

**О.М. Пономаренко<sup>1</sup>, О.Б. Брик<sup>1</sup>, Н.О. Дудченко<sup>1</sup>, В.Д. Євтехов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України,  
пр. Академіка Палладіна, 34, Київ, 03680, Україна,  
тел. +380 44 424 0105, факс +380 44 424 1270, abrik@voliacable.com, nataliiaududchenko@hotmail.com

<sup>2</sup> ДВНЗ «Криворізький національний університет» МОН України,  
вул. XXII партз'їзду, 11, Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., 50027, Україна,  
тел. +380 56 409 0606, факс +380 56 74 5257

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ СЕПАРАЦІЇ ВИСОКОДИСПЕРСНОЇ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНОГО ВПЛИВУ ПОСТІЙНИХ ТА ЗМІННИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ



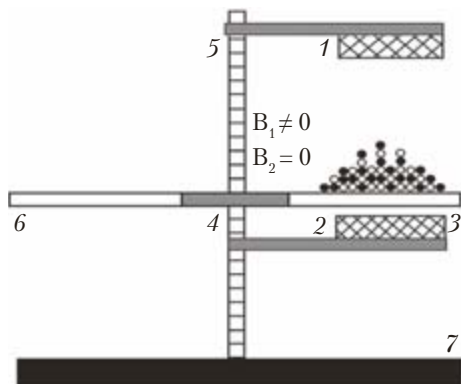
Створено аналог напівпромислової установки для сепарації високодисперсної залізорудної сировини, за допомогою якої проведено магнітну сепарацію зразків техногенної залізорудної сировини з хвостосховища збагачувальної фабрики шахти «Північна» ім. В.А. Валявка. Сепарацію проведено після перетворень гематиту на магнетит за допомогою монооксиду вуглецю. За допомогою методу дифракції рентгенівських променів показано, що вихідна перетворена руда була представлена, переважно, магнетитом і кварцом, а концентрат — магнетитом. Рефлекси на дифрактограмі хвостів, отриманих в результаті процесів сепарації, показують, що вони складені, головним чином, кварцем. Вміст заліза в складі залізорудного концентрату становив 69,5 мас. %.

*Ключові слова:* магнетит, гематит, перетворення структури, магнітна сепарація, високодисперсна залізорудна сировина.

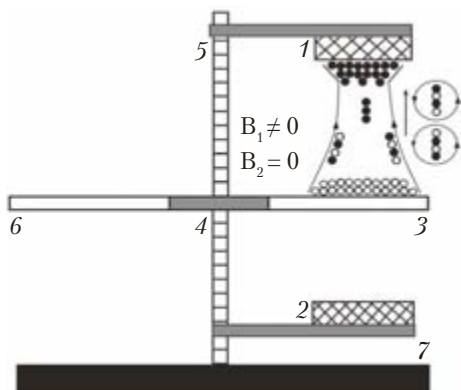
Відомо, що Україна володіє значними запасами залізорудної сировини. Але в наш час запаси багатих залізних руд і залізних руд, що легко збагачуються, в Україні майже вичерпано. Тому, все більш гостро постає питання виробництва залізорудних концентратів з бідних окиснених (слабкомагнітних) залізистих кварцитів, а також з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів. В Криворізькому залізорудному басейні є величезні запаси бідних гематитових кварцитів (десятики мільярдів тон) та накопичено понад два мільярди тон відходів гірничо-збагачувальних комбінатів (відвали та хвостосховища). В складі відходів міститься понад 30 масових від-

сотків заліза у вигляді гематиту та/або гетиту. Ці відходи займають значні площі та забруднюють навколишнє середовище високодисперсними оксидами та гідроксидами заліза і кремнію.

