

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора **Алексєєва Михайла Олександровича**
на дисертаційну роботу

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 обрання теми та предмету дисертаційної роботи.

Актуальність теми, обраної дисертантом, обумовлена високим рівнем конкуренції на світових ринках збуту залізорудної продукції, що зумовлює необхідність підвищення її якості.

Гірничо-металургійний комплекс України є однією з найважливіших складових економіки держави. За запасами залізної руди Україна посідає перше місце, а з виробництва залізорудної продукції – концентрату та продуктів його згрудкування – сьоме місце у світі.

В даний час конкурентоспроможною на світовому ринку вважається залізорудна продукція, що містить понад 67% заліза. Аналіз конкурентоспроможності гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу показує, що у більшості з них якість концентрату не досягає вимог світового ринку через недостатньо високий вміст у ньому заліза та його значне коливання.

У представлений до захисту дисертаційній роботі розглядається розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом подрібнення залізистих кварцитів на основі визначення їх хіміко-мінералогічних властивостей з використанням магнітометричних та ядерно-фізичних методів, спрямованих на підвищення якості концентрату та зниження втрат.

Відповідно до завдань дослідження, автор розглядає контроль технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини. А саме – питання зниження витрат на виробництво концентрату, стабілізації якості сировини, мінімізації втрат заліза в хвостах, збільшенню обсягів виробництва на гірничозбагачувальних комбінатах.

Дисертант використав нові методи і засоби контролю та керування першою стадією подрібнення та класифікації руди з урахуванням стохастичності хіміко-мінералогічних властивостей залізної руди, що, у свою чергу, є одним із способів підвищення якості концентрату та зниження втрат корисного компонента.

Для вирішення поставлених завдань у роботі автор використав: аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду; систематизацію існуючих підходів та методів оптимізації процесів переробки залізної руди для обґрунтування актуальності, мети та завдань дослідження; методи математичної статистики для опрацювання результатів експериментів; методи системного аналізу та методи

Отримано 04.06.2024

Вчений секретар
спецради 209.052.03



М.П. Тиханевський

оптимального керування при розробці алгоритмів керування процесами переробки руди; комп'ютерні інформаційні технології для реалізації автоматизованої системи керування процесами переробки руди у вигляді програмного забезпечення з використанням нечіткої логіки.

2. Оцінка належності висвітлення науково-методологічних та прикладних інновацій роботи в друкованих працях здобувача.

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

Основні результати досліджень, що представлені в цій дисертаційній роботі, доповідалися та обговорювалися на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних та науково-практичних конференціях.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи автора опубліковані у 21 друкованій роботі (з них 11 – без співавторства), зокрема 3 статтях в журналах, що входять до наукометричної бази SCOPUS, 7 статтях у спеціалізованих (фахових) наукових виданнях, 6 доповідях – 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.

Опубліковані наукові праці та автореферат достатньо повно відображають результати проведених наукових досліджень.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації. Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації мають достатнє теоретичне та практичне обґрунтування.

3. Оцінка наукової новизни представлених в дисертації результатів дослідження.

Наукова новизна роботи в тому, що вперше для оптимального керування процесом завантаження млина використовується інформація про стохастичні властивості рудного матеріалу, яка отримується з використанням ядерно-фізичних та магнітометричних методів оперативного контролю, що дозволяє вдосконалити інформаційне забезпечення першої стадії технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини, зменшуючи час отримання даних на дві години порівняно з традиційними методами хімічного аналізу.

Швець Д.В. використав метод оптимізації густинних режимів у млині, заснований на подачі води залежно від міцності руди як функції від вмісту в ній загального заліза, що дозволяє підвищити ефективність подрібнення руди та стабілізувати гранулометричний склад на виході млина.

Також дисертант на основі теоретико-ймовірнісного підходу розробив «м'яку» математичну модель першої стадії переробки руди, яка дає можливість враховувати час транспортного запізнення сировини, що перероблюється, та дозволяє регулювати кількість змінних, що дає змогу додавати нові прилади контролю параметрів технологічного процесу.

