

15. Датчик руху мікрохвильовий Luxel IP20 3-2000 LUX (MW-07W). *prom.ua*. URL: <https://prom.ua/ua/p1431469725-datchik-ruhu-mikrohvilovij.html> (дата звернення: 24.11.2023).
16. CONTROLLER-3 пульт управління освітленням. *Horoz Electric Україна*. URL: <https://horozelectric.com.ua/controller-3> (дата звернення: 24.11.2023).
17. Салім М. С. Розробка приладу керування освітленням в приміщеннях : дипл. пр-т на здобуття наук. ступеня бакалавра. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2020. 85 с.
18. Комплект для Розумного будинку Zipato Light Kit Zipato. *Secur*. URL: <https://secur.ua/umniy-dom/complsmh/komplekt-dlja-umnogo-doma-zipato-light-kit> (дата звернення: 24.11.2023).
19. Учасники проєктів Вікімедіа. SCADA – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SCADA> (дата звернення: 24.11.2023).
20. KEPServerEX. *СОЛІТОН*. URL: <https://www.soliton.com.ua/systems-kepserverex.html> (дата звернення: 24.11.2023).
21. Поперечний П. В. Методи та засоби апаратно-програмної підтримки мікроконтролерів STM32. Вінниця, 2016. 2 с.
22. Real Time Clock Модуль (DS1307). *Arduino в Україні*. URL: <https://arduino.ua/ru/prod22-real-time-clock-modul-s-batareiko-ds1307> (дата звернення: 24.11.2023).
23. Розрахунок освітленості виробничого приміщення. Штучне освітлення. *Навч.-наук. центр перепідгот. та заочн. навч. ННЦПЗН НУ "Чернігівська політехніка"*. URL: https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/rozrah_rozd_OP_DP_bak_spec_mag/80.html (дата звернення: 24.11.2023).
24. Орієнтовні значення коефіцієнтів відбиття р. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/2449248/page:5/> (дата звернення: 24.11.2023).
25. Калькулятори розрахунку освітленості приміщення - Ekobil. *Ekobil*. URL: <http://ekobil.com.ua/kalkulyatori-rozrahunku-osvitlenosti-primishheniya/> (дата звернення: 24.11.2023).

Рукопис подано до редакції 28.03.24

УДК 622.7

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., М.М. ВІЛЬГЕЛЬМ, аспірант
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ ОБЕРНЕНОЇ ФЛОТАЦІЇ МАГНЕТИТУ

Мета. Метою даних досліджень є оцінка можливості формування оптимального живлення оберненої флотації магнетиту. Огляд існуючих досліджень у цьому напрямку для вирішення даної проблеми. Проведення глибокого мінералого-петрографічного вивчення явища флокуляції для вирішення поставленої мети.

Методи дослідження. При проведенні досліджень застосовувались наступні методи: наукове вивчення та узагальнення матеріалу в рамках існуючої проблеми; експериментальні – мінералого-петрографічне вивчення механізмів флокуляції, мінерального складу продуктів; теоретичні - доцільність застосування існуючих методів збагачення для зменшення явища флокуляції та підвищення технологічних характеристик продуктів.

Наукова новизна. У ході мінералого-петрографічних досліджень встановлено залежності кількості флокул по класам крупності та виконана можливість впливу зниження явища флокуляції на вміст заліза. Визначені залежності надають можливість їх використання у якості вихідних даних для створення математичних моделей.

Практичне значення. В рамках досліджень отримані наступні дані:

максимальна кількість флокул знаходиться у класах крупності $-0,04+0,02$ мм та $-0,02$ мм відповідно: 98% та 99% - у живленні флотації та 92% та 99% - у пінному продукті;

максимальна частка заліза сконцентрована у дрібних класах крупності $-0,04+0,02$ мм та $-0,02$ мм: живлення флотації – 46,5% / 64,6%; пінний продукт – 24,4% / 48,7%;

за рахунок введення операцій розмагнічування та тонкого грохочення очікується підвищення виходу концентрату на 2-4% та масової частки заліза на 0,7-0,9%.

Використання наведених даних у якості даних для математичного моделювання та розробки дозволяє на даному етапі спрогнозувати майбутню доцільність.

