

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Кондратця Василя Олександровича
на дисертацію Швеця Дмитра Валерійовича

«Автоматизоване керування процесом подрібнення залізистих кварцитів з
визначенням їх властивостей ядернофізичними та магнітометричними
методами»,

що подана до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

1. Актуальність теми дисертації

Дисертація ШВЕЦЯ Д.В. є **актуальним**, сучасним дослідженням підвищення якості концентрату та зниження втрат заліза, розробки автоматизованої системи керування технологічним процесом подрібнення залізистих кварцитів на основі визначення їх хіміко-мінералогічних властивостей з використанням магнітометричних та ядерно-фізичних методів.

Високий рівень конкуренції на світових ринках збуту зумовлює необхідність підвищення якості залізорудної продукції, у зв'язку з чим тенденція до підвищення якості концентрату найближчими роками зберігатиметься.

В даний час конкурентоспроможною на світовому ринку вважається залізорудна продукція, що містить щонайменше 67–68% заліза. Аналіз конкурентоспроможності гірничозбагачувальних комбінатів показує, що якість концентрату не досягає вимог світового ринку через недостатньо високий вміст у ньому заліза та його значне коливання. Також велика енергоємність виробництва залізорудного концентрату, що становить близько 50% собівартості продукції.

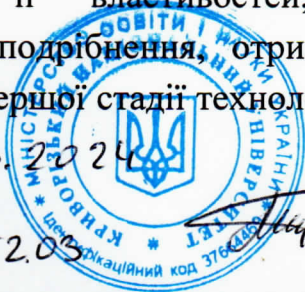
За для зниження витрат на виробництво концентрату, стабілізації якості сировини, мінімізації втрат заліза в хвостах, збільшення обсягів виробництва на гірничозбагачувальних комбінатах дисертант провів дослідження щодо контролю технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини.

У дисертації автором вирішено актуальне наукове завдання розробки автоматизованої системи керування першою стадією переробки залізистих кварцитів на основі нових підходів, що полягають у використанні ядерно-фізичних та магнітометричних методів контролю вмісту заліза у вихідній руді в умовах стохастичності її властивостей, що дозволяє підвищити інформативність процесу подрібнення, отримати дані про характеристики міцності руди у живленні першої стадії технологічного процесу подрібнення та

Отримано 05.06.2024

Вчений секретар

спецради 209.052.05



М.П. Тиханевський

здійснювати оптимальне керування шляхом коригування подачі руди на основі інформації про вміст у ній загального та магнітного заліза.

Дисертаційні дослідження автором виконувалися на кафедрі моделювання та програмного забезпечення Криворізького національного університету в межах науково-дослідних держбюджетних тем «Розробка пристрою неруйнівного контролю фізико-хімічних властивостей гірських порід в експлуатаційних свердловинах» (№ДР0118U000120) та «Методи і програмно-технічні комплекси контролю і управління якістю залізорудної сировини при видобутку і переробці» (№ДР0120U102310).

2. Наукова новизна результатів роботи

Наукова новизна дисертації Швеця Д.В. має як теоретичний, так і прикладний виміри. Важливим елементом, що забезпечив, новизну, є сформульовані автором підходи: аналізу вітчизняного та зарубіжного досвіду; систематизації існуючих методів оптимізації переробки залізорудної сировини для обґрунтування актуальності, мети та завдань дослідження; використання методів математичної статистики для опрацювання результатів експериментів; застосування методів системного аналізу та оптимального керування при розробці алгоритмів керування процесом переробки руди; залучення комп'ютерних інформаційних технологій для реалізації автоматизованої системи керування процесом переробки руди у вигляді програмного забезпечення з використанням нечіткої логіки та отримані результати: вперше для оптимального керування процесом завантаження млина використано інформацію про стохастичні властивості руди, яка базується на ядерно-фізичних та магнітометричних методах оперативного контролю, зменшивши час оцінювання даних на 2 години порівняно з традиційними методами хімічного аналізу; отримав розвиток метод оптимізації густинних режимів у млині, заснований на подачі води залежно від міцності руди як функції вмісту в ній загального заліза, що дозволило підвищити ефективність подрібнення сировини та стабілізувати гранулометричний склад на виході млина; на основі теоретико-ймовірнісного підходу розроблено «м'яку» математичну модель першої стадії подрібнення і класифікації руди, яка, на відміну від існуючих, дала можливість враховувати час транспортного запізнення руди, що перероблюється, та дозволила регулювати кількість змінних, що забезпечує в подальшому додавання нових приладів контролю для підвищення точності ідентифікації технологічних параметрів.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується коректністю постановки і вирішення сформульованих завдань; використанням апробованих фундаментальних закономірностей точних наук, зокрема, теорії автоматичного керування, теорії вимірjuвальних засобів, теорії адаптивних систем та інших фундаментальних наук і доведених положень теорії ймовірностей, випадкових процесів, математичної статистики та нечіткої логіки; задовільним співпадінням результатів теоретичних і експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання.

