

АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ПОДРІБНЕННЯ І КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ МІЦНОСТІ

Мета. Розглянуто задачу зниження коливання вмісту заліза в промпродуктах першої стадії магнітної сепарації рудозбагачувальних фабрик гірничозбагачувальних комбінатів, де вихідна руда надходить на переробку з декількох родовищ з різним вмістом магнітного заліза. Метою роботи є розробка системи стабілізації вмісту заліза в промпродуктах першої стадії магнітної сепарації рудозбагачувальних фабрик (РЗФ) гірничозбагачувальних комбінатів. Об'єктом дослідження є процес подрібнення залізної руди на першій стадії подрібнення і класифікації. Предметом дослідження є система стабілізації вмісту заліза на виході першої стадії магнітної сепарації.

Метод. Зниження коливання вмісту заліза в промпродуктах першої стадії магнітної сепарації рудозбагачувальних фабрик гірничозбагачувальних комбінатів пропонується здійснити шляхом реалізації автоматизованої системи, що дозволяє визначати міцність вихідної руди, що надходить в живлення першої стадії подрібнення і класифікації, в залежності від вмісту в ній магнітного заліза. Управління процесами подрібнення і класифікації здійснюється шляхом корекції подачі руди і води в млин і подачі води в класифікатор в автоматичному режимі в залежності від міцності залізної руди в живленні млина.

Наукова новизна. Запропоновано спосіб керування процесом подрібнення залізної руди на першій стадії подрібнення і класифікації на основі визначення її міцності. Розроблено функціональну схему системи автоматичної стабілізації вмісту заліза на виході першої стадії магнітної сепарації.

Практична значимість. Розроблений спосіб автоматичного управління одностадійним циклом мокрого подрібнення на основі визначення міцності вихідної руди дозволить стабілізувати вміст магнітного заліза на виході першої стадії магнітної сепарації, що, в свою чергу, підвищить якість кінцевого продукту рудозбагачувальної фабрики – залізородного концентрату.

Результати. Отримані результати створюють перспективи для подальших досліджень, спрямованих на реалізацію запропонованої системи автоматичної стабілізації вмісту заліза на виході першої стадії магнітної сепарації рудозбагачувальної фабрики.

Ключові слова: автоматизоване керування, подрібнення, класифікація, магнітне залізо (магнетит), міцність, оперативний контроль.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-146-150

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Україна входить до десятки найбільших світових виробників продукції чорної металургії. Продукція вітчизняних гірничозбагачувальних комбінатів становить значну частину доходів від експорту. Одним із недоліків вітчизняних концентратів є високе коливання вмісту в них заліза (порядку $\pm 1,5\%$).

Нині конкурентоспроможною на світовому ринку вважається залізородна продукція, що містить щонайменше 67–68% заліза. Аналіз конкурентоспроможності гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу показує, що на більшості з них якість концентрату не досягає вимог світового ринку через недостатньо високий вміст заліза та його високе коливання. Конкуренція на ринках збуту диктує необхідність підвищення якості залізородної продукції, у зв'язку з цим тенденція до підвищення якості концентрату найближчими роками зберігатиметься.

Аналіз досліджень і публікацій. У проблемно-галузевій лабораторії Міністерства промислової політики України при Криворізькому національному університеті під керівництвом професора А.А. Азаряна досліджуються проблеми оперативного контролю якості залізородної сировини [1-10]. Зокрема, розроблено систему автоматичного контролю та управління масовою часткою магнітного заліза в конвеєрному рудопотоці [11]. Дана система успішно застосовується на РЗФ Кривбасу та дозволяє контролювати вміст магнітного заліза у вихідній руді першої стадії подрібнення та класифікації (I ст. ПК).

Більшість робіт, присвячених питанням автоматичного управління процесами збагачення магнетитових руд, спрямовані на удосконалення ходу технологічного процесу з метою збільшення продуктивності чи якості кінцевого продукту РЗФ – концентрату. Автором пропонується практичний підхід до питання автоматизації конкретної РЗФ – система автоматичної стабілізації, спрямована на підвищення якості концентрату за допомогою стабілізації промпродукту (вмісту магнітного заліза на виході першої стадії магнітної сепарації). Така постановка завдання викликана постійним коливанням у реальних умовах РЗФ вмісту магнітного заліза у вихідній руді, яка здебільшого надходить не лише з кількох кар'єрів одного родовища, а й з двох-трьох

кар'єрів різних родовищ. Реалізація поставленої задачі дозволяє зменшити коливання вмісту заліза в кінцевому продукті РЗФ - концентраті, що позитивно позначиться на його вартості.

