

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Мацуя Анатолія Миколайовича

**«Методологічні засади енергоефективного інваріантного керування
подрібненням-класифікацією руд на основі непрямих прогностичних
оцінок характеристик сировини та обладнання»,**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування

1. Актуальність теми дисертації

Україна стійко займає вагомі місця серед країн-виробників продукції чорної металургії. Переважна частка доходів від експорту забезпечується продукцією вітчизняних металургійних та гірничо-збагачувальних комбінатів. В той же час дана продукція відрізняється вищою собівартістю, дещо нижчою якістю та вищими питомими витратами електроенергії і матеріалів порівняно з зарубіжними аналогами. Тому існує гостра потреба підвищення рівня конкурентоспроможності вітчизняної продукції на світовому ринку. Оскільки сировиною металургійної галузі є в основному залізорудний концентрат, який здебільшого і визначає рівень цих показників. В значній мірі якість концентрату залежить від досконалості автоматичного керування достатньо складними процесами його виробництва, особливо в першій стадії подрібнення-класифікації руд. Оскільки за тривалий час в цій сфері не досягнуто необхідних результатів, вчені і практики приходять до висновку про недосконалість методології енергоефективного керування подрібненням-класифікацією руд, особливо в перших стадіях рудопідготовки. У зв'язку з цим дисертант у якості об'єкта дослідження обирає процеси керування технологічними переділами кульового подрібнення залізної руди, а предмета дослідження – комплекс автоматизованих систем для здійснення такого керування. Тому переведення

автоматизованого керування кульовим подрібненням руди на якісно вищий рівень шляхом реалізації інноваційних ідей організації керуючих систем на основі нових або вдосконалених математичних моделей і встановлених залежностей для даного обладнання, методів та систем автоматизованого керування процесами в умовах залізорудних збагачувальних фабрик, підходів і засобів оцінювання основних технологічних параметрів є актуальною науковою проблемою.

Матеріали дисертації ґрунтуються на результатах наукових досліджень, отриманих у процесі виконання науково-дослідних робіт «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), включених до тематичного плану Центральноукраїнського національного технічного університету.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому і зауваження по оформленню

Дисертація Мацуя А.М. включає: анотацію, вступ, шість розділів, висновки, список використаних літературних джерел, додатки, графічний та табличний матеріал. Загальний обсяг роботи складає 672 сторінки, з них основна частина – 331 сторінка, список використаних джерел з 297 найменувань, 11 додатків.

В анотації коротко викладено зміст роботи. У вступі обґрунтовано актуальність роботи та її зв'язок з науково-дослідними темами. Визначено

мету і завдання досліджень, охарактеризовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Сформульовано об'єкт і предмет дослідження, розкриті методи досліджень, доведені обґрунтованість і достовірність отриманих наукових результатів.

У першому розділі проведено аналіз стану сформульованої актуальної наукової проблеми, розглянуті базові основи енергоефективного інваріантного керування подрібненням-класифікацією руд, поставлені завдання для досліджень. Розділ відповідає встановленим нормам оформлення докторської дисертації, складаючи менше 20% від обсягу основної частини дисертаційної роботи.

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

У третьому розділі виконано теоретичне дослідження підходу автоматизованого керування розділенням твердого в механічному односпіральному класифікаторі, підвищення точності ідентифікації циркулюючого навантаження циклу, формування циркулюючого навантаження і пульпи у пісковому жолобі з метою підвищення точності інформаційного забезпечення автоматичної стабілізації розрідження пульпи і завантаження кульового млина, інформаційних засобів класифікатора при енергоефективному інваріантному керуванні подрібненням-класифікацією руд на основі непрямих прогностичних оцінок характеристик сировини та існуючого технологічного обладнання.

У четвертому розділі приведено результати теоретичних досліджень щодо загальних положень інформаційного забезпечення при енергоефективному інваріантному керуванні кульовим подрібненням руд; обґрунтування методу непрямого прогностичного оцінювання стану оптимального кульового завантаження млина; можливості оперативного оцінювання в'язкості пульпи; інформаційного забезпечення руху пульпи

вздовж барабана млина; непрямого прогностичного оцінювання енергоефективності руйнування руди в кульових млинах з високим та низьким рівнями зливу пульпи.

