності електродвигунів млина та магнітного сепаратора, які працюють у одному технологічному комплексі магнітного збагачення залізних руд, що дозволяє підвищити продуктивність технологічних комплексів подрібнення і магнітної сепарації, та якість залізородного концентрату.

## **Наукові результати:**

1. Запропоновано новий критерій автоматичної оптимізації ступеня завантаження барабанних млинів залізною рудою зі змінними фізико-механічними властивостями яким є максимальна продуктивність за магнітним продуктом магнітного сепаратора послідовно з'єданого з барабанним млином, що дозволяє зменшити переподрібнення руди, підвищити витяг, вихід і якість залізородного концентрату.

2. Запропоновано новий метод автоматичного контролю ступеня завантаження залізною рудою барабанних млинів за знаком емпіричного коефіцієнта кореляції між вибірковими значеннями активної потужності електродвигунів млина та магнітного сепаратора, причому для млинів мокрого самоподрібнення, якщо цей знак позитивний, то має місце недовантаження млина рудою, а якщо цей знак негативний, то має місце перевантаження млина рудою. Для кульових млинів навпаки, позитивний знак характеризує перевантаження млина рудою, а негативний знак – недовантаження млина рудою.

3. Науково обґрунтовано метод автоматичного контролю продуктивності за концентратом технологічного комплексу подрібнення і магнітної сепарації за спектральною складовою сигналу активної потужності приводного електродвигуна магнітного сепаратора, вимірюної на частоті пульсуючого поля магнітного сепаратора, що на відміну від відомого дозволяє підвищити точність автоматичного контролю продуктивності за концентратом.

4. Отримані нові статичні характеристики залежності сигналу активної потужності приводного електродвигуна пілотного магнітного сепаратора від сигналів активної потужності приводного електродвигуна барабанних млинів різних типів, що на відміну від статичної характеристики залежності продуктивності млина за готовим класом крупності продукту подрібнення від ступеня завантаження млина рудою, дає можливість автоматично визначати ступінь завантаження млина рудою з різними фізико-механічними властивостями.

Глибокий аналіз відомих підходів, теорії і практики автоматизації процесів подрібнення руд переконливо показує істотну новизну наукових положень і результатів, що захищаються.

### **3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень і результатів дисертації.**

Обґрунтованість і достовірність наукового положення і результатів підтверджується коректним використанням методів дослідження, а саме:

– теоретичних методів дослідження механіки барабанних млинів, розкриття руди подрібненням, магнітного збагачення руд для побудови математичних моделей технологічних комплексів подрібнення і магнітної сепарації;

– методів теорії електроприводу, теоретичних основ електротехніки, теорії інформації для обґрунтування інформаційних каналів отримання сигналів про оптимальну ступінь завантаження барабанних млинів рудою;

– методів теорії експерименту, математичної статистики та спектрального аналізу для експериментального дослідження статичних характеристик залежності спектральної складової сигналу активної потужності електродвигуна магнітного сепаратора від сигналу активної потужності приводного електродвигуна млина;

– методів автоматизації і алгоритмізації виробничих процесів для розробки функціонально-алгоритмічних структур систем автоматичного контролю оптимального ступеня завантаження барабанних млинів рудою.

Достовірність моделей спільного формування сигналів активної потужності приводних електродвигунів млинів і магнітних сепараторів, а також статичних

характеристик підтверджується використанням апробованих залежностей у теорії і практиці збагачення залізних руд, електротехніки та електроприводу, а також результатами комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень, якісним збігом теоретичних і експериментальних характеристик, що одержані для різних типів млинів.

Достовірність методу автоматичного контролю оптимального ступеня завантаження рудою барабанних млинів підтверджується результатами експериментальних досліджень у промислових умовах, перевіркою результатів при впровадженні на збагачувальній фабриці Центрального гірничого збагачувального комбінату (м. Кривий Ріг) та актом практичного використання дисертаційної роботи.

Достовірність методу автоматичного контролю продуктивності за магнітним продуктом технологічного комплексу подрібнення і магнітної сепарації підтверджується зниженням наведеної похибки вимірювання продуктивності сепаратора з 13% до 4,7% у порівнянні із відомим методом.

#### **4. Значимість для науки і практики результатів роботи.**

У науковому і практичному плані виконані здобувачем дослідження без сумніву є цінними і корисними для фахівців в галузі автоматизації технологічних процесів на магнітозбагачувальних фабриках. Це переконливо підтверджується результатами, що отримані у дисертації:

1) Отримано нові комплексні математичні моделі технологічних комплексів подрібнення і магнітної сепарації, що розв'язують моделі процесів подрібнення, класифікації та магнітної сепарації і моделі спільного формування сигналів активної потужності приводних електродвигунів млинів і магнітних сепараторів.