4. Наукове та практичне значення роботи

Наукове значення роботи міститься у нових та удосконалених математичних моделях процесів подрібнення залізистих кварцитів, у створенні ядернофізичного та магнітометричного методу оцінювання властивостей рудної сировини, у використанні поточної інформації про стохастичні властивості сировини при оптимальному керуванні завантаженням млина залізистою фракцією, у розвитку методу оптимізації густинних режимів млина, заснований на подачі води залежно від міцності руди як функції вмісту в ній загального заліза, що дозволило підвищити ефективність подрібнення сировини та стабілізувати гранулометричний склад розвантаження млина.

Практична цінність виконаної роботи полягає у розробці автоматизованої системи керування першою стадією технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини рудозбагачувальної фабрики шляхом застосування розроблених алгоритму, програмно-технічного забезпечення та інформаційних засобів, які здійснюють оптимальне розкриття рудних зерен при подрібненні, що дозволяє підвищити вміст заліза в концентраті на 1%.

5. Реалізація результатів дисертації

Практичне значення наукових розробок підтверджено довідками про доцільність впровадження результатів дисертаційного дослідження на «АрселорМіттал Кривий Ріг». Очікуваний економічний ефект становитиме понад 290 млн. грн. на рік. Отримані в дисертації результати можуть бути покладені в основу модернізації технологічних циклів подрібнення бідних залізних руд гірничо-збагачувальних комбінатів. Матеріали дисертації використовуються у навчальному процесі Криворізького національного університету.

6. Структура роботи і її основний зміст

Дисертація Швеця Д.В. включає анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних літературних джерел, додатки, графічний та

табличний матеріал. Загальний обсяг роботи складає 219 сторінок, з них основна частина – 154 сторінки, список використаних літературних джерел з 121 найменування на 14 сторінках, 9 додатків на 32 сторінках. Робота містить 64 рисунки і 14 таблиць.

Наукові результати роботи отримано автором самостійно. Здобувач є автором наукової ідеї, теоретичних та експериментальних досліджень, включаючи теоретичні результати та наукову новизну, винесені на захист.

В анотації викладено основні результати роботи. У вступі автор обґрунтовує свій вибір теми дисертації, її актуальність, формулює ідею роботи, мету та завдання досліджень, визначає об'єкт, предмет та методи досліджень, формулює наукову новизну та основні результати дисертації, викладає відомості про апробацію та публікації результатів досліджень, структуру дисертації.

В першому розділі дисертантом проведено аналіз існуючих методів автоматизованого керування технологічним процесом переробки руди в умовах рудозбагачувальних фабрик.

Автором було встановлено, що приріст вмісту заліза на першій стадії магнітної сепарації в 2 рази перевищує сумарний приріст вмісту заліза на другій та третій стадіях магнітної сепарації, також на неї припадає понад 50% сумарних втрат заліза, що зумовлює необхідність автоматизації саме першої стадії подрібнення руди на рудозбагачувальній фабриці. Також автором було продемонстровано, що однією з причин коливання якості залізорудного концентрату є стохастичність хіміко-мінералогічних властивостей руди в живленні першої стадії подрібнення, а також запізнення приходу інформації про стан перебігу процесу подрібнення.