Практична значущість також може бути оцінена внаслідок проведення промислових випробувань, з використанням однієї операції розмагнічування, або в комбінації з тонким грохоченням та отриманням натурних технологічних показників.

Результати. В рамках досліджень проведено детальне вивчення явища флокуляції. Отримані результати підтверджують доцільність застосування додаткових методів збагачення для підготовки сировини для флотаційного доведення та розробки нових схем з отриманням продукції з підвищеними якісними характеристиками. Дані отримані в ході дослідження є основою для побудови математичних моделей.

Ключові слова: живлення флотації, продукт пінний, мінеральний склад, флокули, флотація.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Флотаційна доводка є одною з передових технологій збагачення корисних копалин. Вона має ряд переваг над іншими методами, а саме:

висока ефективність: флотація дозволяє отримати концентрат з високим вмістом корисного компоненту, що особливо важливо для бідних руд;

можливість переробки тонкодисперсної сировини: флотація ефективно працює з дрібними частинками, які важко піддаються збагаченню іншими методами;

широкий спектр застосування: флотація може використовуватися для збагачення різних типів руд, включаючи залізні, мідні, свинцево-цинкові, золотоносні та інші;

екологічність: сучасні флотаційні методи мінімізують вплив на навколишнє середовище за рахунок використання реагентів з низькою токсичністю та замкнутих циклів водопостачання.

Для магнетитових концентратів, отриманих з бідних магнетитових руд (магнетитових кварцитів) застосовується обернена флотація. Тобто флотується кварц, який переходить у пінний продукт, а камерний продукт є кінцевою продукцією [1-3].

Підготовка матеріалу для процесу флотації носить дуже важливий характер та залежить від ряду факторів, таких як характеристика руд та концентратів, властивості пульпи, тип та характеристика флотаційних машин, вид та дозування реагентів та ін.

Детальне вивчення характеристик живлення флотації таких, як розмір та форма частинок, мінеральний склад, здатність до флокуляції (коагуляції) дозволяють сформулювати оптимальні умови флотації та отримати параметри для її удосконалення.

Аналіз досліджень і публікацій. Флотаційне доведення магнетитового концентрату ускладнюється за рахунок присутності залишкової намагніченості матеріалу від попереднього переділу збагачення (магнітної сепарації). Суттєвим недоліком магнітної сепарації є те, що частинки запам'ятовують вплив магнітного поля у вигляді залишкової індукції, що призводить до їхнього об'єднання в агрегати і флокули. В результаті наступні переміщення стають менш ефективними, і при малих змістах нерудних частинок практично виключають отримання чистих концентратів [4].

Щоб відновити первісні магнітні властивості частинок, рекомендується їх розмагнічувати у потоці пульпи. Ця операція значно підвищує ефективність подальших процесів збагачення.

Матеріали наведені в [5-7] свідчать про ефективність операції розмагнічування для магнетитової сировини.

У [6] зазначено, що раціональна частота загасаючих коливань розмагнічувального магнітного поля має бути вищою за 500 Гц. У цьому разі ефектом обертання частинок у цьому полі можна знехтувати.

Прикладом ефективності операції розмагнічування матеріалу є результати випробувань високочастотного грохота корпорації "Деррік" на концентраті першої стадії ММС у схемах без розмагнічувального апарату і з розмагнічувальною котушкою. Використання в технологічній схемі розмагнічувального апарату дало змогу збільшити вихід підрешетного продукту на 17 % (з 34 до 51 %). Витяг класу -0,07 +0 мм у підрешетний продукт зросло на 28,9 % (з 60,7 до 89,6 %), а ефективність грохочення - на 19,7 % (з 44,2 до 63,9 %). У підсумку вміст заліза в концентраті другої стадії ММС підвищився на 2,09 % (до 60,3 %), а вихід - на 0,9 % (до 62,76 %) [8].

Зазвичай вивчення застосування операції розмагнічування виконується шляхом фотофіксації та оцінки до розмагнічування та з розмагнічуванням [5,6,7]. На фото наведено вихідний магнетитовий концентрат (рис. 1а). Зміни матеріалу відбуваються під впливом змінного поля від 5,6 кА/м (рис. 1б) до 24 кА/м (рис. 1в). Результати досліджень свідчать про те, що розпад флокул, відділення частинок з флокули починається в полі з напруженістю, що дорівнює коерцитивній силі; в полі з вищою напруженістю процес прискорюється (рис. 1).