Видобуток бідної гематитової сировини для виробництва залізорудних концентратів є суттєво менш витратним порівняно з видобутком багатих залізних руд. Відходи гірничо-збагачувальних комбінатів можна розглядати як техногенні поклади залізорудної сировини, які не потребують шахтного видобутку, подрібнення та низки інших технологічних процесів. Розробка ефективних енерго- та матеріалозберегаючих технологій виробництва залізорудних концентратів з бідних окиснених залізних руд та з відходів гірничо-збагачувальних концентратів є актуальним та дуже



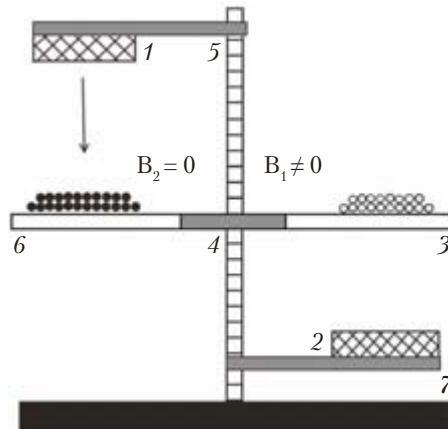
**Рис. 1.** Схема, що ілюструє перший етап сепарації залізорудної сировини: 1 – електромагніт, змінне магнітне поле якого вимкнено; 2 – магніт, що створює постійне магнітне поле; 3 – платформа для залізорудної сировини; 4 – система вертикального переміщення постійного магніту; 5 – система для обертання електромагніту; 6 – платформа для збирання залізорудного концентрату; 7 – платформа для кріплення вузлів приладу



**Рис. 2.** Схема, що ілюструє другий етап сепарації залізорудної сировини: 1 – електромагніт, що створює змінне магнітне поле; 2 – магніт, віддалений від руди; 3 – платформа для залізорудної сировини; 4 – система вертикального переміщення магніту; 5 – система для обертання електромагніту; 6 – платформа для збирання залізорудного концентрату; 7 – платформа для кріплення вузлів приладу

важливим напрямом для збереження й подальшого розвитку залізорудної та металургійної промисловості України [1].

Різні типи магнітних сепараторів, які використовують для розділення рудної та нерудної компоненти постійні магнітні поля,



**Рис. 3.** Схема, що ілюструє третій етап сепарації залізорудної сировини: 1 – незструмлений електромагніт; 2 – магніт, віддалений від руди; 3 – платформа для збирання хвостів залізорудної сировини; 4 – система вертикального переміщення магніту; 5 – система для обертання електромагніту; 6 – платформа для збирання залізорудного концентрату; 7 – платформа для кріплення вузлів приладу

змінні магнітні поля, біжучі магнітні поля, електромагнітні та вібромагнітні поля описано в монографії [2]. Загальним недоліком цих магнітних сепараторів є те, що їх ефективність суттєво знижується під час роботи з високодисперсною залізорудною сировиною, що обумовлено формуванням у процесі сепарації флокул під впливом магнітного поля. Це призводить до необхідності застосування процесів дешламації залізорудної сировини, під час яких втрачається значна кількість рудних мінералів. Оскільки високодисперсні частинки в багатьох випадках складають значну частку залізорудної сировини, то дешламація спричиняє утворення великої кількості відходів, а також створює екологічні проблеми, пов'язані з забрудненням довкілля високодисперсними оксидами та гідроксидами заліза.

Метою роботи було створення пристрою для сепарації високодисперсної залізорудної сировини за допомогою комбінованого впливу постійних і змінних магнітних полів та дослідження можливості магнітної сепарації на створеному пристрої зразків залізорудної сировини.

вини техногенного покладу хвостосховища збагачувальної фабрики шахти «Північна» ім. В.А. Валявка після перетворень гематиту на магнетит під дією CO.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Вихідний зразок залізорудної сировини, який підлягав сепарації, за даними рентгенофазового аналізу, у своєму складі містив, переважно, магнетит та кварц, з розміром частинок менше 0,05 мм. Загальний вміст заліза у складі вихідної сировини становив близько 40 мас. %. Зразок було отримано за допомогою термічної обробки техногенної залізорудної сировини під дією відновлювальних газів (переважно CO) за температури 600 °C протягом 60 хв, швидкість потоку газів-відновників — 2,8 см<sup>3</sup>/с.

