

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, доцента Цимбала Олександра Михайловича на дисертаційну роботу Мацуя Анатолія Миколайовича «Методологічні засади енергоефективного інваріантного керування подрібненням-класифікацією руд на основі непрямих прогностичних оцінок характеристик сировини та обладнання», яку подано до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування

1. Актуальність теми дисертації

На сьогодні економіка України значну частину доходів від експорту отримує шляхом реалізації продукції вітчизняної чорної металургії та вітчизняних залізрудних концентратів гірничозбагачувальних комбінатів. В той же час в наслідок більшої собівартості вітчизняних залізрудних концентратів порівняно з зарубіжними аналогами Україна втрачає значну частку прибутку. Аналіз показує, що дану проблему збагачувальної галузі можливо вирішувати кількома шляхами одночасно. Одним з них є покращення ефективності автоматичного керування процесами подрібнення вихідної руди, де вузьким місцем є перша стадія подрібнення-класифікації вихідної сировини. Тут найбільш перевитрачаються електрична енергія, вартісні кулі і футеровка, втрачається корисний компонент. Невипадково, що дисертант в якості об'єкта дослідження обирає процеси керування технологічними переділами кульового подрібнення та класифікації залізної руди в перших стадіях рудозбагачувальних фабрик, а удосконалення автоматизованого керування даними технологічними процесами формулює як наукову проблему, вирішенню якої присвячується дана робота. Все це вказує на актуальність та своєчасність даної дисертаційної роботи.

Робота виконувалася відповідно до планів наукової тематики Центральноукраїнського національного технічного університету, зокрема НДР

«Автоматизація процесів керування розділенням твердого по крупності у механічних спіральних класифікаторах» (номер державної реєстрації 0115U003602), «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (номер державної реєстрації 0115U003942), «Моделювання технологічних процесів у механічних спіральних класифікаторах з метою вдосконалення математичних моделей» (номер державної реєстрації 0115U003962), «Комп'ютеризована система ідентифікації завантаження кульового млина при управлінні подрібненням руди» (номер державної реєстрації 0109U007939).

2. Наукова новизна результатів роботи.

Наукову новизну автор формулює шляхом визначення основних наукових положень та наукових результатів, які виносяться на захист.

Наукові положення:

1. Автоматизоване інваріантне керування подрібненням-класифікацією руди певних технологічних різнотипів на основі непрямих прогностичних оцінок корисно витраченої енергії на подрібнення сировини, в'язкості пульпи в технологічних агрегатах і об'єму пісків у міжвитковому просторі спіралі класифікатора забезпечує енергоефективне подрібнення руди, оптимальну продуктивність за готовим продуктом та підвищену якість класифікації подрібненого матеріалу.

2. Енергоефективність подрібнення сировини у кульовому млині з боку молольного середовища забезпечується оптимізацією спрацювання куль і футеровки та автоматичною стабілізацією оптимального кульового завантаження в процесі роботи, що дозволяє завдяки наближенню реальної характеристики крупності кульового завантаження до ідеалізованої зменшити витрати куль і футеровки та збільшити продуктивність технологічного агрегату.

3. Параметри пісків, що знаходяться між двома витками спіралі при сходженні через пісковий поріг класифікатора, однозначно характеризують миттєву масову витрату твердого і через отримані математичні залежності дозволяють сформувати оцінку циркулюючого навантаження та з урахуванням

цього побудувати квазіінваріантну слідкуючу систему стабілізації розрідження пульпи в пісковому жолобі класифікатора і, як наслідок, підвищити якість подрібнення руди в кульовому млині.

Наукові результати:

1. Вперше розроблено метод автоматизованого керування розділенням подрібненої руди з розвантаження кульового млина на основі визначення усталеного значення в'язкості пульпи в зоні розділення твердого та відповідної до неї обраною константою співвідношення тверде/вода в односпіральному класифікаторі, осереднених у часі руху пульпи через барабан млина співвідношень тверде/вода та масових витрат руди в млині і пісків класифікатора, який дозволяє стабілізувати вихід готового продукту на необхідному рівні та збільшити його на 13,2%.