Рис.1. Дефлокуляція продуктів

Оскільки продукти збагачення у технологічній схемі, близькі за магнітними характеристиками, істотних відмінностей у характері флокуляції не відмічається.

Зниження вмісту заліза зі зростанням крупності частинок закономірно призводить до зниження явища флокуляції за рахунок зменшення магнітних характеристик [9].

Явище флокуляції негативно впливає на процеси збагачення та спричиняє втрати корисного компонента у відходах тому потребує детального вивчення.

Суто, як процес, флокуляція - це процес коагуляції, під час якого укрупнені частинки дисперсної фази утворюють великі, пухкі пластівчасті агрегати, які називаються флокулами [10]. Ці флокули мають здатність швидко осідати або спливати [11].

Силами коагуляції є сили, які визвані наступними впливами:

полями електричної природи;

ультразвуком;

броунівським рухом;

силами тяжіння Ван-дер-Ваальса [12].

У зарубіжній літературі з колоїдної хімії терміни coagulation і flocculation часто розглядають як синоніми. У вітчизняних виданнях флокуляцію прийнято вважати одним із видів коагуляції.

У [13] відмічено широкий круг факторів, які впливають на магнітну коагуляцію, а саме: магнітні поля (постійні та змінні, $grad H$, тривалість дії); частинки матеріалу (дисперсність, форма, магнітні властивості, питома вага, властивості поверхні); дисперсна середа (щільність, змочуваність, в'язкість). Змінення значень одного із факторів нелінійно взаємопов'язано зі зміною багатьох інших факторів. Вивчення вища магнітної флокуляції виконано методом програмного та математичного моделювання шляхом формалізації процесу методами класичної фізики та математики.

Аналіз публікацій говорить про те, що формування оптимального живлення для будь якого переділу носить важливий характер. Тобто визначення оптимальних умов формування живлення флотації є актуальним та доцільним.

В рамках роботи, яка виконується, нами пропонується застосування операції розмагнічування для руйнування флокул та тонкого грохочення для вирішення двох завдань – відсіювання класу мінус 0,044 мм, який містить розкриті мінеральні частинки та за рахунок вібрації зруйнувати не міцні зв'язки між коагульованими частинками. Процес тонкого грохочення заснований на використанні вібрації та гравітаційних сил, що забезпечує ефективне сортування навіть за малих відмінностей у розмірах частинок [14].

Постановка задачі. Метою даних досліджень є оцінка умов формування оптимального живлення для оберненої флотації магнетиту на підставі детального вивчення мінерального складу та оцінки розміру частинок з використанням петрографічного та тринокулярного мікроскопів. Встановлення залежностей формування мінеральних флокул в продуктах збагачення для розуміння можливих подальших шляхів руйнування скоагульованих неселективних утворень.

Викладення матеріалу та результати. На Інгулецькому гірничо-збагачувальному комбінаті застосовано доведення магнетитового концентрату, отриманого по магнітній схемі, методом оберненої флотації. Флотація частково працює в замкненому циклі. Тобто пінний продукт у діючій схемі доводиться на дільницях двоступеневої магнітної сепарації та дешламації та у вигляді циркуляції додається у живлення флотації однієї або двох флотаційних машин РІФ-25.

Предметом дослідження є вивчення живлення флотації ПРАТ «ІНГЗК» та пінного продуктів флотації з метою розгляду можливості виведення продуктів технологічної схеми в окремі цикли, удосконалення існуючої схеми та розробки нових схем.

Принципова схема ПРАТ «ПІВНГЗК» під час відбору продуктів, які є предметом дослідження наведена на рис. 2.



Рис.2. Принципова схема

Живленням флотації є магнетитовий концентрат з вмістом заліза на рівні 61,0 %. На рис. 3 наведено мінеральний склад живлення флотації. Проба в переважній більшості представлена магнетитом та кварцем. Також присутні зерна кумінгтоніту (рис. 3в) та актиноліту (рис. 3г).

Для живлення флотації характерно наявність високої кількості флокул і скоагульованих частинок. Так відсоток магнетиту у складі магнітних флокул варіює від 72% до 90%. В пробі відмічається незначна кількість чистого кварцу. В основному, кварц містить включення магнетиту, іноді у вигляді тонких смуг і прошарків.