Фазовий склад зразків досліджували методом дифракції рентгенівських променів (ДРОН-ЗМ). Намагніченість насичення зразків визначали за допомогою магнітометра з датчиком Хола. Вміст заліза в зразках визначали методом рентген-флуоресцентного аналізу з використанням рентгенофлуоресцентного спектрометра з хвильовою дисперсією ARL Optim'X WD (Швейцарія).

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В основу розробки покладено наступні ідеї: спочатку на високодисперсну залізорудну сировину діють постійним магнітним полем, яке створює флокули, що представлені стійкими утвореннями з високодисперсних рудних та нерудних частинок залізорудної сировини. Після формування флокул на залізорудну сировину діють змінним магнітним полем, яке піднімає магнітні частинки вгору, при цьому частинки рухаються в повітрі в пучність змінного магнітного поля. Під час знаходження в повітрі флокули здійснюють обертальний рух, оскільки полярність змінного магнітного поля, вздовж якого орієнтуються флокули, змінюється з частотою змінного магнітного поля. Швидке обертання

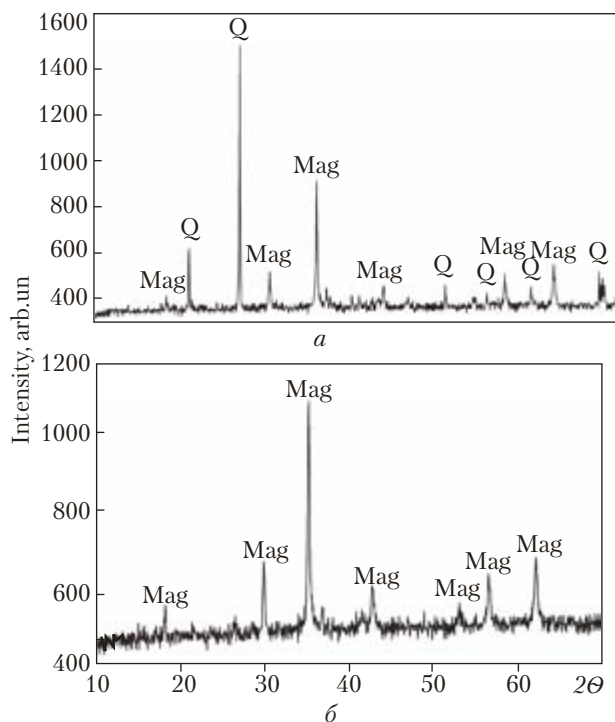
флокул в просторі призводить до їх руйнування завдяки дії відцентрових сил та, відповідно, до розділення рудних (магнетит) та нерудних (кварц) частинок. Після руйнування флокул магнітні (рудні) частинки продовжують рухатися в пучність змінного магнітного поля, а немагнітні (нерудні) частинки припиняють рухатися в цьому напрямку.

Для перевірки ефективності описаних вище процесів, пов'язаних з розділенням рудних (магнітних) та нерудних (немагнітних) високодисперсних частинок, було створено прилад, який складається з основних вузлів, що схематично зображені на рис. 1–3.

Процедура отримання залізорудного концентрату включала три етапи. Схему, що ілюструє перший етап, наведено на рис. 1. На цьому етапі величина індукції змінного магнітного поля ( $B_1$ ) в залізорудній сировині дорівнює нулю ( $B_1 = 0$ ). Постійне магнітне поле з індукцією  $B_2$  в залізорудній сировині створювалось за допомогою постійного магніту (2). Це постійне магнітне поле й спричиняло утворення в залізорудній сировині флокул.