Швець Д.В. у своїй роботі проаналізував питання автоматизації керування переробки залізорудної сировини в умовах рудозбагачувальних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів України та показав, що поряд з актуальністю проблеми та досить великою кількістю досліджень та розробок у цьому напрямку на сьогоднішній день практично відсутні працездатні системи керування технологічним процесом подрібнення, що зумовлено низькою інформативністю про вміст заліза у вихідній руді, відсутністю врахування стохастичності її фізико-механічних та хіміко-мінералогічних характеристик, а також відсутністю оперативної інформації про стан процесу подрібнення. Також автором зазначені фактори, які суттєво ускладнюють формування ефективних керуючих впливів з урахуванням поточних характеристик вхідної руди, що призводить до втрат заліза у хвостах збагачення та зниження якості концентрату. Автором зроблені висновки, що існуючі на сьогоднішній день розробки не дозволяють забезпечити достатньо ефективне вирішення завдань оптимального керування першою стадією процесу переробки залізної руди в умовах рудозбагачувальних фабрик.

Дисертант пропонує «м'яку» мультиплікативну структуру математичної моделі першої стадії технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини, що дозволяє забезпечити її структурну стійкість при випадкових збуреннях змінних, а також дає можливість додавання нових змінних при використанні нових датчиків та пристроїв контролю технологічного процесу подрібнення.

У своїй роботі автор обґрунтовує необхідність використання ядерно-фізичних методів контролю вмісту загального заліза в руді на основі встановленого взаємозв'язку між міцністю руди та вмістом у ній загального заліза для сировини, що надходить на першу стадію переробки рудозбагачувальних фабрик ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», який дозволяє отримати інформацію про подрібнюваність руди, підвищити ефективність переробки сировини на першій стадії технологічного процесу подрібнення та знизити енерговитрати на процес подрібнення руди у млині.

Дисертантом вперше встановлено залежність інтенсивності розсіяного та поглиненого гамма-випромінювання при опроміненні залізорудної сировини джерелом гамма-квантів від вмісту загального заліза в ній. Запропоновано для оперативного контролю рудного матеріалу з концентрацією загального заліза вище 25% проводити аналіз величини потоку гамма-випромінювання, що поглинається залізорудною сировиною, у зв'язку з тим, що кількість поглинених гамма-квантів в результаті фотоефекту перевищує кількість розсіяних гамма-квантів при Комптон-ефекті, що забезпечує підвищення чутливості контролю хіміко-мінералогічних властивостей залізорудної сировини (0,637% при зміні вмісту заліза на 1%).

Також дисертантом вперше запропоновано комплексне використання ядерно-фізичних методів та магнітометричних методів для оперативного контролю вмісту заліза в залізорудній сировині в умовах рудозбагачувальних фабрик, що підвищує інформативність технологічного процесу переробки руди

за рахунок отримання даних про вміст як загального, так і магнітного заліза в руді.

Автор обґрунтував метод керування процесом подрібнення на основі інформації про вміст загального та магнітного заліза у вихідній руді, що надходить на першу стадію подрібнення, який полягає у стабілізації вмісту магнітного заліза в руді в рамках заданого технологічною інструкцією діапазону та коригування подачі руди на основі інформації про її міцність, що дозволяє стабілізувати крупність зливу млина та зменшити коливання вмісту заліза в концентраті до 3,5%.

Дисертантом розроблено модель стабілізації вихідних змінних першої стадії переробки руди шляхом дії керуючих впливів, сформованих на основі визначення хіміко-мінералогічних властивостей руди із застосуванням апарату нечіткої логіки з використанням алгоритму Мамдані, що дозволяє стабілізувати вміст заліза у промпродукті на цільовому рівні у 55%.

Швець Д.В. у своїй роботі сформулював та вирішив задачу розроблення керування першою стадією технологічного процесу подрібнення, як завдання оптимальної стабілізації необхідного гранулометричного складу промпродукту та вмісту заліза в ньому при заданій продуктивності по руді та виконанні обмежень, пов'язаних з умовами функціонування млина та класифікатора, в умовах стохастичності властивостей залізорудної сировини.

4. Висновок щодо практичної цінності представлених в дисертації результатів.

Практичне значення наукових розробок автора підтверджено довідками щодо доцільності впровадження результатів дисертаційного дослідження на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Дисертант розробив комплекс науково-технічних рішень, який дозволяє забезпечити виконання вимог, що встановлюються для кінцевого продукту рудозбагачувальних фабрик – залізорудного концентрату – підвищення його якості шляхом зниження коливання вмісту заліза в ньому.