Постановка завдання. Розробка системи автоматичного керування процесом подрібнення залізної руди на основі визначення її міцності, що дозволить знизити коливання вмісту заліза в концентраті.

Викладення матеріалу та результати. Як базовий для проведення дослідження причин недостатньо високої якості концентрату ГЗК Кривбасу був обраний ГЗК ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», рудозбагачувальні фабрики якого живляться рудами двох кар'єрів з різними фізико-хімічними властивостями. Так, вміст масової частки магнітного заліза - основного показника якості сирової руди, у руді кар'єра №2 коливається в межах від 10 до 32%, а його міцність за шкалою Протодьяконова - від 14 до 16, а в кар'єрі №3 відповідно від 20 до 34% та від 16 до 18.

Попередні дослідження та аналіз процесів збагачення залізної руди на рудозбагачувальних фабриках ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» показали, що приріст вмісту заліза на першій стадії магнітної сепарації (I ст. МС) у 2 рази перевищує сумарний приріст вмісту заліза на II ст. та III ст. МС. Крім того, на I ст. МС припадає близько 50% сумарних секційних втрат заліза, що пов'язано із значним коливанням крупності у живленні I ст. МС [12]. Стабілізація крупності зливу I ст. ПК дозволить значно зменшити коливання корисного компонента в кінцевих продуктах збагачення.

Слід зазначити, що максимальний вміст заліза в концентраті визначається типом і станом технологічного обладнання, а його коливаність - коливанням вмісту магнетиту у вихідній руді. У той же час, навіть незначне зниження коливання вмісту заліза в концентраті сприяє значному підвищенню ефективності роботи аглодоменного виробництва. Згідно з даними [13], зниження коливання заліза в концентраті на 0,1% в агломераційному виробництві забезпечує підвищення продуктивності агломашин на 0,28% і зниження витрати палива на 1,2%, а в доменному виробництві - підвищення продуктивності доменних печей на 0,56%, а також зниження витрати коксу та виходу шлаку на 0,5%.

У 95% випадків автоматизація технологічних процесів рудозбагачувальних фабрик обмежується:

- стабілізацією витрати руди в млин;
- стабілізацією співвідношення «тверде-рідке» за допомогою подачі води до млина;
- стабілізацією щільності зливу класифікуючого апарату (класифікатора або гідроциклона) подачею додаткової води в класифікатор або зумпф [14].

Відомий спосіб автоматичного управління одностадійним циклом мокрого подрібнення, що включає стабілізацію витрати вихідної руди в млин, стабілізацію співвідношення "руда - вода" в млині, стабілізацію щільності зливу класифікатора, в якому додатково введений контур корекції заданого співвідношення "тверде-рідке" в млині крупності зливу класифікатора [15].

Автором пропонується вдосконалити цю систему за допомогою автоматичної корекції заданого значення крупності зливу класифікатора залежно від міцності вихідної руди [16]. Схему цієї системи наведено на рис. 1.

Запропонована система складається з наступних підсистем:

- стабілізації витрати залізної руди в кульовий млин;
- стабілізації співвідношення «тверде - рідке»;
- стабілізації щільності злива класифікуючого апарату;
- корекції подачі води до кульового млина;
- корекції щільності злива класифікуючого апарату;

До переводу керування циклом мокрого подрібнення в автоматичний режим, технологічний персонал рудозбагачувальної фабрики спільно з фахівцями рудовипробувальної лабораторії та інших служб визначає оптимальні значення регульованих параметрів (співвідношення "руда - вода", щільності і крупності зливу класифікатора) і їх допустимі відхилення від оптимальних значень, а також планове значення вмісту магнітного заліза в вихідній руді. Попередньо встановлюють залежність між вмістом магнітного заліза і міцністю вихідної руди рудозбагачувальної фабрики. Одержану залежність заносять в блок 29 обчислювання поточного значення міцності руди. Вхід блоку 29 зв'язаний з виходом датчика 28 поточного значення магнітного заліза в вихідній руді. Задане блоку 29 значення міцності вихідної руди відповідає плановому значенню вмісту магнітного заліза в вихідній руді. Оптимальні значення параметрів заносяться

в підсистемі стабілізації і коригування процесу подрібнення шляхом встановлення цих значень в датчиках 9,15,21,27 і 29 автоматичних регуляторів 8,14,20 і 26. Зони нечутливості регуляторів обираються, виходячи з допустимих меж регульованих параметрів.