На другому етапі (рис. 2) постійний магніт було віддалено від руди так, що індукція постійного магнітного поля в руді дорівнювала приблизно нулю ( $B_2 \approx 0$ ). Потім на електромагніт подавали напругу частотою 50 Гц. В результаті протікання змінного електричного струму по обмотках електромагніту (1), створювалось змінне магнітне поле ( $B_1 \neq 0$ ), яке взаємодіяло з рудною сировиною. Величина  $B_1$  встановлювалась такою, щоб вгору, в пучність змінного магнітного поля, піднімались, переважно, тільки флокули, які були створені постійним магнітним полем. Потік флокул залізорудної сировини в повітрі від платформи (3) до електромагніту (1) проілюстровано на рис. 2.

Під час переміщення в пучність змінного магнітного поля, флокули, завдяки зміні полярності магнітного поля, здійснюють обертальний рух (рис. 2). При цьому флокули змінюють свою орієнтацію в просторі з частотою



**Рис. 4.** Дифрактограми вихідної залізорудної сировини (а) та концентрату (б), отриманого в результаті процесів сепарації

змінного магнітного поля. Завдяки обертовому руху на частинки флокул діють відцентрові сили, які розривають ці флокули. В результаті їх руйнування в повітрі з'являються окремі рудні (магнітні) та нерудні (немагнітні) частинки. Після цього в пучність змінного магнітного поля (на поверхню електромагніту) потрапляють, переважно, тільки магнітні частинки.

На третьому етапі (рис. 3) електромагніт (1), на поверхні якого знаходяться магнітні частинки концентрату, за допомогою спеціальної системи (5) повертається на 180° в горизонтальній площині. В результаті цього електромагніт розташовується над платформою (6), яка виконує роль накопичувача концентрату. Коли електромагніт (1) розташовано над платформою (6), його живлен-

ня електричним струмом вимикають. В результаті магнітне поле електромагніту зникає ( $B_1 = 0$ ), а концентрат падає на платформу. Всі три етапи повторюють декілька разів.

В результаті виконаної процедури на платформі (6) накопичується залізорудний концентрат, а на платформі (3) залишаються хвости залізорудної сировини.

Отримані залізорудний концентрат та хвіст було досліджено методом дифракції рентгенівських променів (рис. 4) та показано, що вихідна залізорудна сировина складається з магнетиту та кварцу, а отриманий за допомогою магнітної сепарації концентрат — переважно, з магнетиту.

Концентрація заліза, визначена за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу, дорівнювала в концентраті приблизно 69,5 мас. %, а в хвостах — 9 мас. %.

Намагніченість насичення утвореного залізорудного концентрату складала  $\sim 90 \text{ A} \times \text{m}^2/\text{kg}$ , що є близьким до намагніченості насичення чистого магнетиту ( $92 \text{ A} \times \text{m}^2/\text{kg}$ ).

## ВИСНОВКИ

1. Створено пристрій для магнітної сепарації високодисперсної залізорудної сировини на основі дії постійного та змінного магнітних полів та проведено магнітну сепарацію техногенної залізорудної сировини після перетворення структури за допомогою магнетизуючого випалу під дією СО.

2. Показано, що залізорудний концентрат складається, переважно, з магнетиту. Вміст заліза в концентраті складав 69,5 мас. %, а в хвостах — 9 мас. %.

3. Намагніченість насичення залізорудного концентрату складала  $\sim 90 \text{ A} \times \text{m}^2/\text{kg}$ , що є близьким до намагніченості насичення чистого магнетиту.

*Роботу виконано в рамках науково-технічного проекту НАН України № 10 в 2016 р.*

ЛІТЕРАТУРА

1. Пономаренко А.Н., Брик А.Б., Юшин А.А., Дудченко Н.А., Евтехов В.Д., Беспояско Э.А., Лютоев В.П. Преобразование гематита и гетита в магнетит в связи с решением проблемы обогащения бедных гематитовых руд. *Геолого-минералогический вiсник Криворізького національного університету*. 2014. № 1–2 (31–32). С. 5–15.
2. Кармазин В.И., Кармазин В.В. *Магнитные методы обогащения*. Москва, 1984. 505 с.