У п'ятому розділі здійснено теоретичні дослідження оптимального складу і обсягу різнорозмірного кульового завантаження та системи його стабілізації в процесі роботи; квазіінваріантної слідкуючої системи підвищеної точності стабілізації розрідження пісків класифікатора; підходи адаптування млина до зміни крупності вихідного живлення; автоматизованих систем, що забезпечують керування завантаженням руди і розрідженням пульпи в млині при зміні крупності вихідного живлення; можливості енергоефективного руйнування руд в кульовому млині керуванням за відхиленням концентрації крупного твердого в зоні контролю; автоматизованих систем інваріантного керування пом'якшенням впливу перешкод на результати подрібнення руди; радіометоду передачі інформації з обертових частин об'єкта на нерухомі; системи, адаптованої до умов класифікації розвантаження кульового млина, при енергоефективному інваріантному керуванні подрібненням руд на основі непрямих прогностичних оцінок характеристик сировини та обладнання.

У шостому розділі викладено методику, результати експериментальних досліджень і практичної реалізації комплексу автоматизованих систем для енергоефективного інваріантного керування подрібненням-класифікацією руд у складі АСК ТП першої стадії рудопідготовки. Одержані при випробуваннях результати відповідають теоретичним, що засвідчує достовірність зроблених висновків та рекомендацій. Отримані похибки оцінювання і якість керування значно кращі тих, що пред'явлені. Розраховано економічний ефект, що очікується при впровадженні розробок автора.

Підсумовуючи сказане, можна відмітити, що зміст дисертації відрізняється достатньою повнотою, основні його положення, висновки і

рекомендації в достатній мірі обґрунтовані, робота є завершеною науковою працею і оформлена у відповідності до вимог МОН України. В ній матеріали захищеної дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук не використані.

3. Достовірність та наукова новизна результатів досліджень

Наукові положення, результати досліджень і рекомендації є повністю обґрунтованими і достовірними, що підтверджується логікою постановки цілей та завдань досліджень, коректним використанням апробованих методів теорії вимірювальних засобів, теорії автоматичного керування, математичного, стохастичного моделювання, теорії імовірності, випадкових процесів, математичної статистики, динаміки сипких матеріалів, наукового узагальнення і систематизації, значеннями результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Наукова новизна результатів досліджень Мацуя А.М. полягає в наступному:

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 сформулювати 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 впродовж часу руху пульпи через барабан млина співвідношень тверде/вода в ньому та масових витрат руди в млин 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 молочною 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%.

Представлені в дисертації результати наукових досліджень отримані автором особисто, що підтверджується зробленими публікаціями.

4. Наукове і практичне значення дисертаційної роботи

Науковою основою дисертації є нова методологія реалізації енергоефективного інваріантного керування подрібненням-класифікацією руд на основі непрямих прогностичних оцінок характеристик сировини та технологічного обладнання.

Наукове значення роботи полягає в створенні нових математичних моделей технологічних процесів і обладнання, розвитку інваріантних систем керування цими процесами, в підвищенні точності ідентифікації параметрів, створенні нових засобів ідентифікації енергоефективності руйнування руди безпосередньо в барабані кульового млина, непрямого оперативного оцінювання в'язкості пульпи в технологічних агрегатах, стану різнорозмірного кульового завантаження млина, що дозволило синтезувати локальні АСК технологічними процесами та об'єднати їх в єдиний керуючий комплекс.

На підставі результатів проведених досліджень були розроблені нові системи автоматизованого керування, які стабілізують оптимальний склад і обсяг різнорозмірного кульового завантаження в процесі роботи, стабілізують з підвищеною точністю розрідження пісків класифікатора, що значно покращує ефективність роботи кульового млина, адаптують роботу млина до зміни крупності вихідного живлення, коректуючи завантаження руди і розрідження пульпи, пом'якшують вплив спрацювання футеровки, прослизання кульового завантаження на результат подрібнення руди, адаптують процес розділення твердого до умов класифікації. Наукове

значення дисертації полягає і в створенні радіометоду передачі інформації з обертових частин об'єктів на нерухомі.

Практичне значення дисертації Мацуя А.М. полягає у створенні комплексу систем для енергоефективного інваріантного керування подрібненням-класифікацією руд у складі АСК ТП першої стадії рудопідготовки, у яких використано нові підходи керування процесами, реалізована нова методологія енергоефективного інваріантного керування, створені ефективні методи, підходи і пристрої вимірювання параметрів, підвищення точності вимірювання та керування і які у складних технологічних умовах забезпечують показники точності, що вимагає технологічний процес.

5. Реалізація результатів дисертації

Практична цінність результатів досліджень підтверджується довідками про доцільність їх впровадження у виробництво на ПрАТ «Полтавський ГЗК» та результатами проведених експериментальних досліджень. Матеріали дисертації використовуються у навчальному процесі Центральноукраїнського національного технічного університету.