Шляхом комп'ютерного моделювання проведено практичну апробацію автоматизованої системи керування першою стадією переробки залізної руди на базі розробленої математичної моделі технологічного процесу подрібнення з мультиплікативною структурою. Ефективність моделювання підтверджена на статистичному матеріалі.

Дисертантом розроблено автоматизовану систему керування першою стадією технологічного процесу подрібнення на рудозбагачувальній фабриці ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» з використанням засобів оперативного контролю вмісту заліза в руді, яка дозволяє стабілізувати щільнісні характеристики зливу класифікатора, зменшити до 2,7% втрати заліза у хвостах збагачення на першій стадії магнітної сепарації, зменшити коливання вмісту заліза в концентраті до 3,5%, що дає можливість підвищити якість концентрату на 1%.

Отримані у дисертаційній роботі теоретичні та практичні результати використовуються при проведенні лекційних та практичних занять у навчальному процесі Криворізького національного університету.

5. Оцінка особистого внеску здобувача, опрацювання висновку про відсутність чи наявності академічного плагіату.

Дисертація оцінюється опонентом як самостійно виконана наукова праця, з чітко відокремленими науково-методологічним, аналітичним та науково-прикладним доробком.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку літературних джерел та додатків. Обсяг дисертації – 219 сторінок, зокрема 154 сторінки основного тексту, 64 рисунки, 14 таблиць, перелік використаних джерел зі 121 найменування на 14 сторінках, додатки на 32 сторінках.

Висновки до розділів чітко та адекватно висвітлюють хід наукової думки щодо змісту досліджень та розкривають сутність реалізованих автором науково-методологічних та прикладних інновацій стосовно результатів, які в подано в даному розділі.

Загальні висновки надають уявлення про хід дослідження в цілому, сутність новизни, теоретичну та практичну цінність одержаних автором результатів.

Внесок здобувача в друкованих працях, опублікованих у співавторстві, коректно визначено та подано у списку праць здобувача.

Також не виявлено порушень вимог академічної доброчесності, за підсумками перевірки роботи системою «Антиплагіат» ознак плагіату не виявлено: загальний рівень співпадіння з урахуванням самоцититування становить 5,08%, із виключенням джерел самоцититування – 2,13%.

6. Дискусійні моменти та зауваження щодо дисертації.

Позитивно оцінюючи дисертацію Швеця Д.В., вважаю за необхідне зазначити деякі зауваження до роботи:

1. В роботі застосовується достатньо велика кількість скорочень, які ускладнюють сприйняття тексту. Варто було б зменшити їх число для покращення розуміння матеріалу.

2. В роботі на стр. 21 вказано на зв'язок дисертаційного дослідження з науковими програмами, планами та темами, однак не зазначено, в якості кого здобувач приймав участь в зазначених роботах за номерами держреєстрації 0118U000120 та 0120U102310.

3. У підрозділі 1.2 слід було б скоротити викладення загальновідомих фактів та положень.

4. В другому розділі розроблено математичну модель взаємодії гамма-випромінювання з гірською масою та проведено дослідження впливу геометричних параметрів на підвищення точності вимірювань вмісту заліза в опромінюваній сировині. В той же час, у висновках недостатньо повно описано

можливості застосування отриманих результатів при реалізації засобів безперервного контролю властивостей залізної руди у виробничих умовах.

5. Підрозділи 2.1 та 2.3 перевантажені формулами, які важко сприймаються. Варто було б застосувати їх більш детальний опис в тексті роботи.

6. В третьому розділі при створенні моделей систем керування технологічними агрегатами першої стадії переробки залізної руди запропоновано використання трикутних функцій приналежності при реалізації fuzzy-регулятора, втім не обґрунтовано переваги їх застосування.

7. В четвертому розділі проведено моделювання та аналіз автоматизованої системи керування I стадії технологічного процесу подрібнення. Математичні викладки, що наведені у підрозділі 4.4, на думку опонента, було б доцільніше навести у другому розділі.

Висловлені зауваження мають переважно характер побажань щодо подальших наукових досліджень автора і не ставлять під сумнів загальну високу оцінку дисертації.

7. Висновок по дисертаційній роботі щодо відповідності встановленим вимогам

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» є **завершеною кваліфікаційною науковою працею**, відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, **Швець Дмитро Валерійович**, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри програмного забезпечення
комп'ютерних систем

НТУ «Дніпровська політехніка» МОН України
доктор технічних наук, професор



М.О. Алексеев