Для живлення флотації характерно наявність високої кількості флокул і скоагульованих частинок. Так відсоток магнетиту у складі магнітних флокул варіює від 72% до 90%.

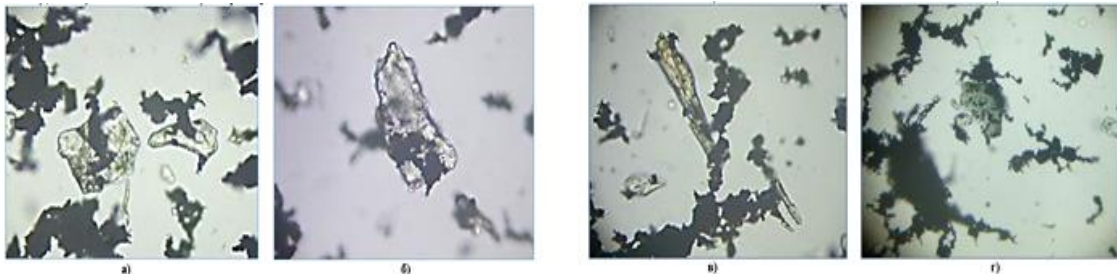


Рис.3. Мінеральний склад живлення флотації (петрографічний мікроскоп, імерсійний препарат. Збільшення: а, г - 400 \times ; б, в - 170 \times): а, б – магнетит (чорний), кварц (не забарвлений); в – кумінгтоніт (зеленувато-жовтий), кварц, магнетит; г – актиноліт (блідо-зелений), магнетит, кварц

Флокули та скоагульовані частинки в живленні флотації мають різні зовнішні форми, а саме виділяються кулясті, ланцюжкові, кільцеві, крабовидні та змішані (рис. 4). Флокуляція негативно впливає на флотаційне збагачення, знижуючи якість концентрату через забруднення його пустою породою.

Утворення флокул та скоагульованих частинок обумовлено попередніми операціями. За рахунок залишкової намагніченості дрібні частинки об'єднуються у значні флокули. Розмір та вага флокул значно більші, ніж окремих частинок, з яких вони складаються і можуть сягати 0,40 мм, при розмірі окремих часточок меншому за 0,0025 мм.

Явище флокуляції зберігається і для пінного продукту. У продукті наявні більш дрібні флокули і окремі скоагульовані мінеральні утворення - мінеральні часточки прилипають до крупних флокул. Основні мінерали пінного продукту: кварц, кумінгтоніт, актиноліт значно більші за розміром, ніж (переподрібнений) магнетит. Розміри кварцу у десятки разів перевищують розміри магнетиту. Кварц – 0,1-0,12 мм, магнетит – 0,01-0,03 мм, але магнетит повністю сфлокульований. Розмір флокул, особливо ланцюжкових сягає 0,2-0,3 мм, і вони переважають за розмірами виділення кварцу.

Флокуляція магнетиту з більшими за розміром зернами кварцу і силікатів та складна розгалужена морфологія флокул спричиняють значні втрати заліза у пінному продукті (рис. 5).

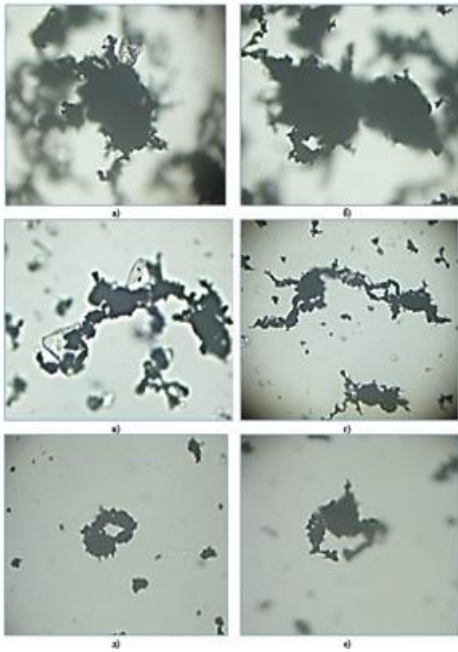


Рис.4. Магнітні флокули, утворені відокремленими часточками у складі живлення флотації (петрографічний мікроскоп, іммерсійний препарат. Збільшення: *a, б* - 270^X; *в* - 350^X; *г* - 150^X; *д, е* - 400^X): *a, б* - кулясті; *в, г* - відовжені, ланцюжкові з зернами кварцу; *д* - кільцева; *г* - крабовидна