Недоліки існуючих систем автоматизованого керування процесом переробки руди вказують на необхідність розробки нової системи, що дозволяє контролювати хіміко-мінералогічні властивості вихідної сировини в оперативному режимі.

В другому розділі дисертантом проведено аналіз першої стадії технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини та показано, що за виділеними властивостями цей процес належить до складних об'єктів. Тому для керування таким процесом потрібна наявність математичної моделі, що дозволить синтезувати необхідний алгоритм керування. Математичне моделювання включало етап структурного синтезу у вигляді вибору мультиплікативної структури моделі, що дозволяє як адаптуватися до змінних умов функціонування першої стадії переробки руди, так і оперативно

проводити ідентифікацію параметрів за допомогою методу найменших квадратів з урахуванням зміни стану протікання процесу, а також динаміки за допомогою транспортних запізнювань.

Застосування теоретико-ймовірнісного підходу дозволило автору оцінити ймовірнісні характеристики вихідних змінних першої стадії технологічного процесу подрібнення. Застосовуючи результати моделювання, сформульовано критерій стохастичної оптимальної стабілізації. В умовах існуючих обмежень функціонування першої стадії технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини, автором здійснено розроблення алгоритму стохастичного керування ним з урахуванням необхідних обмежень.

Для підтвердження можливості розробленого алгоритму керування, дисертантом було проведено імітаційне моделювання, результати якого дозволили сформувати оптимальні величини керуючих впливів.

Автор провів аналіз методів контролю хіміко-мінералогічних властивостей руди за допомогою взаємодії гамма випромінювання з речовиною. Показано, що ядерно-фізичні методи контролю вмісту заліза в руді є ефективним способом вимірювання вмісту загального заліза в кусковій сировині. Магнітометричні методи контролю дозволяють визначати частку заліза в руді, що пов'язана з магнетитом. Ядерно-фізичний та магнітометричний методи дозволяють підвищити якість контролю хіміко-мінералогічних властивостей сировини на першій стадії подрібнення і класифікації.

Автором встановлений взаємозв'язок між характеристиками міцності руди Криворізького басейну і вмістом загального заліза в ній.

Отриманий взаємозв'язок дозволяє зробити висновок про можливість керування подачею вихідної руди на першій стадії подрібнення з метою досягнення оптимального гранулометричного складу подрібненої сировини.

Також автором у цьому розділі встановлено залежність інтенсивності розсіяного та поглиненого гамма-випромінювання від вмісту заліза у залізній руді. Отримані результати демонструють доцільність використання інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання в області низького вмісту загального заліза в руді (концентрація загального заліза менше 25%), в той час як інтенсивність поглиненого гамма-випромінювання дозволяє точніше визначати вміст загального заліза в рудах з показником вмісту заліза понад 25%. Отримана аналітична формула дозволяє реалізувати на практиці дуальний підхід до вимірювання ядерно-фізичними методами вмісту заліза в залізній руді.

Також Швець Д.В. розробив математичну модель взаємодії гамма-випромінювання з рудою в умовах центральної геометрії з урахуванням коефіцієнта альbedo та геометричних параметрів: відстані між джерелом випромінювання та детектором, а також відстані між детектором та відбиваючою поверхнею. Отримані залежності в розрахунках автора дозволяють констатувати, що зі збільшенням відстані між джерелом випромінювання та детектором частка розсіяного гамма-випромінювання різко зменшується порівняно з поглиненням. По мірі збільшення відстані між джерелом випромінювання та детектором, чутливість інтенсивності поглиненого гамма-випромінювання зростає більш ніж у 2,5 рази. Також автором встановлено, що при зменшенні відстані від детектора до поверхні, що опромінюється, розглянута чутливість демонструє зростання. Таким чином, у ході проведених наукових досліджень дисертантом було отримано результати, що дозволили вдосконалити процес контролю хіміко-мінералогічних властивостей руди за допомогою ядерно-фізичних методів.

В третьому розділі автором визначено характеристики технологічних параметрів, що впливають на процес переробки руди в першій стадії подрібнення, класифікації та магнітної сепарації. На базі розроблених математичних моделей першої стадії переробки залізної руди дисертантом проведені дослідження, що дозволяють перейти до моделювання з використанням апарату нечіткої логіки – кожна модель першої стадії технологічного процесу подрібнення, класифікації та магнітної сепарації використовує регулятор нечіткої логіки, що працює за заданими правилами згідно алгоритму Мамдані.