2. Вперше розроблено математичну модель оперативного оцінювання в'язкості пульпи в потоках, яка базується на пропорційності цієї характеристики коефіцієнту в'язкості, що визначається експериментально для конкретної сировини, середньозваженій крупності твердого і складеному параметру, залежному від густини твердого, води і співвідношення тверде/вода, та дозволяє реалізувати автоматизоване керування кульовим млином і механічним односпіральним класифікатором з врахуванням стану технологічних агрегатів.

3. Вперше розроблено метод непрямого автоматичного визначення енергоефективності руйнування руди безпосередньо в барабані кульового млина за зруйнованим об'ємом на основі вимірювання змінних повних укорочень основного вимірювального стрижня, на внутрішньому торці якого руйнується падаючою молольною кулею руда, та допоміжного, що деформується лише під ударом кулі, які ідентифікують зруйнований об'єм крупного матеріалу з похибкою до $\pm 2,5\%$, що є параметром, інваріантним до зміни швидкості руху куль, їх маси і товщини футеровки, який дозволяє здійснити автоматичне керування енергоефективним подрібненням руди з економією енергетичних і матеріальних ресурсів.

4. Набув подальшого розвитку підхід щодо автоматизованого визначення середньозваженої крупності пісків класифікатора і розвантаження кульового млина за швидкістю зміни об'єму твердого в робочому магнітному полі магнітоелектричної системи, який полягає у встановленні її в конструктивні елементи цих технологічних агрегатів, що взаємодіють з незмінним вмістом твердого, мають незмінну швидкість переміщення, та передбачає здійснення корекції вмісту магнітного заліза в руді, що дозволяє зменшити відносну похибку вимірювання параметра до $\pm 2,91\%$.

5. Удосконалено математичну модель сходження пісків через поріг механічного односпірального класифікатора на основі математичного опису їх стереометрії, що забезпечує визначення миттєвих значень витрат їх об'єму та зменшення похибки вимірювання цього параметру до $\pm 2,5\%$, що дозволяє здійснити автоматичну стабілізацію розрідження пісків на рівні вимог технологічного процесу за точністю.

6. Удосконалено структуру автоматизованого ієрархічного керування рудною продуктивністю кульового млина і співвідношенням тверде/вода в ньому при зміні крупності вхідного живлення шляхом застосування запропонованих алгоритму і програми на основі оцінювання базових показників подрібнення руди, корисно витраченої енергії на подрібнення встановленої кількості руди, швидкості руху пульпи, в'язкості пульпи та в'язкості води і додаткової її витрати в технологічний агрегат, що забезпечує швидке осереднення пульпи за крупністю твердого і розрідженням, унаслідок чого покращується енергоефективність та зростає продуктивність подрібнення сировини за готовим продуктом відповідно на 12,5% та 10...15%.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується коректністю постановки і вирішення сформульованих завдань, використанням апробованих фундаментальних закономірностей точних наук, зокрема, теорії автоматичного керування, теорії

вимірювальних засобів, теорії інваріантності та слідкуючих систем, адаптивних систем та інших фундаментальних наук і доведених положень теорії ймовірностей, випадкових процесів, статистичного аналізу, задовільним збігом результатів теоретичних досліджень, експериментальних випробувань та комп'ютерного моделювання, отриманням достатнього обсягу статистичного матеріалу, який гарантує похибку не більше 5%.

4. Наукове і практичне значення роботи

Наукове значення роботи полягає у створенні нової методології реалізації енергоефективного інваріантного керування подрібненням-класифікацією руд на основі непрямих прогностичних оцінок характеристик сировини та обладнання, розвитку систем інваріантного керування процесами подрібнення матеріалу у кульових млинах і класифікації твердого за крупністю та підходів вимірювання технологічних параметрів і підвищення їх точності.

Практична цінність роботи полягає у розробці комплексу автоматизованих систем для енергоефективного інваріантного керування подрібненням-класифікацією руд у складі АСУТП першої стадії рудопідготовки на базі запропонованих математичних моделей, алгоритмічних і програмних засобів, що дозволяє досягати точності керування на рівні, вище технологічних вимог.

5. Реалізація результатів роботи

Практичну цінність отриманих результатів підтверджено довідками про доцільність їх впровадження у виробництво (ПрАТ «Полтавський ГЗК») та результатами проведених експериментальних досліджень. Матеріали дисертації використовуються в навчальному процесі Центральноукраїнського національного технічного університету. Крім того, матеріали дисертації доцільно використовувати при модернізації та проектуванні збагачувальних фабрик.

