

11. Гудков А.А., Славский Ю.И. Методы измерения твердости металлов и сплавов. -М.: Металлургия, 1982. - 165 с.
12. Chong K., Matlock R. Light-Gage Steel Bolted Connections without washers//Journal of the Structural Division. 1975. - № 7.
13. Белов А.В. Исследование и расчет влияния перекосов на работоспособность резьбовых соединений общего назначения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М.: МВТУ им. Баумана, 1983. -16 с.
14. Pirkins A., Hogan J. Bolted connections of the Steel Construction. - 1977. -№ 3.
15. Mors H. Erfahrungsergebnisse auf Prüfstationen für freileitungsstützenmasten//Stahlbau.-1980.- № 6.-S. 161-165.
16. WG 22-08. Single bolt connections of angles in transmission line tower. Recommendation for calculation of the strength of longitudinal and transverse edge distances. August 1984. J.van.Bodegom, B.Evensen, J.J.Gidlung.
17. Pisher J. Struik J. Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints. - John Wiley, 1974.
18. Gilchrist R., Chong K. Thin Light-Gage Bolted Connections without washers//Journal of the Structural Division. -1999. - № 1.

Рукопись поступила в редакцию 16.03.15

УДК 622.7: 658.562

М.А. ТИМОШЕНКО, магістрант, Криворізький національний університет

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РУДИ В УМОВАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ

Розглянуто актуальні питання ефективності процесу збагачення залізної руди. Обґрунтовано питання важливості класифікації руди на мінералого-технологічні різновиди. Аргументована важливість усереднення характеристик руди з метою мінімізації втрат корисного компоненту та збільшення ступеню його розкриття. Розглянуто методи контролю якості руди на різних етапах збагачення. У тому числі приділено увагу фізичному стану заліза на конкретних стадіях подрібнення та збагачення та відповідній специфіці фізичних показників, враховуваних у різних методах. Розглянуто фізичну природу показників розподілення залізної руди на технологічні різновиди та обґрунтовано негативний вплив недоподрібненої та переподрібної руди на знос гірничозбагачувального обладнання та втрати корисного компоненту. На основі розглянутої інформації сформульовано їх переваги та недоліки. Виявлено, що методи контролю руди недостатньо розвинуті та знаходяться на стадії дослідження. Отже, вказано напрямки подальших досліджень – розвиток методів контролю розкриття корисного компоненту у твердій фазі пульпи.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На даний момент гірничорудна промисловість України переживає тяжкі часи. Залізородні басейни поступово виснажуються, що вкрай негативно впливає на вміст корисного компонента у вихідному продукті. Також, за рахунок застарілого обладнання та методів керування, виробництво стає дуже енергозатратним, тобто економічно не вигідним з точки зору співвідношення «затрати енергії – кількість і якість продукту». Саме тому необхідно вдосконалювати та оптимізувати процеси обробки та збагачення залізної руди. Значну роль відіграє різноманіття руди. Мінералого-технологічних різновидів руди велика кількість. Вони можуть досить сильно відрізнятися за вмістом мінералів, а значить за фізичними і хімічними властивостями, навіть у рамках одного гірничо-збагачувального комбінату, не кажучи вже про різні фабрики, які мають різні родовища. Тільки на ПАТ «Інгулецький ГЗК» розрізняють 7 різновидів оброблюваної руди.

Кожен різновид потребує відповідного оптимального режиму роботи гірничозбагачувального обладнання на кожній стадії збагачення. Відповідно до міцності вихідного матеріалу повинен відповідно бути налаштований млин (кількість мелючих шарів або швидкість обертання барабану, наприклад), класифікатор, сепаратор та інше обладнання. Переподрібнена і недоподрібнена руда призводять до великих втрат корисного компоненту у хвостах.

Проте у реальних умовах неможливо, щоб на обробку потрапив якийсь один чітко визначений різновид руди. Це завжди суміш із декількох різновидів. Налаштовуючи обладнання на оптимальну роботу з одним з них -отримаємо великі втрати по іншим різновидам. Саме тому необхідно проводити усереднення показників вихідної руди і відповідно пристосовувати згідно цих показників режими роботи гірничозбагачувального устаткування.

Аналіз досліджень та публікацій. Контроль якості руди у цілому здійснюється у двох напрямках - контроль характеристик руди у потоці та контроль її характеристик у пульпі.

Найчастіше застосовувані методи контролю параметрів руди у потоці - рентгенорадіометричний, нейтронно-активаційний та гамма-гамма метод [1,7].