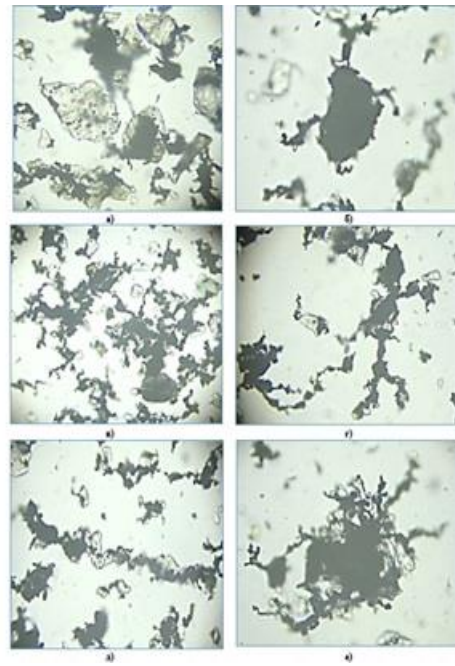


Рис.5. Особливості виділень магнетиту (чорне) у пінному продукті (петрографічний мікроскоп, іммерсійний препарат. Збільшення: *a, в, д* - 200 X; *б, г* - 375X; *е* - 400X): *a* - різні за розміром рудні вclusions у кварці і силікатах; *б* - куляста магнітна флокула з тонкими відгалуженнями; *в, г* - розгалужені флокули; *д* - ланцюжкова кварц-магнетитова флокула, кварц містить дрібні вclusions магнетиту; *е* - складна кварц-магнетитова флокула

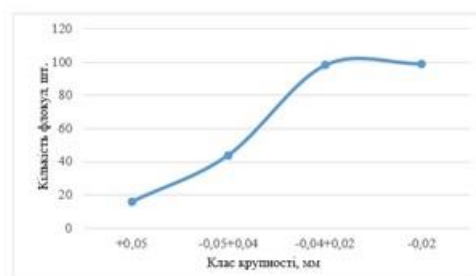
На рис. 6 наведено залежності кількості флокул і частинок-коагулянтів за класами крупності в живленні та пінному продукті флотації. Графіки свідчать про те, що залежність зберігається для обох продуктів. Максимальна кількість флокул і скоагульованих частинок знаходиться у класах крупності $-0,04+0,02$ мм та $-0,02$ мм.

Авторами [15] явище флокуляції досліджено на пінному продукті. Зниження флокуляції оцінювалось по вмісту заліза. Введення операції розмагнічування пінного продукту з наступною операцією магнітної сепарації дозволило підвищити вміст заліза на 6,42 % (з 40,6 до 47,02 %), що вище на 2,52 % в продукті без операції розмагнічування в лабораторних умовах (з 40,6 до 44,5%). Даний експеримент підтверджує можливість застосування даної операції для живлення флотації і як наслідок підвищенню вмісту заліза в сировині для подальшого переділу.

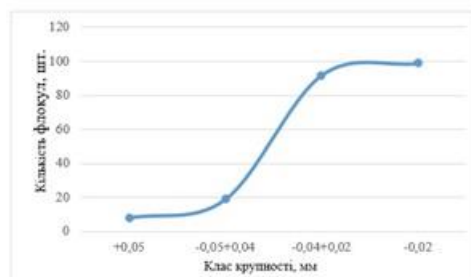
Аналіз гранулометричного складу та заліза по класам крупності наведений на рис. 7 показує концентрування більш високого вмісту заліза у дрібних класах крупності як у живленні флотації так і у пінному продукті. Введення операції грохочення з високою ефективністю по класу 0,040-0,053 мм дозволить вивести в підрешітний продукт багатий матеріал та розвантажити наступні операції. Ця операція дозволить додатково зменшити остаточний ефект флокуляції за рахунок вібрації, а також підвищити вміст заліза для наступного переділу.