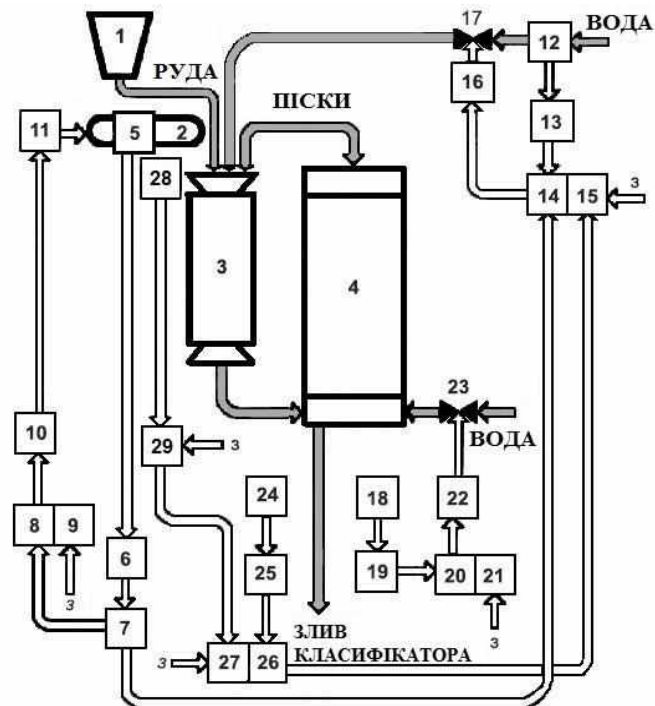


Рис. 1. Схема системи автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення: 1 - бункер з залізною рудою; 2 - стрічковий живильник; 3 - кульовий млин; 4 - класифікуючий апарат; 5 - вимірювач ваги залізородної сировини, що витрачається в млин; 6 - допоміжний прилад; 7 - концентратор сигналів; 8 - регулятор витрати залізної руди; 9 - датчик витрати залізної руди; 10 - блок керування електродвигуном; 11 - електродвигун; 12 - витратомір; 13 - вторинний прилад витрати води до млина; 14 - автоматичний регулятор витрати води; 15 - датчик витрати води; 16, 22 - виконавчий механізм засувки; 17, 23 - засувка; 18 - щільномір; 19 - вторинний прилад визначення щільності зливу класифікатора; 20 - регулятор витрати води в класифікатор; 21 - датчик регулятора витрати води в класифікатор; 24 - датчик крупності зливу класифікатора; 25 - вторинний прилад; 26 - регулятор крупності зливу класифікатора; 27 - датчик крупності зливу класифікатора; 28 - датчик вмісту магнетиту в залізній руді; 29 - блок обчислення міцності залізної руди

Керування процесом мокрого подрібнення здійснюють, впливаючи на витрату руди і води в млин і витрату води в класифікатор в автоматичному режимі.

При несанкціонованій зміні витрати вихідної руди в млин сигнал від ваговимірювача 5 стрічкового живильника 2 через вторинний прилад 6 та концентратор сигналів 7 надходить у регулятор 8 витрати руди із датчиком 9 і порівнюється із заданим значенням витрати руди. За наявності розбалансу (наприклад, витрата руди збільшилася і її поточне значення перевищило допустиме значення), регулятор 8 видає сигнал до блоку 10 керування двигуном 11, який змінить швидкість руху стрічкового живильника 2 у бік зменшення розбалансу (зменшення його швидкості). Швидкість стрічкового живильника 2 (його продуктивність) буде змінюватися (зменшиться) до моменту відсутності розбалансу на вході регулятора 8 (до моменту відновлення заданої задатчиком 9 продуктивності). При зміні планового завдання продуктивності, задатчиком 9 регулятора 8 встановлюється нове значення витрати руди.

Підсистема підтримки заданого співвідношення "руда - вода" забезпечує оптимальні умови подрібнення для даного типу руди з запланованим вмістом магнітного заліза. Підсистема працює таким чином. Сигнал поточного значення витрати руди від ваговимірювача 5 через вторинний прилад 6 та концентратор сигналів 7 надходить на вхід регулятора 14, на другий вхід якого надходить через вторинний прилад 13 сигнал з витратоміра 12 води в млин. В залежності від встановленого задатчиком 15 співвідношення "руда - вода", регулятор 14 за допомогою виконавчого механізму 16 змінить стан засувки 17 так, щоб кількість води, яка подається в млин, забезпечувала підтримку стабільної крупності пульпи на його виході.