Рентгенорадіометричний метод полягає у опромінюванні руди потоком квантів та реєстрації характеристичного випромінювання. Попередньо обирають елементи (частки заліза), які корелюють з відповідним різновидом. Також обирають елементи, вміст яких у руді постійний, після чого складають пари елементів, для яких коефіцієнти кореляційних залежностей мають різні знаки або один з елементів пари характеризується постійним вмістом у руді. Вміст елемента визначається за відношенням інтенсивності характеристичного рентгенівського випромінювання обраних пар елементів [2,6].

Перевагою даного методу є його простота, універсальність та висока розповсюдженість. Проте, він має і значні недоліки - низьку точність оцінювання та недостатню глибину проникнення випромінювання при застосуванні його у комплексі з живильником.

Сутність методу нейтронно-активаційного аналізу полягає у вивченні штучної радіоактивності, що виникає при опромінюванні стабільних ядер досліджуваної речовини (Fe) потоком нейтронів. Його використовують для вивчення мінералів, порід та руд шляхом виділення і оцінки концентрації окремих елементів за їх вторинним радіоактивним випромінюванням. При вимірюванні застосовують детектори, здатні реєструвати частки з відомим значенням енергії вторинного випромінювання. Величина цього випромінювання залежить від маси ядра, тобто вона індивідуальна для кожного хімічного елемента [3].

Недоліком методу є те, що він потребує значних затрат та ставить жорсткі вимоги до контрольованого середовища: незмінність гранулометричного складу, вологості, товщини шару матеріалу на живильнику.

Проте, він має і значні переваги - висока точність і чутливість, можливість виконувати як якісний, так і кількісний аналіз та можливість реєструвати вміст рідких та розсіяних елементів (домішки), коли чутливості та можливостей більш традиційних і дешевих методів недостатньо.

Гамма-гамма методом вимірюють потік чи спектр розсіяного гірською породою гамма-випромінювання, яке виникає при опромінюванні її гамма-квантами зовнішнього джерела. Цей метод застосовують в основному для визначення густини гірських порід. Гамма-гамма метод заснований на ефектах взаємодії гамма-квантів низької енергії з рудною масою. При цьому, за допомогою спеціальних радіометрів реєструється пропущена або розсіяна середовищем частина гамма-гамма випромінювання [2,5].

На відміну від попередніх методів, гамма-гамма метод не висуває таких жорстких вимог до середовища і забезпечує достатню глибину проникнення для опромінення шару досліджуваної руди по усій товщині.

Методи контролю якості руди застосовують для визначення процентного вмісту заліза у досліджуваній руді. Проте, поряд з часткою корисного компонента у перероблюваній руді на ефективність її збагачення суттєво впливає також характер вкраплень мінеральних зерен корисного компонента. Класифікацію мінералого-технологічних різновидів руди здійснюють саме на основі цієї характеристики [8].

Оскільки крупність подрібнення руди для її кращого розкриття залежить від характеру вкраплень корисного компонента (чим тонше вкраплення, тим важче його добути), для кожного різновиду руди для повного розкриття її корисного компонента повинен бути сформульований власний гранулометричний склад, який необхідно підтримувати в усіх режимах роботи технологічного обладнання. Розділення руд на мінералого-технологічні різновиди використовується для планування видобутку та обробки так, щоб забезпечити постійну якість руди впродовж необхідного інтервалу [4].

В основу методів контролю вкраплень корисного компонента у руді покладена різниця фізичних та хімічних властивостей речовин, що складають, відповідно, корисний компонент та порода. При опромінюванні певним визначеним типом випромінювання порода та залізо будуть давати різні показники, так як будуть по-різному реагувати. Завдяки цьому можна отримати таку інформацію, як кількісний та процентний вміст корисного компонента, питому масу, об'єм або навіть візуальну картину його розподілення у досліджуваній руді, залежно від застосовуваного методу [5]. Як приклад методів контролю вкраплень у потоці руди можна навести термічні методи аналізу.

Термографія взагалі вивчає хімічні та фізичні процеси, що супроводжуються поглинанням чи виділенням тепла. У випадку з дослідженням вкраплень корисного компонента у руді досліджується поведінка корисного компонента та руди у полі надвисокої частоти. Короткочасне опромі-

нювання полем НВЧ приводить до різного нагріву заліза та пустої породи, що фіксується за допомогою тепловізора. Існує залежність між температурою та інтенсивністю світимості об'єктів [5].