Стаття надійшла до редакції 24.05.17

REFERENCES

1. Ponomarenko, O.V., Brik, A.B., Yushin, O.O., Dudchenko, N.O., Evtekhov, V.D., Bespoyasko, E.A., Lutoev, V.P. Transformation of hematite and goethite to magnetite related to solution of the problem of beneficiation of poor hematite ores. *Geological-Mineralogical Bulletin of Kryvyi Rih National University*. 2014, 1–2 (31–32): 5–15 [in Russian].
2. Karmazin V.I., Karmazin V.V. *Magnetic methods of beneficiation*. Moscow, 1984. 505 p. [in Russian].

Received 24.05.17

*Ponomarenko<sup>1</sup>, O.M., Brik<sup>1</sup>, A.B.,  
Dudchenko<sup>1</sup>, N.O., and Evtekhov<sup>2</sup>, V.D.*

<sup>1</sup> Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy, and Ore Formation, the NAS of Ukraine, 34, Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine, tel. +380 44 424 0105, fax: +380 44 424 1270, abrik@voliacable.com, nataliadudchenko@hotmail.com

<sup>2</sup> Kryvyi Rih National University, MES of Ukraine, 11, XXII Partyzivdu St., Kryvyi Rih, 50027, Ukraine, tel. +380 56 409 0606, fax +380 56 74 5257

FACILITY FOR SEPARATION  
OF FINE-DISPERSED RAW IRON ORE  
BY COMBINED EFFECT OF PERMANENT  
AND VARIABLE MAGNETIC FIELDS

An analogue of semi-industrial facility for the separation of finely dispersed raw iron ore has been created. Using the created facility, magnetic separation of raw iron ore samples from the tailing dump of Valyavko «Severnaya» mine concentrator has been carried out. The samples have been separated after transformation of hematite to magnetite using

carbon monoxide. It has been shown by X-ray diffraction method that the initial transformed ore was mainly represented by magnetite and quartz, and the concentrate – by magnetite. Reflexes on the diffractogram of tailings obtained by magnetic separation have shown that the tailings mainly consist of quartz. The iron content in iron-ore concentrate was 69.5 w/w%.

*Keywords:* magnetite, hematite, structure transformation, magnetic separation, and finely-dispersed iron raw material.

*A.N. Ponomarenko<sup>1</sup>, A.B. Brik<sup>1</sup>,  
N.A. Dudchenko<sup>1</sup>, V.D. Evtekhov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії  
і рудооброблення ім. Н.П. Семененко НАН України,  
пр. Академіка Палладина, 34, Київ, 03680, Україна,  
тел. +380 44 424 0105, факс +380 44 424 1270,  
abrik@voliacable.com, nataliadudchenko@hotmail.com  
<sup>2</sup> ГВУЗ «Криворізький національний університет»  
МОН України, ул. XXII партсъезда, 11, Кривой Рог,  
Днепропетровская обл., 50027, Украина,  
тел. +380 56 409 0606, факс +380 56 74 5257

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЕПАРАЦИИ  
ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО  
СЫРЬЯ ПРИ ПОМОЩИ КОМБИНИРОВАННОГО  
ВЛИЯНИЯ ПОСТОЯННЫХ И ПЕРЕМЕННЫХ  
МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Создан аналог полупромышленной установки для сепарации высокодисперсного сырья, с помощью которой проведена магнитная сепарация образцов техногенного железорудного сырья из хвостохранилища обогатительной фабрики шахты «Северная» им. В.А. Валявко. Сепарацию проводили после превращения гематита в магнетит с помощью монооксида углерода. С помощью метода дифракции рентгеновских лучей показано, что исходная превращенная руда была представлена, преимущественно, магнетитом и кварцем, а концентрат – магнетитом. Рефлексы на дифрактограмме хвостов, полученных в результате процессов сепарации, показывают, что они состоят, преимущественно, из кварца. Содержание железа в составе железорудного концентрата составляло 69,5 мас. %.

*Ключевые слова:* магнетит, гематит, преобразование структуры, магнитная сепарация, высокодисперсное железорудное сырье.