Доцільність застосування вібраційного грохоту також пов'язано з комбінацією механізмів поділу на грохоті. Основний механізм поділу йде по крупності, але частково поділ також відбувається за щільністю. Щільність пов'язана із сегрегацією і гідравлічним характером переміщення частинок по поверхні грохоту і в підрешітний продукт. Як наслідок буде відбуватись підвищення масової частки заліза в підрешітному продукті.

Наведені результати досліджень свідчать про доцільність застосування операцій розмагнічування та тонкого грохочення для зниження явища флокуляції як у живленні флотації так і у пінному продукті. Застосування цих операцій позитивно вплине на технологічні показники та забезпечить формування оптимальної сировини для флотаційного збагачення.



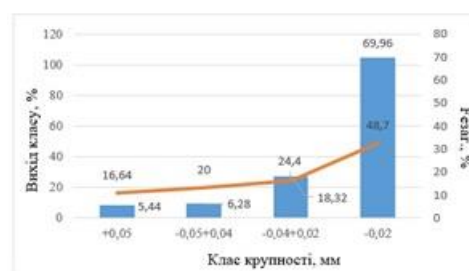
а)



б)



а)



б)

Рис. 6. Залежність концентрування кількості флокул по класам крупності: а - живлення флотації; б - пінний продукт

Рис. 7. Вміст заліза по класам крупності: а - живлення флотації; б - пінний продукт

Висновки і напрямок подальших досліджень. По результатам досліджень встановлено: максимальна кількість флокул знаходиться у класах крупності $-0,04+0,02$ мм та $-0,02$ мм відповідно: 98% та 99% - у живленні флотації та 92% та 99% - у пінному продукті; кількість флокул зменшується при збільшенні класів крупності; застосування операції розмагнічування та тонкого грохочення сировини перед флотацією є доцільним у технологічній схемі з огляду виконаних досліджень по оцінці флокуляції; за рахунок введення операцій розмагнічування та тонкого грохочення очікується підвищення виходу концентрату на 2-4% та масової частки заліза на 0,7-0,9%.

Результати дослідження будуть використані при розробці математичних моделей флокуляції та тонкого грохочення та потребують перевірки у промислових умовах.

Список літератури

1. Олійник Т.А. Перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд// Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 69(110). – С. 32-44. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILE=&S21STR=Zkk_2018_69_7.
2. Tetiana OLINYK, Liudmila SKLYAR, Natalia KUSHNIRUK, Nadiya HOLIVER, Barbara TORA, 2023 – Ocena skuteczności technologii wzbogacania kwarcytu hematytowego, Inżynieria Mineralna z. 1(51), Wyd. Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalni, Kraków, s. 33 – 44 <http://doi.org/10.29227/IM-2023-01-04>
3. Олійник Т.А. Перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд// Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 69(110). – С. 32-44.
4. Березняк О.О., Младецький І.К. Визначення частоти розмагнічування тонких феромагнітних частинок. Збагачення корисних копалин. – Дніпро. – 2019. Вип. 73 (114), - с.106.
5. Березняк О.О., Березняк Е.О., Гумеров М.Є., Полига Д.О. Експериментальні результати розмагнічування магнетиту в імпульсному режимі. Збагачення корисних копалин. – Дніпро. – 2012. Вип. 50 (91).
6. Березняк О.О., Березняк Е.О., Гумеров М.Є. Розрахунок необхідних параметрів процесу розмагнічування магнетиту. Збагачення корисних копалин. – Дніпро. – 2012. Вип. 48 (89).
7. Березняк О.О., Младецький І.К., Пайва Є. М. Розмагнічування феромагнітних частинок у пульпі. Збагачення корисних копалин. – Дніпро. – 2014. Вип. 57 (98).
8. Yakubaylik E.K., Kilin V., Chizhik M.V., Ganzhenko I.M., Kilin S.V. Study of strong-magnetic ores magnetization and demagnetization processes by the method of digital photography. Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2013; 56(2):5-11.
9. Ultrafast Laser Induced Magnetization Dynamics in High Magnetic Fields <http://hdl.handle.net/2066/156225>
10. Великонська Н.М., Надточій А.А. Поверхневі явища та дисперсні системи: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2018. – 78 с.
11. Сльцов С.В., Водолазкая Н.О. Фізична та колоїдна хімія: Учбовий посібник. Ч. I. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2005. – 239 с.
12. Anthony G. Mathematical model to investigate the behaviour of the systems of ferromagnetic particles under the magnetic fields. Applied Mathematics and Computation. 2018;320:654–676. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2017.09.050>