6. Структура роботи і її основний зміст

Дисертація Мацуя А.М. включає анотацію, вступ, шість розділів, висновки, список використаних літературних джерел, додатки, графічний та табличний матеріал.

В анотації коротко викладено основні результати роботи. У вступі доведена актуальність роботи та її зв'язок з науково-дослідною тематикою, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Вказано на апробацію результатів дослідження та структуру і кількість зроблених публікацій.

Перший розділ присвячено аналізу стану сформульованої актуальної наукової проблеми, яка полягає в переведенні автоматизованого керування кульовим подрібненням руди на якісно вищий рівень шляхом реалізації прогресивних ідей організації керуючих систем на основі нових або вдосконалених математичних моделей і встановлених залежностей для даного обладнання, методів і систем автоматичного керування процесами в умовах залізорудних збагачувальних фабрик, підходів і засобів оцінювання основних технологічних параметрів з підвищеною точністю.

Другий розділ присвячено викладенню створеної нової методології реалізації енергоефективного інваріантного керування подрібненням-класифікацією руд на основі непрямих прогностичних оцінок характеристик сировини та обладнання.

У третьому розділі здійснено теоретичну розробку автоматизованого розділення твердого та його інформаційного забезпечення в механічному односпіральному класифікаторі при енергоефективному інваріантному керуванні подрібненням-класифікацією руд на основі непрямих прогностичних оцінок характеристик сировини та обладнання.

У четвертому розділі визначено та теоретично обґрунтовано інформаційне забезпечення кульового млина при енергоефективному інваріантному керуванні подрібненням-класифікацією руд на основі непрямих прогностичних оцінок характеристик сировини та обладнання.

У п'ятому розділі виконано теоретичне дослідження і розробку систем енергоефективного інваріантного керування подрібненням-класифікацією руд на основі непрямих прогностичних оцінок характеристик сировини та обладнання.

У шостому розділі викладено методику, результати експериментальних досліджень і практичної реалізації комплексу енергоефективного інваріантного керування подрібненням-класифікацією руд на основі непрямих прогностичних оцінок характеристик сировини та обладнання.

Детальний огляд окремих наукових положень дисертації винесено у додатки.

Узагальнюючи відзначене, можна підтвердити, що зміст дисертації відрізняється достатньою повнотою, основні її положення, висновки і рекомендації обґрунтовані в достатній мірі, а сама дисертація є завершеною науковою працею, оформленою у відповідності до вимог МОН України, і відповідає паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування. В ній не використовувались матеріали захищеної раніше дисертації на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук.

7. Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Результати досліджень достатньо повно висвітлено у наукових працях, які приведені у авторефераті. Всього видано 97 друкованих праці, з них 1 монографія, 2 розділи в колективних монографіях, виданих в країнах ЄС; 4 – у виданнях, що індексуються в міжнародних науково-метричних базах Scopus та WoS; 43 статті (у тому числі 7 одноосібних), 24 – у фахових наукових виданнях України, 2 – у закордонних періодичних наукових журналах; 35 – у збірниках матеріалів і тез доповідей наукових конференцій. Новизна основних положень дисертації підтверджена 8 патентами України на корисну модель і 4 патентами на винахід. Основні теоретичні, методичні положення та результати досліджень регулярно доповідалися і були апробовані на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях.

8. Загальні зауваження до дисертації:

1) Автором вказується на перспективність розробки адаптивних систем керування на основі нечітких (с.55) та нейромережевих (с. 108) моделей, проте в дисертації дані напрямки не знаходять свого розвитку.

2) В розділі 5 рудній продуктивності кульового млина, зокрема виконавчій системі, приділяється велика увага: обґрунтовано вибір керованої величини – витрати вихідної руди зі змінною середньозваженою крупністю, принцип замкненого керування, тип регулятора та метод його налагодження. Показано, що необхідно застосувати ПІД-регулятор і налагодити його методом Куна, проте не розглядається виконавча система розрідження пульпи в млині.