Отримані в дисертації результати можуть використовуватись при розробці схем автоматизації, алгоритмічного та програмного забезпечення систем автоматичного керування технологічними процесами рудозбагачувальних фабрик.

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

Результати досліджень досить повно висвітлено в 97 наукових працях, які приведені в авторефераті. З них 1 монографія, розділи у 2 колективних монографіях виданих в країнах ЄС, 43 статті (у тому числі 7 одноосібних), у фахових наукових виданнях України – 24, 4 – у виданнях, що індексуються в міжнародних науково-метричних базах Scopus та WoS та 35 статей і тез доповідей за матеріалами 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 доповідалися і були схвалені на 38 науково-технічних і науково-практичних конференціях, які проходили з 2011 по 2021 роки.

7. Зауваження:

1. В розділах 1 і 2 використовується достатньо велика кількість літературних джерел і вони розташовуються рівномірно і конкретно. В той же час у окремих випадках, наприклад п.3.2, п.4.2 і п.5.1 одночасно вказується значна кількість літературних джерел, де втрачається конкретика посилання і ускладнюється робота з ними.

2. В п.3.3, стор.169 вказано, що запропонований метод вимірювання циркулюючого навантаження базується на знаходженні миттєвих значень витрати саме твердого в той час, коли інші підходи визначають лише середні характеристики потоку твердого разом з водою. Однак переваги запропонованого методу докладно не вказані.

3. На стор.172 (п.3.4) сказано, що при спрацюванні спіралі класифікатора зміщується вертикаль вимірювання рівня пісків між її витками, однак перетворювач висоти не змінює при вимірюванні свого положення. Як же вдалося за таких умов досягти високої точності вимірювання висоти пісків?

4. В п.4.4, стор.213 приведені рівняння (4.38) непрямого визначення швидкості пульпи вздовж барабана млина. На погляд опонента робота виграла б, якби на основі приведених рівнянь здійснити пряме визначення швидкості руху пульпи, промодельювати процес і зробити його аналіз.

5. В п.5.1., стор.244-245 сказано: «Розрахунками встановлено, що автоматична компенсація спрацювання футеровки кулями збільшує рудну продуктивність кульового млина МШЦ 4,5×6,0 на 2,85%». А як це можливо довести?

6. В додатку Б.1, стор.404 вказана константа 1,3514 та експериментально отримані результати визначення вологовмісту пісків спірального класифікатора, але не відмічено звідки взята ця цифра.

7. Для оптимізації ряду процесів (Додаток В.1, Додаток В.2, Додаток Д.2) вибрано метод динамічного програмування, але чому саме його обрано, не сказано?

Разом з тим вважаю, що зазначені вище зауваження та недоліки мають переважно уточнюючий характер або стосуються напрямів подальшого вдосконалення отриманих результатів. Отже, у цілому дисертація Мацуя Анатолія Миколайовича є завершеною науковою роботою, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальну наукову проблему переведення автоматизованого керування кульовим подрібненням руди на якісно вищий рівень шляхом реалізації інноваційних ідей організації керуючих систем на основі нових або вдосконалених математичних моделей та встановлених залежностей для даного обладнання, методів і систем автоматизованого керування процесами в умовах залізорудних збагачувальних фабрик, підходів і засобів оцінювання основних технологічних параметрів.

Дисертація виконана на високому рівні. Висновки та рекомендації здобувача мають наукову й практичну цінність. Основні положення дисертації достатньо повно розкрито в зазначених в авторефераті та дисертації публікаціях. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

За змістом, формою, рівнем та стилем викладання дисертація відповідає вимогам пунктів «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013р. щодо докторських дисертацій та паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування, зокрема, за наступними напрямками досліджень:

- методи створення АСК процесами та комплексами різного призначення (пункт 1);
- моделювання об'єктів та систем керування (статичні та динамічні, стохастичні та імітаційні, логіко-динамічні моделі тощо) (пункт 3);
- інформаційне та програмне забезпечення АСК організаційно-технічними об'єктами та комплексами (пункт 4);
- ідентифікація та контроль параметрів об'єктів керування в різних галузях народного господарства (пункт 5).

Вважаю, що Мацуї Анатолій Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмного
забезпечення комп'ютерних систем
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»



Л.І. Мещеряков

Підпис д.т.н., професора Мещерякова Л.І.

«ЗАСВІДЧУЮ»

Вчений секретар Вченої ради
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»



Т.М. Калюжна



30.11.2021



Тиханський АП.