Руду на живильнику опромінують електромагнітним полем НВЧ, за результатами вимірювань тепловізора розраховують середнє значення температури шматка руди. Звідси знаходиться співвідношення ваг корисного компоненту та пустої породи.

Головним недоліком способу є низька точність визначення характеру вкраплень корисного компоненту. Це обумовлено тим, що розрахунок проводиться за середніми значеннями вимірної температури шматка руди, проте відсутня можливість врахувати розміри та кількість окремих вкраплень заліза.

Перевагою цього способу є можливість візуально оцінити просторове положення і приблизну концентрацію вкраплень заліза у руді, та на основі цих даних реєструвати статистичні дані для подальшого створення експертної бази знань, необхідної на етапі моделювання систем управління, оптимізації та адаптації. Також розглянутий спосіб є досить простим і дозволяє оцінювати шматки руди за вкрапленнями до утворення пульпи, таким чином контролюючи і підтримуючи оптимальний склад заліза у пульпі.

Термічні методи дуже різноманітні. Але всі вони засновані на взаємозалежностях температури та інших фізичних чи хімічних параметрів. Якщо у термографічному аналізі це була залежність світимості від температури, то, наприклад, термогравіметричний метод враховує залежність ваги від температури безпосередньо.

При нагріванні шматків руди відбувається їх дегідратація та виділення газоподібної фази, що призводить до зміни маси, а значить і ваги досліджуваного шматку. Вкраплення заліза та пуста порода втрачають різну кількість домішок і маси, яку вони складають. На основі отриманих даних можна розрахувати кількісний склад корисного компоненту у руді.

Перевагою даного методу аналізу є можливість знайти безпосередньо взаємозалежність «температура-вага корисного компоненту» в обхід складних обчислень з врахуванням світимості речовини. Проте, на цьому його переваги закінчуються і починаються недоліки. По-перше, термогравіметричний метод аналізу не дає змоги отримувати точні результати при вимірюванні масиву шматків руди на живильнику, так як у цьому випадку він буде реєструвати середнє значення зміни ваги усієї руди, не враховуючи різницю в окремих шматках. По-друге, він потребує значних апаратних затрат для реєстрації зміни дуже малих величин. По-третє, метод не дає змоги отримати інформацію про просторове розміщення вкраплень корисного компоненту, їх концентрацію та розмір. Тому можна зробити висновок, що термогравіметричний метод аналізу у сфері збагачення руди можна застосовувати тільки для приблизної оцінки окремих зразків, наприклад, при поверхневому дослідженні зразків нового родовища [5,10].

Контроль характеристик руди у пульпі дозволяє визначити функції розподілення зерен за крупністю та його взаємозв'язок зі ступенем розкриття корисного компоненту. На основі даної інформації формують математичні моделі циклу подрібнення, здійснюють параметризацію та ідентифікацію функцій подрібнення і отримують змогу формувати якісні показники усього комплексу процедур збагачення.

На даний момент методи оцінки ступеня розкриття корисного компоненту і розподілення за крупністю знаходяться на стадії досліджень, тобто чіткої класифікації методів не існує. Проте, усі вони ґрунтуються на залежностях, що враховують різницю густини зерен заліза та пустої породи.

Одним з найперспективніших напрямів контролю параметрів руди у пульпі є ультразвуковий аналіз. Між розміром вкраплень корисного компоненту та довжиною хвилі пропущених через пульпу ультразвукових коливань існує зв'язок. Під дією високоенергетичного ультразвуку на пульпу, в результаті викликаного ним радіаційного тиску, змінюється гранулометрична характеристика твердої фази у пульпі. При збільшенні інтенсивності високоенергетичного ультразвуку від нуля до певного значення, можуть бути зміщені лише частки певних мінералого-технологічних різновидів руди. Тому внаслідок радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку відбувається перерозподіл часток подрібненої руди за крупністю. Знаючи аналітичні залежності параметрів ультразвукового поля, концентрації та крупності часток подрібненої руди у пульпі, можна визначити їх приналежність до певного мінералого-технологічного різновиду (наближено) [1,9].

До недоліків методу можна віднести залежність від неконтрольованих нелінійних динамічних ефектів, які виникають при опроміненні високоенергетичним ультразвуком пульпи, що вносить похибки у вимірювання, а також низьку точність. У процесі розрахунку отримується

середній розмір вкраплень корисного компоненту, проте не враховуються розмір і форма окремих вкраплень. Також усі розрахунки проводяться з припущенням постійної швидкості пульпи, коли у реальних умовах це неможливо, а тому отримані результати неточні.