Створені автором математичні моделі об'єктів першої стадії технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини були з'єднані в єдину імітаційну модель. Застосування регуляторів з нечіткою логікою дає змогу досягти оптимальних значень технологічних параметрів в заданих межах. Також автором були проведені моделювання роботи створених систем шляхом об'єднання в комплексну модель першої стадії переробки руди та моделювання роботи першої стадії технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини з урахуванням витрати пісків у циклі розвантаження класифікатора.

Як показали результати моделювання, розроблена система стабілізації вихідних змінних першої стадії переробки руди стабілізує вміст заліза в промпродукті на рівні 55% та продуктивність за промпродуктом на рівні 115 т/год при встановлених діапазонах вихідних параметрів, що надходять на вхід млина та класифікатора.

В четвертому розділі автором були розглянуті функціональна схема та алгоритм інформаційно-вимірювальної системи контролю хіміко-мінералогічних властивостей руди на базі ядерно-фізичних та магнітометричних методів, що базуються на використанні залежностей, отриманих у другому розділі. Синтез вищезазначених методів дозволяє забезпечити оперативність отримання інформації про якість вихідної руди у живленні першої стадії подрібнення порівняно з існуючими методами хімічного аналізу, а також підвищити інформативність процесу переробки сировини.

Дисертантом розроблені функціональна схема системи контролю хіміко-мінералогічних властивостей руди та її алгоритм роботи, які застосовуються у складі автоматизованої системи керування першою стадією технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини та забезпечують використання вищевказаної інформаційно-вимірювальної системи.

Розроблена автором автоматизована система керування дозволяє в безперервному режимі контролювати стан процесу переробки руди, усуваючи транспортне запізнення, що є одним із найбільш суттєвих збурюючих факторів.

Підсумовуючи сказане, можна констатувати, що зміст дисертації відрізняється достатньою повнотою, основні її положення, висновки і рекомендації в достатній мірі обґрунтовані, а вона є завершеною науковою працею і оформлена у відповідності до вимог МОН України, відповідає паспорту спеціальності 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування».

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

Результати достатньо повно висвітлено у наукових працях приведених в у авторефераті та дисертації.

Основні наукові та практичні результати дисертації опубліковані в у 21 друкованій роботі (з них 11 – без співавторства), зокрема 3 статті в журналах, що входять до наукометричної бази SCOPUS, 7 статей у спеціалізованих (фахових) наукових виданнях, 6 – у матеріалах наукових конференцій. Пріоритет основних наукових і технічних рішень, що реалізують запропоновані в дисертації принципи керування процесом подрібнення залізної руди, захищений 5 патентами України.

Основні теоретичні, методичні положення та результати досліджень доповідалися, обговорювалися і були схвалені на міжнародних і всеукраїнських науково-технічних та науково-практичних конференціях в 2020...2023 роках.

8. Загальні зауваження щодо дисертації

До дисертації за змістом можна висловити наступні зауваження:

1. У першому розділі, на думку опонента, варто було б скоротити викладення загальновідомих фактів та положень.

2. В тексті роботи застосовується достатньо велика кількість абревіатур та скорочень, що негативно впливає на сприйняття викладеного матеріалу.

3. На окремих рисунках (напр. рис. 2.10 та рис. 4.3) інформація подана дрібним шрифтом і дуже щільно, що ускладнює сприйняття ілюстрацій. Те ж саме стосується і певних рисунків у авторефераті.

4. У підрозділах 2.1; 2.2; 2.4 викладаються великі математичні доведення. На погляд опонента, частину їх більш доцільно було б викласти у Додатках.

5. В другому розділі зазначається, що вміст заліза в руді підпорядковується нормальному закону розподілу, однак в тексті роботи не наводяться докази цього факту.