2) Отримано нові статичні характеристики залежності сигналу активної потужності електродвигуна магнітного сепаратора від сигналу активної потужності електродвигуна млина та встановлено закономірності дрейфу цих характеристик від технологічних параметрів подрібнення і фізико-механічних властивостей руди, що дозволило розробити метод автоматичного контролю

ступеня завантаження барабанних млинів рудою зі змінними фізико-механічними властивостями.

3) Розроблено метод автоматичного контролю оптимального ступеня завантаження залізною рудою барабанних млинів за сигналами активної потужності електродвигунів млинів і магнітних сепараторів, який на відміну від контролю завантаження млина тільки за одним сигналом активної потужності електродвигуна млина, дозволяє автоматично визначати заповнення млина рудою з різними фізико-механічними властивостями.

4) Розроблено метод автоматичного контролю продуктивності технологічного комплексу подрібнення і магнітної сепарації за спектральною складовою сигналу активної потужності електродвигуна магнітного сепаратора, що відрізняється від відомого методу автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора за загальним сигналом активної потужності сепаратора більш високою точністю, що дозволяє підвищити точність автоматичного контролю оптимального завантаження барабанних млинів залізною рудою за допомогою пілотного магнітного сепаратора.

5) Розроблено принципи побудови та технічні вимоги до систем автоматичного контролю оптимального завантаження барабанних млинів рудою на основі аналізу сигналів активної потужності електродвигунів млинів і сепараторів.

6) Розроблено функціонально-алгоритмічні структури систем автоматичного контролю ступеня завантаження рудою кульових млинів, млинів самоподрібнення і рудногалькових млинів.

7) Експериментальні дослідження системи автоматичного контролю ступеня завантаження рудою млина мокрого самоподрібнення показали, що система дозволяє підвищити продуктивність млина по переробленій руді на 5%, поліпшити розкриття руди і знизити переподрібнення руди.

Наукові положення та результати дисертації прийняті до впровадження на ВАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» м. Кривий Ріг і можуть

бути рекомендовані для впровадження на інших гірничо-збагачувальних комбінатах України.

### **5. Використання результатів дисертаційної роботи.**

Для практичного використання на збагачувальній фабриці ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» передані наступні технічні пропозиції, методики та рекомендації по автоматичному контролю ступеня завантаження рудою барабанних млинів магнітозбагачувальних фабрик:

Метод автоматичного контролю оптимального ступеня завантаження залізною рудою кульових млинів першого та другого ступеня подрібнення за сигналами активної потужності електродвигунів магнітних сепараторів і млинів.

Метод автоматичного контролю продуктивності технологічних комплексів подрібнення і магнітної сепарації залізних руд за спектральною складовою сигналу активної потужності електродвигуна магнітного сепаратора.

Схему алгоритму автоматичного контролю оптимального ступеню завантаження кульового млина рудою за знаком коефіцієнта кореляції між сигналами активної потужності електродвигунів магнітного сепаратора і млина.

Функціональні схеми систем автоматичного контролю ступеня завантаження залізною рудою кульових млинів першої та другої стадії магнітозбагачувальної фабрики.

Передані технічні пропозиції, методики та рекомендації, що розроблені на основі наукових положень і результатів кандидатської дисертації аспіранта Фаріс Самір Расмі Альхорі використані при оперативному управлінні технологічними процесами подрібнення і магнітної сепарації на збагачувальній фабриці.

Вони дозволили:

- автоматизувати контроль ступеня завантаження рудою кульових млинів;
- знизити витрати на автоматичний контроль технологічних параметрів збагачувальної фабрики;
- підвищити продуктивність кульових млинів по готовому класу – 0,074 мм;
- підвищити вихід і якість залізородного концентрату.

Практичне використання результатів підтверджується актом. Рекомендується використати результати дисертації на магнітозбагачувальних фабриках усіх гірничо-збагачувальних комбінатах України.

## **6. Структура роботи і її зміст.**

Дисертація містить вступ, 4 розділи, висновки, список використаних літературних джерел і додатки. Загальний обсяг роботи 175 – сторінок, з них 155 – основний текст. Дисертація містить 70 рисунків, 8 таблиць, список використаних літературних джерел із 184 найменувань на 16 сторінках, 2 додатки на 5 сторінках.

У вступі обґрунтовується актуальність роботи і проводиться постановка цілей і завдань дослідження. Наведено наукові положення і результати, наукова новизна і практична цінність роботи.