При виході вмісту магнітного заліза за допустиме значення, відповідно змінюється і міцність руди, наприклад, при переході від твердих порід до м'яких, відбудеться надлишкове подрібнення руди в млині, в результаті чого крупність руди в пульпі на виході млина 3 зменшиться, а щільність збільшиться. Аналогічні зміни відбудуться в пульпі зливу класифікатора. Сигнал від датчика крупності 24 зливу класифікатора через вторинний прилад 25 надійде на вхід регулятора 26 і у зв'язку з виниклим розбалансом з сигналом задатчика 27 виробить сигнал коригування заданого співвідношення "руда - вода" у бік відновлення заданої крупності. При зменшенні крупності сигнал зміни щільності пульпи в зливні класифікатора, яка вимірюється датчиком 18, через вторинний прилад 19 надійде на вхід автоматичного регулятора 20, де, після порівняння із заданим задатчиком 21 значенням щільності, за допомогою виконавчого механізму 22 засувки 23 змінить кількість води, яка подається в класифікатор 4. У даному випадку, при переході від твердих порід до м'яких, коли щільність зливу збільшилася, вода буде подаватися в класифікатор 4 до тих пір, доки вимірювана щільність зливу не буде відповідати заданим значенням.

При збільшенні міцності вихідної руди на вході блока 29 обчислювання поточного значення міцності вихідної руди з'являється сигнал розбалансу, який скоригує задане задатчиком 27 значення крупності зливу класифікатора 4 в сторону його зменшення. При переході від м'яких до твердих порід збільшується крупність зливу класифікатора, що призводить до погіршення розкриття зерен магнітного заліза, а в подальшому і до збільшення його втрат та перевищення їх допустимого значення. У даному випадку підсистема корекції заданого значення крупності зливу класифікатора за рахунок зміни співвідношення «руда – вода» скоригує задане значення в бік його зменшення, що покращить розкриття зерен магнітного заліза. Таким чином, при перевищенні запланованого значення міцності вихідної руди, задане значення крупності зливу класифікатора зменшують, а при зменшенні – збільшують в заданому діапазоні до рівня скоригованого значення.

Висновки. Запропонований спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокро подрібнення з урахуванням міцності вихідної руди підвищує ефективність керування та дозволяє знизити втрати корисного компонента і його коливання в кінцевому продукті рудозбагачувальних фабрик – концентраті.

Список літератури

1. **A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, D. Shvets** Development of a method for operational control over quality of the iron ore raw materials during open and underground extraction // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Issue 5 (95). P. 13-19. doi: 10.15587/1729-4061.2018.144003.
2. **Azaryan A.** Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation / **A. Azaryan, A. Pikilnyak, D. Shvets** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Issue 8. – P. 64–66.
3. **Shvets D.V.** Theoretical-probability approach to analyse the iron ore grinding process / Гірничий вісник. – Вип. 109 – 2021. – С. 111-117. doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-111-117.
4. **Швец Д.В.** Синтез математичної моделі технологічного процесу подрібнення залізородної сировини з урахуванням її хіміко-мінералогічних характеристик на рудозбагачувальних фабриках // Гірничий вісник. – Вип. 107 – 2020. – С. 83-90. doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-83-90.
5. **Азарян А. А.** Разработка комплексной системы для повышения качественных показателей железной руды / **А. А. Азарян, В. Ю. Зубкевич, Д. В. Швец** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 47. – С. 68–75. – DOI: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-68-76.
6. **Азарян А. А.** Гамма-излучение как источник информации для контроля содержания железа в железородном сырье / **А. А. Азарян, Д. В. Швец** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2020. – Вип. 50. – С. 153–159. – DOI: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-153-159
7. **Азарян А.А., Моркун В.С., Швец Д.В., Черкасов О.В., Гриценко А.М., Швидкий О.В.** Пошук шляхів зниження втрат і розубоження залізородної сировини / Вісник Криворізького національного університету. – Вип. 52. – 2021. – С.15-19. doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-15-19.
8. Using the intensity of absorbed gamma radiation to control the content of iron in ore / **A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, V. Serebrenikov, D. Shvets** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 3, issue 5 (99). – P. 29–35. – DOI: 10.15587/1729-4061.2019.170341.
9. **Швец Д. В.** Розробка системи стабілізації масової долі заліза магнітного у зливні класифікатора та дослідження можливості автоматизації процесу подрібнення залізної руди та підготовки її до збагачення / **Д. В. Швец** // Качество минерального сырья: сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2014. – С. 252–264.