6. На рис.3.17. «Результати моделювання керування технологічним процесом розподілу залізної руди у класифікаторі на основі нечіткої логіки» блок керування класифікатором представлений у вигляді трьох передавальних функцій, що отримані на основі аналітичних розрахунків та експериментальних даних. Це аперіодична ланка і два види коливальних ланок. Те ж саме відноситься і до рис.3.22 (магнітної сепарації). Звідси виникають питання: 1) як отримані ці передавальні функції? 2) чому класифікатор описується трьома передавальними функціями?

7. В таблиці 3.7 «Технологічні нечіткі параметри для визначення вхідного вектора математичної моделі керування магнітним сепаратором» та в табл.3.8 «Технологічні нечіткі параметри для визначення вихідного вектора» прийнято, на думку опонента, занадто широкі діапазони зміни продуктивності зливу класифікатора – 75...170 т/год і продуктивності по вихідному залізу 50...150 т/год.

8. В третьому розділі пропонується використання алгоритму Мамдані при реалізації нечіткого регулятора, однак не наводиться порівнянь застосування зазначеного алгоритму з іншими методами нечіткого логічного виведення.

9. В технологічному процесі застосовано циліндричні накопичувальні бункери руди (рис.4.3). Відомо, що ці бункери при розвантаженні на конвеєрній стрічці створюють нерівномірність розташування руди за крупністю. Це виступає перешкодою при подрібненні руди в кульових млинах. Однак в дисертації дана задача не розглядається.

10. В дисертації відмічається, що стабілізація вмісту магнітного заліза у вихідній руді включила можливість контролювати її міцність. Дисертантом

було проведено низку випробувань щодо визначення ступеня зв'язку між вмістом загального заліза та міцністю вихідної руди. В результаті випробувань було встановлено, що коефіцієнт детермінації між ними становив 0,78, що підтверджує доцільність контролю I стадій магнітної сепарації. У зв'язку з цим виникають питання: 1) чому оцінювання зв'язку між параметрами здійснюється за коефіцієнтом детермінації в той час, коли в основному використовують коефіцієнт кореляції? 2) як здійснюється керування подрібненням при зміні крупності вихідної руди? 3) як реагує магнітний сепаратор на немагнітне залізо у даному процесі?

11. У Додатку А приведено рис.А.1 – Залежність коефіцієнта міцності залізорудної сировини по Протид'яконову від масової частки загального заліза. Знову оцінка зв'язку виконується за коефіцієнтом детермінації, а його значення не приведено.

12. В роботі сформульовано 7 завдань для реалізації, а розділів усього 4. На думку опонента краще було б укрупнити завдання і викласти їх у 4^х розділах.

Проте висловлені зауваження не ставлять під сумнів отримані Швецем Д.В. наукові результати та можуть бути враховані в подальшій науковій роботі дисертанта.

Висновки та рекомендації

Дисертація Швеця Д.В. є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обгрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальну наукову задачу автоматизованого керування циклом подрібнення-класифікації руди в перших стадіях рудозбагачувальних фабрик шляхом створення нових підходів до керування процесами, розроблення нових і удосконалення існуючих математичних моделей та інформаційних засобів з врахуванням стохастичності властивостей руд на базі ядернофізичних і магнітометричних методів підвищеної точності та сучасних підходів автоматизованого керування. Висновки та рекомендації здобувача мають наукову й практичну цінність. Наведені вище зауваження в цілому не знижують наукової цінності дисертації, а лише вказують на можливі шляхи її поліпшення.

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 викладення дисертація «Автоматизоване керування процесом подрібнення залізистих кварцитів з визначенням їх властивостей ядернофізичними та магнітометричними

методами», виконана Швецем Дмитром Валерійовичем для здобуття ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування» за наступними пунктами паспорта спеціальності:

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

є завершеною кваліфікаційною науковою працею, відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів».

Враховуючи сказане, автор даної дисертації Швець Дмитро Валерійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування».

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматизації
виробничих процесів

Центральноукраїнського національного
технічного університету



Василь КОНДРАТЕЦЬ

Підпис д.т.н., професора
Кондратця В.О. «ЗАСВІДЧУЮ»
Проректор з наукової роботи та
міжнародних зв'язків
Центральноукраїнського
національного технічного
університету



Андрій ТИХИЙ