У першому розділі дисертації виконано аналіз відомих методів і систем автоматичного контролю та регулювання завантаження барабанних млинів рудою таких як: звукометричні методи за частотою і амплітудою шуму видаваного млином, а також з використанням вейвлет аналізу звукометричного сигналу, за сигналом активної потужності або її спектральною складовою, радіоізотопні методи та інші. Зроблено висновок, що загальним недоліком відомих методів і систем автоматичного контролю та регулювання ступеня завантаження барабанних млинів рудою є неможливість автоматичного визначення оптимального ступеня завантаження млинів рудою, яка забезпечує найкращу ступінь розкриття руди зі змінними фізико-механічними властивостями, такими як твердість, крупність вкраплення заліза та ін. На підставі аналізу технологічних схем збагачення магнітозбагачувальних фабрик і технології збагачення залізних руд розроблені технічні вимоги до систем автоматичного контролю завантаження рудою барабанних млинів:

1. Критерієм оптимального ступеня завантаження барабанного млина рудою є максимальне значення сигналу активної потужності електродвигуна магнітного сепаратора, яке відповідає найкращій мірі розкриття руди.



2. Ступінь завантаження барабанних млинів рудою повинна автоматично визначатися як один з трьох можливих режимів роботи млина: «недовантаження», «перевантаження», «оптимальне завантаження».

3. Метод автоматичного контролю ступеня завантаження млинів залізною рудою повинен ґрунтуватися на аналізі двох сигналів активної потужності споживаної електродвигунами барабанного млина і магнітного сепаратора.

4. Система автоматичного контролю ступеня завантаження барабанних млинів рудою повинна бути універсальною і мати можливість застосування для контролю ступеня завантаження кульових млинів, млинів мокрого самоподрібнення і рудногалькових млинів.

5. Система автоматичного контролю ступеня завантаження барабанних млинів рудою повинна бути реалізована на стандартних вимірювальних перетворювачах активної потужності, які включаються в коло статора електродвигунів 6 кВ та 380 В через вимірювальні перетворювачі струму і напруги.

6. Система автоматичного контролю ступеня завантаження повинна включати підсистему автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора за магнітним продуктом з наведеною похибкою вимірювання не більше 5%.

7. Система повинна автоматично визначати ступінь завантаження млинів залізною рудою з різними фізико-механічними властивостями.

8. Система автоматичного контролю ступеня завантаження барабанних млинів рудою повинна мати можливість роботи як в автоматизованому так і в автоматичному режимах.

З урахуванням виконаного аналізу виконана постановка мети і завдання дослідження.

У другому розділі виконані дослідження сигналу активної потужності електродвигуна магнітного сепаратора як критерія автоматичного контролю завантаження барабанних млинів рудою. Показано, що продуктивність магнітного сепаратора за магнітним продуктом визначається не всією активною потужністю,

споживаною електродвигунами барабана сепаратора з мережі, а тільки тією її частиною, яка йде на покриття втрат від вихрових струмів в барабані і втрат на гістерезис в шарі концентрату.

Були виконані порівняльні експериментальні дослідження методів автоматичного контролю продуктивності магнітних сепараторів за сигналом активної потужності електродвигуна сепаратора.

Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що наведена похибка вимірювання продуктивності сепаратора за магнітним продуктом за сигналом середнього значення активної потужності становить 13%, а наведена похибка вимірювання продуктивності сепаратора за магнітним продуктом за сигналом змінної складової активної потужності електродвигуна сепаратора, вимірюваної на частоті пульсацій магнітного поля сепаратора складає 4,7%.

**Третій розділ** присвячений розробці методів автоматичного контролю ступеня завантаження барабанних млинів рудою. Були складені комплексні математичні моделі циклів подрібнення і магнітної сепарації перших і других стадій магнітозбагачувальних фабрик. Виконано математичне моделювання впливу ступеня завантаження кульового млина рудою на розкриття залізної руди і продуктивність магнітного сепаратора за магнітним продуктом в барабанних млинах різних типів: кульових, самоподрібнення і рудногалькових. В результаті моделювання були отримані нові закономірності спільного формування сигналів активної потужності електродвигунів млинів і магнітних сепараторів, які були представлені у вигляді статичних характеристик технологічних комплексів подрібнення і магнітної сепарації.

**У четвертому розділі** розроблені функціональні схеми систем автоматичного контролю ступеня завантаження рудою барабанних млинів різних типів.

Розроблені схеми алгоритмів автоматичного контролю ступеня завантаження рудою кульових і безкульових млинів секцій збагачення магнітозбагачувальних фабрик. Виконано експериментальні дослідження в

промислових умовах системи автоматичного контролю ступеня завантаження рудою млина мокрого самоподрібнення.