Плюсом є можливість контролю характеристик руди після подрібнення. За допомогою отриманої оцінки фракційного складу твердої фази пульпи можна сформувавши функції стану та визначити сепараційні характеристики збагачувального обладнання, тобто оптимізувати його роботу.

Отже, можна сформувавши приблизну оцінку методів контролю якості залізної руди за їх перевагами та недоліками.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів контролю якості руди

Метод	Досліджуване середовище	Переваги	Недоліки
Рентгенорадіометричний	Кускова руда на живильнику	Простота, універсальність	Низька точність, недостатня глибина проникнення випромінювання
Нейтронно-активаційний	Кускова руда на живильнику	Висока точність. Можливість виконувати якісний і кількісний аналіз, контроль домішок	Значні затрати. Ставить жорсткі вимоги до контрольованого середовища
Гамма-гамма	Кускова руда на живильнику	Не висуває жорстких вимог до середовища контролю, універсальність.	Невеликий спектр отриманої інформації.
Термографічний аналіз	Кускова руда на живильнику	Простота, можливість візуально оцінити параметри вкраплень корисного компоненту	Низька точність
Термогравіметричний	Кускова руда на живильнику	Простота	Неможливість працювати в умовах технологічного процесу, застосовується лише для дослідів, значні матеріальні затрати, невеликий спектр отриманої інформації
Ультразвукові методи	Пульпа	Можливість контролювати тверду фазу пульпи	Залежність від збурюючих впливів, низька точність

Висновки на напрямки подальших досліджень. Контроль характеристик залізної руди має велике значення з точки зору оптимізації процесу збагачення. Найбільшої ефективності можна досягти при чіткій ідентифікації приналежності руди до певного мінералого-технологічного різновиду. Сучасні методи контролю якості залізної руди недостатньо розвинуті і за рахунок збурюючих впливів не дозволяють отримати чітку і повну інформацію про характеристики корисного компоненту, що, в свою чергу, є перепорою на шляху удосконалення процесу збагачення та зменшення втрат. Найбільш сильно це виявляється у контролі параметрів руди у стані пульпи.

Напрямок подальших досліджень є розвиток методів ультразвукового аналізу пульпи, як найбільш перспективного у напрямку контролю якості залізної руди у даній формі. Особливу увагу слід приділити розрахункам на основі отриманої інформації з врахуванням змінної швидкості руху пульпи для отримання більш точних результатів.

Список літератури

1. **Моркун В.С.** Энергоэффективное автоматизированное управление процессом обогащения руды с распознаванием ее технологических разновидностей / **В.С. Моркун, В.В. Тронь, С.А. Гончаров, Н.С. Подгородецкий.** – Кривой Рог, 2014. – 326 с.
2. **Буковшин В.В.** Современные методы исследования минерального вещества: Учебное пособие. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. - 38 с.
3. **Риверс Р.Д.** Анализ геологических материалов на следы элементов / **Р.Д. Риверс, Р.Р. Брукс** ; пер. Н. П. Попов. - М. : Недра, 1983. - 405 с.
4. **Нестеров Г.С.** Технологическая оптимизация обогатительных фабрик.- М.,Недра,1976.-121 с.
5. **Гавриленко В.В.** Современные методы исследования минералов, горных пород и руд / **Г.П.Богданова, Р.Л. Бродская, В.В.Гавриленко** - Санкт-Петербург, 1997. - 137с.
6. **Нефедов В.Д.** Радиоактивные изотопы в химических исследованиях / **В. Д. Нефедов, М. А. Торопова, И. В. Кривохатская.** М.-Л. Химия, 1965. - 300 с.
7. **Bass L.** Contribution to the theory of grinding processes / **L. Bass, Z. Angew** / Math. Phys. – 1954 – no 5. – pp. 283 –292.
8. **Ragot J.** Transient study of a closed grinding circuit / [**Ragot J., Roesch M.**] - 2-nd IFAC Symp. "Automat. Mining, Miner. and Metal. Proc." – Pretoria. – 1977.- P. 129-142.
9. **Grainger-Allen T. J. N.** Bubble generation in froth flotation machines – Trans. Inst. Mining Met., 1970, vol. 79, p. 15-2.
10. **Schubert. H.** Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. – Leipzig, 1967, Bd. 11, p. 472.

Рукопис подано до редакції 11.03.15