13. Kharitonskii P., Bobrov N., Gareev K., Kosterov A., Nikitin A., Ralin A. et al. Magnetic granulometry, frequency-dependent susceptibility and magnetic states of particles of magnetite ore from the Kovdor deposit. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2022;553:169279. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2022.169279>

14. Олійник Т.А., Невзоров В.В. Тонке грохочення як спосіб вирішення технологічних питань при виробництві високоякісних залізрудних концентратів. Науковий вісник КНУ. – Кривий Ріг. – 2023. Вип.57, - С.80

15. Олійник Т.А., Вільгельм М.М. Особливості коагуляції частинок та адсорбція регентів на поверхні пінного продукту флотації. Науковий вісник КНУ. – Кривий Ріг. – 2023. Вип.57, -с.70

Рукопис подано до редакції 26.02.24

УДК 681.5:[622.73:622.69]

Д. В. ШВЕЦЬ, ст. викладач, Криворізький національний університет
В. В. ШВЕЦЬ, заступник директора енергетичного департаменту,
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ЦИКЛОМ ПОДРІБНЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ З УРАХУВАННЯМ ЧАСУ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ПОТОКУ СИРОВИНИ

Мета. Розробити спосіб автоматичного керування процесом мокрого подрібнення залізної руди в кульовому млині, що працює в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором, з урахуванням часу транспортного запізнення частини потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора, який може бути використаний на рудозбагачувальних фабриках чорної металургії при збагаченні магнетитових руд.

Методи досліджень. У статті використано поєднання огляду літератури та патентного аналізу, проведено аналіз переваг і недоліків існуючих методів автоматичного керування процесом мокрого подрібнення залізної руди.

Наукова новизна. Запропоновано спосіб автоматичного керування процесом мокрого подрібнення вхідної руди в кульовому млині, що працює в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором, з урахуванням часу транспортного запізнення частини потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора, що може бути використана на рудозбагачувальних фабриках чорної металургії при збагаченні магнетитових руд.

Практична значимість. Розроблений спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення з урахуванням часу транспортного запізнення частини потоку вхідної руди дозволить стабілізувати вміст заліза на виході першої стадії магнітної сепарації, що, в свою чергу, підвищить якість кінцевого продукту рудозбагачувальної фабрики – залізрудного концентрату.

Результати. В ході досліджень розроблено спосіб автоматичного керування процесом мокрого подрібнення залізної руди в кульовому млині, що забезпечує внесення до блоку керування попередньо встановленого значення часу транспортного переміщення (запізнення) частини потоку вхідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора, який формує керуючий сигнал на виконавчий механізм засувки, якою подають воду і коригують задане значення крупності зливу класифікатора з урахуванням зазначеного часу транспортного запізнення вхідної руди.

Ключові слова: залізна руда, автоматизація, транспортне запізнення, подрібнення і класифікація, міцність руди.

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-101-105

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В Україні чорна металургія є однією з найбільш розвинутих галузей промисловості. В той же час, магнетитові концентрати вітчизняного виробництва за своєю собівартістю є більш вартісними порівняно з зарубіжними аналогами. Це зумовлює зниження їх конкурентоспроможності на світовому ринку [1].

При цьому існує проблема коливання показників вмісту заліза в залізрудній сировині, що надходить на переробку на рудозбагачувальні фабрики. Коливання показників якості вхідної залізної руди призводить до коливання вмісту корисного компонента в промпродукті та в концентраті. У зв'язку з цим, стабілізація вмісту заліза в залізрудній сировині є одним із найважливіших завдань у гірничозбагачувальній промисловості, зумовленим необхідністю підвищення якості концентрату в умовах жорсткої конкуренції на світовому ринку залізрудних концентратів.

Питання контролю вмісту корисного компоненту в залізній руді на етапі подрібнення знаходило своє відображення в ряді наукових праць [2-7]. В той же час, через нелінійність та скла-