3) В розділі 5.1 (рис.5.6, 5.7) наведуться розроблені виконавчий механізм системи (багатоструминний пристрій з механізмом для завантаження різнорозмірних куль у кульовий млин на заміну спрацьованих) і система автоматичного керування його роботою. Вказується, що багатоструминний пристрій необхідно заправляти різнорозмірними кулями в кількості 418 шт. і що найкраще це може здійснити промисловий робот. Однак надалі в роботі відповідні алгоритми і програми для керування операціями за допомогою промислового робота не розробляються.

4) В розділі 5.1, стор.248 вказано, що заміну звільнених від куль багатоструминних пристроїв завантаженими здійснюють впродовж години за спеціальним графіком, що охоплює всю збагачувальну фабрику, який включає операції знімання пустого засобу з технологічного агрегату, транспортування його на позицію завантаження, захоплення завантаженого засобу, транспортування його до звільненого від нього технологічного агрегату з наступною установкою на кульовий млин. Це є непростою задачею в умовах значного числа кульових млинів і обмеженого часу виконання операції заміни завантажувальних пристроїв. Однак алгоритм і програма її виконання в роботі не розглядаються.

5) В п.5.3.5 розглянуто радіотехнічний метод передачі корисної інформації з обертових об'єктів на нерухомі. Запропонований метод і автоматичний регулятор для його здійснення є оригінальними і новими, ґрунтуються на базі амплітудної стабілізації. Проте, основою радіотехнічних систем є частотна стабілізація. Пояснення вибору даного підходу і відходу від прийнятих в радіотехніці принципів в роботі не зроблено.

6) У роботі застосовано два терміни «радіометод» (п.5.3.5, стор.295), автореферат (стор.26) і «радіосистема» (п.6.2, стор.332) до одного і того ж поняття. Більш коректними термінам є відповідно «радіотехнічний метод», «радіотехнічна система».

7) На рис.6.7 (розділ 6) розглядається конструкція багатоструминного пристрою як виконавчого механізму АСК для завантаження різнорозмірних куль у кульовий млин. Позиція 6 на даному рисунку вказує на магазин з різнорозмірними кулями, а в тексті до даного рис.6.7 сказано, що в експерименті молотильні тіла були одного розміру. Однак в роботі це не пояснено.

8) В роботі не наводиться порівняння отриманих результатів із існуючими аналогічними зарубіжними системами обробки рудних матеріалів.

9) Автором не вказується, чи можуть бути отримані в роботі результати узагальнені і використані в інших галузях промисловості.

Вказані зауваження, в цілому, не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Дослідження, здійснені в дисертаційній роботі дослідження є новими, змістовними та корисними.

Висновки та рекомендації

Дисертація Мацуя А.М. є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, які в цілому вирішують актуальну наукову проблему, що полягає у переведенні автоматизованого керування кульовим подрібненням руди на якісно вищий рівень шляхом реалізації прогресивних ідей організації керуючих систем на основі нових або вдосконалених математичних моделей і встановлених залежностей для даного обладнання, методів і систем автоматичного керування процесами в умовах залізрудних збагачувальних фабрик, підходів і засобів оцінювання основних технологічних параметрів з підвищеною точністю. Висновки та рекомендації здобувача мають наукову і практичну цінність.

Основні положення виконаної наукової роботи достатньо повно розкрито в зазначених у авторефераті та дисертації публікаціях.

Автореферат достатньо добре передає зміст і основні положення дисертації.

За змістом, формою, рівнем та стилем викладення дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 щодо докторських дисертацій та паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування, а саме пунктам паспорта спеціальності:

- методи створення АСК процесами та комплексами різного призначення;
- моделювання об'єктів та систем керування (статичні та динамічні, стохастичні та імітаційні, логіко-динамічні моделі тощо);
- інформаційне та програмне забезпечення АСК організаційно-технічними об'єктами та комплексами;
- ідентифікація та контроль параметрів об'єктів керування в різних галузях народного господарства.

На підставі сказаного вважаю, що Мацуї Анатолій Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації та мехатроніки
Харківського національного університету
радіоелектроніки



Олександр ЦИМБАЛ

Підпис д.т.н., доц. Цимбала О.М. засвідчую,
учений секретар
Харківського національного
університету радіоелектроніки
кандидат технічних наук, доцент




Ігор МАГДАЛІНА

Відгук надійшов
учений секретар



Тихачев