Отримані результати показали ефективність кореляційної системи автоматизованого контролю та регулювання ступеня завантаження млина рудою за запропонованим критерієм, оскільки підвищення вилучення заліза показує поліпшення розкриття руди, а зниження втрат заліза в хвостах характеризує зменшення переподрібнення руди.

Наводиться приклад технічної реалізації системи автоматичного контролю ступеня завантаження рудою барабанних млинів магнітозбагачувальних фабрик на основі сучасних технічних засобів.

У висновку наводяться основні результати та висновки дисертації. Дисертація є завершеною науковою працею, в результаті виконання якої вирішена актуальна наукова задача встановлення нових закономірностей спільного формування сигналів активної потужності приводних електродвигунів барабанних млинів і магнітних сепараторів в технологічних комплексах магнітного збагачення залізних руд та зв'язку цих сигналів із завантаженням барабанних млинів рудою. На основі отриманих закономірностей розроблені метод і системи автоматичного контролю ступеня завантаження рудою барабанних млинів магнітозбагачувальних фабрик.

**7. Оцінка змісту дисертації, її завершеність. Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих роботах.**

Дисертаційна робота Фаріс Самір Расмі Альхорі включає всі необхідні компоненти кандидатських дисертацій. Вона має чітку постановку задач наукових досліджень, аналіз сучасного стану питань автоматизації процесів подрібнення руд, чітку спрямованість, тісний взаємозв'язок теоретичної й експериментальної частини, наукову новизну, цінність для науки і виробництва. Дисертація написана чітко і логічно. Зміст дисертації відповідає спеціальності 05.13.07 - автоматизація процесів керування.

В авторефераті дисертації коротко викладені мета і новизна роботи, основний зміст дисертації, наукові положення і результати, що захищаються, а

також висновки і рекомендації, Зміст автореферату цілком відповідає основним положенням дисертації.

За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць. З них 6 статей в науково-технічних журналах та збірниках наукових праць, що входять до переліку МОН України, у тому числі 4 статті у виданнях, що входять до наукометричної бази SCOPUS, 2 – матеріали конференцій.

#### **8. Зауваження по дисертаційній роботі.**

1. При математичному моделюванні технологічних комплексів магнітного збагачення варто було більш детально описати прийняті допущення.

2. В роботі розглянуто метод автоматичного контролю ступеня завантаження рудою барабанних млинів. На наш погляд було б доцільно розглянути і систему оптимізації завантаження млинів рудою, яка базується на запропонованому методі контролю.

3. Система автоматичного контролю ступеня завантаження рудою базується на визначенні положення робочої точки на статичній характеристиці технологічного комплексу подрібнення та магнітної сепарації. Але б не заважало розглянути ще й динаміку зміни завантаження.

4. Наведені схеми алгоритмів визначення ступеня завантаження барабанних млинів рудою мають досить загальний характер без деталізації розрахунку знаку коефіцієнтів кореляції.

5. Мають місце окремі неточності в оформленні графічного матеріалу та тексту дисертації, окремі орфографічні та синтаксичні неточності, пов'язані з тим, що аспірант іноземець.

Наведені зауваження не торкаються суті роботи і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

#### **8. Висновки.**

Дисертація Фаріс Самір Расмі Альхорі «Метод автоматичного контролю ступеня завантаження рудою барабанних млинів магнітозбагачувальних фабрик» є цілісною завершеною науковою працею, в якій вирішена важлива для гірничо-збагачувальної промисловості України науково-практична задача наукового

обґрунтування методу автоматичного контролю ступеня завантаження рудою барабанних млинів різних типів на основі встановлення нових закономірностей спільного формування сигналів активної потужності електродвигунів млина та послідовно з'єданого з ним пілотного магнітного сепаратора, що дозволяє покращити розкриття залізних руд зі змінними властивостями і підвищити продуктивність збагачувальних фабрик та якість залізорудного концентрату.

Реалізація розроблених у дисертації технічних рішень вносить значний внесок у підвищення ефективності автоматизації технологічних процесів на магнітозбагачувальних фабриках України.

За своїм характером, обсягом і результатами виконаних досліджень дисертація Фаріс Самір Расмі Альхорі відповідає вимогам п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» МОН України, а її автор Фаріс Самір Расмі Альхорі заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент,  
доцент кафедри автоматизації  
виробничих процесів  
Кіровоградського національного  
технічного університету,  
кандидат технічних наук, доцент

*Відгук отримано*  
*10.10.15*  
*Внешній експерт* *Остапук СВ.*

А.М.Мацуй

Підпис к.т.н., доцента Мацуй А.М.

«ЗАСВІДЧУЮ»

Проректор з наукової роботи  
Кіровоградського національного  
технічного університету



*Handwritten signature of O.M. Levchenko*  
*7.10.15*

О.М. Левченко