10. Model of absorbed gamma radiation in the interaction with rock formation / **A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, V. Serebrenikov, D. Shvets** // IAES International Journal of Robotics and Automation. Vol.8, No.4. December 2019. 269-276 ISSN: 2089-4856, DOI: 10.11591/ijra.v8i4.pp 269-276.

11. Система автоматичного керування масовою часткою магнітного заліза у конвеєрному рудопотоці: патент №50668 / **Азарян А.А., Азарян В.А., Кучер В.Г., Мордовін Д.М., Цибулевський Ю.Є.**; власник патенту КТУ; заявл. 02.11.2009; опубл. 25.06.210, Бюл. № 12.

12. Контроль содержания магнитного железа в пульповых продуктах рудообогатительной фабрики / [**Азарян А.А., Кучер В.Г., Цибулевский Ю.Е., Швец Д.В.**]. – INTERNATIONAL ACADEMY JOURNAL «Web of Scholar», Киев, №1(10), 2017, С.9-12.

13. Теория и практика управления агломерационным процессом / [**С. Е. Новак, Н. И. Гармаш, В. А. Мартыненко, А. В. Мартыненко**]. – Кривой Рог, 2006. - С. 86.

14. Улитенко К.Я., Соколов И.В., Маркин Р.П., Найдёнов А.П. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии // Цветные металлы, 2005, №10, С. 54-59.

15. Пат. №56304 Україна В02С 25/00 Спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення / **Кучер В.Г., Черняков С.М., Кривенко Ю.Ю.**; заявл. 14.06.2010; опубл. 10.01.2011, Бюл.№ 1. – 3 с.

16. Пат. №118091 В02С 25/00 Спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення / **Швец Д.В.**; заявл. 03.01.2017; опубл. 25.07.17; Бюл. №14.
Рукопис подано до редакції 17.04.22

УДК 658.562.012.7.681.26

А.А. АЗАРЯН, В.А. АЗАРЯН, доктори техн. наук, професори,
А.М. ГРИЦЕНКО., Ю.Є. ЦИБУЛЕВСЬКИЙ, кандидати техн. наук,
Я.М. МЕДЯНИК, інженер, **О.В. ЧЕРКАСОВ, О.В. ШВИДКИЙ**, наукові співробітники
Криворізький національний університет

ЕКСПРЕС-АНАЛІЗ ГЕМАТИТОВИХ РУД ГРАВІТАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

Для оперативного контролю якості мінеральної сировини використовуються різні геофізичні методи, такі як ядерно-фізичні, магнітометричні, ультразвукові, акустичні, радіометричні та інші залежно від фізико-механічних властивостей мінералів. При цьому враховуються наступні параметри оперативного контролю: точність, вартість та експресність (оперативність).

Метою даної роботи є дослідження можливості оперативного контролю вмісту окислених, гематитових руд у діапазоні від 45 до 65 відсотків вмісту заліза із гранулометричним складом -5мм.

Метод-гравітаційний.

Наукова новизна-використання нечіткої логіки у поєднанні з гравітаційним методом.

Результати проведених лабораторних досліджень показали, що за всіма вимогами оперативного контролю вмісту заліза в гематитових рудах, запропонований метод не поступається наявним геофізичним методам. У статті наведено основні вимоги до експрес-аналізу гематитових руд гравітаційним методом.

Перевагою запропонованого методу порівняно з геофізичними методами є вартість експрес аналізу однієї проби, що становить приблизно 20 відсотків від вартості відомих. Крім того, цей метод не вимагає використання радіоактивних джерел випромінювання, що підвищує безпеку та охорону праці.

Широке впровадження пропонованого пристрою в гірничодобувне виробництво дозволить скоротити кількість проб або відмовитися від дорогого хімічного аналізу.

Ключові слова. Експрес, аналіз, оперативний, контроль, вимірювання, вага, гравітаційний, гематитовий, гранулометричний, ущільнення.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-150-154

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Традиційні методи оперативного контролю масової частки заліза в окислених рудах застосовуються для технологічного (експрес аналізу) і паспортного контролю (хіманаліза) змісту заліза. Ці методи мають свої переваги і недоліки [1-10]. Головним недоліком традиційних методів є висока вартість одного вимірювання, оскільки використовуються дуже складні технології із застосуванням різного програмного забезпечення, хімічних речовин і радіаційного випромінювання. Також грає не значну роль і час аналізу однієї проби.