

УДК 622.7

**Н.В. КУШНІРУК**, канд. техн. наук

(Україна, Кривий Ріг, Державний ВНЗ "Криворізький національний університет")

## **КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ РОДОВИЩ ПрАТ "ПівнГЗК"**

*Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.* Розробка родовищ ПрАТ "ПівнГЗК", з метою видобутку основного цінного компоненту (магнетиту), ведеться понад п'ятдесят років. За ці роки значну частину видобутої та переробленої сировини, з Першотравневого та Ганнівського родовищ, було заскладовано у відвали та хвостосховища, які можливо розглядати в якості техногенних родовищ.

Вплив даного типу родовищ на екологічний стан району вивчається вченими з різних галузь знань, але висновки їх однакові – подальше нарощування дамб хвостосховищ та відвалів може привести до техногенної катастрофи.

Тому доцільно підприємству розглянути можливість залучати до виробництва вже заскладовану у відвалі та хвостосховища сировину, це знизить ризик виникнення техногенної катастрофи та зменшить негативний вплив на екологічний стан навколишнього середовища району.

Крім основного мінералу (магнетиту) родовища ПрАТ "ПівнГЗК" містять інші корисні мінерали у кількості промислових запасів, тому доцільно направляти сировину поточного видобутку на комплексну технологію переробки з отриманням декількох готових продуктів. Даний напрям зменшить вихід відходів, що необхідно складувати у відвали та хвостосховища.

*Аналіз досліджень і публікацій.* Комплексне використання мінеральної сировини – це задоволення суспільства в потребі в визначних видах природних ресурсів, що засноване на економічному та екологічному використанні усіх їх корисних властивостей. Цей принцип складає основу раціонального використання природних багатств. Суть комплексного використання мінеральної сировини складається в послідовній її переробці в різні цінні продукти з метою найбільш повного використання компонентів, що знаходяться у вихідній сировині.

На даному етапі розвитку техніки та технологій проблема комплексного використання мінеральної сировини розглядається в декількох напрямках:

- комплексне використання сировини поточного видобутку;
- залучення до виробництва відходів виробництва.

Проблемою комплексної переробки мінеральної сировини займалися такі учені як Н.Є. Вовк, А.М. Пісарев, Ф.Н. Белаш, В.С. Харламов, О.В. Пугина, Х.У. Ковальчук, Г.В. Губін, П.І. Пілов, М.М. Гилязетдінов, С.А. Грабльов, П.І. Панкратов, Ф.Г. Татаринів, В.Д. Євтехов, В.І. Мулявко, Т.А. Олійник, І.А. Федорова, результати їх досліджень були перевірені у напівпромислових та промислових умовах.

## **Загальні питання технологій збагачення**

На Криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатах частково залучають сировину до комплексної переробки.

Так на ПрАТ "ІнГЗК" та ПрАТ "ЦГЗК" до виробництва залучають некондиційні магнетитові кварцити які попередньо направляють на суху магнітну сепарацію, що дозволяє підвищити та стабілізувати масову частку цінного компонента у вихідній сировині, а отримані відходи використовувати в якості будівельного щебеню.

Щоб не складувати скальну породу у відвали на ПрАТ "ПівнГЗК" було побудовано дробильно-сортувальний комплекс на борту кар'єра, це дає можливість забезпечити власні потреби в будівельному камені та щебеню різного сорту.

Уперше в Україні була розроблена технологія отримання залізородного концентрату зі вмістом 65% заліза загального з заскладованих у хвостосховище відходів на ПрАТ "ЦГЗК". Дана технологія дозволяє щорічно звільняти до 0,35 млн. м<sup>3</sup> ємності хвостосховища.

У країнах ближнього та дальнього зарубіжжя також практикують комплексно використовувати сировину при видобутку та збагачення залізних руд.

На базі розкривних порід залізородних кар'єрів КМА побудовані цементний і вапняний заводи, завод для виробництва мінеральних пігментів і силікатних виробів, що дозволяє відвантажувати цементним, вапняним заводам та іншим організаціям щорічно більше 5,5 млн м<sup>3</sup> крейди, близько 1,5 млн м<sup>3</sup> піску, близько 1 млн м<sup>3</sup> щебеню і більше 100 тис. м<sup>3</sup> високо глиноземної глини.

На ОГЗК із скельного розкриття впроваджено виробництво щебеню в обсязі 400 тис.м<sup>3</sup> на рік. На комбінаті розроблена і впроваджена промислова технологія одержання дробленої скельної породи крупністю – 400 мм, яка дозволяє отримати її в обсязі до 500 тис. м<sup>3</sup> на рік.

Комплексне використання сировини поточного видобутку в даний час має найбільше поширення на гірничодобувних підприємствах кольорової металургії, в зв'язку з тим, що руди кольорових металів, як правило, є складними і багатоконпонентними. У цих рудах поряд з основними металами містяться численні попутні корисні компоненти. При цьому нерідко цінність супутніх корисних компонентів перевищує цінність основних.

Більшість розвинених країн давно інтенсивно залучають до виробництва техногенні родовища на предмет отримання додаткової продукції. Наприклад, у США ще в минулому столітті частка вторинної сировини у виробництві кольорових металів становила від 25 до 50%. Подібна тенденція використання вторинних ресурсів спостерігається в Канаді, Великобританії, ПАР, Іспанії та інших країнах.

*Постановка завдання.* У роботи були поставлені такі завдання: вивчення речовинного складу сировини; вивчення технологічних властивостей сировини; розробка методики проведення досліджень; обґрунтування оптимальної технології збагачення техногенної сировини ПрАТ "ПівнГЗК".

*Викладення матеріалу та результати.* Дослідження проводилися в лабораторіях ДВНЗ "Криворізький національний університет" та використовувалися

## Загальні питання технологій збагачення

дані раніш проведених досліджень науково-дослідних інститутів та РДІ ПрАТ "ПівніГЗК".

Було обрано два напрямки досліджень: дослідження заскладованих у відвали розкривні породи; дослідження лежалих відходів, що накопичилися за весь період розробки та збагачення магнетитових кварцитів ПрАТ "ПівніГЗК".

Аналіз результатів досліджень показав, що заскладовані розкривні породи Першотравневого та Ганнівського родовищ представлені різноманітними мінералами: гематит, біотит, кварц, магнетит, гранат та інші. Одним з шляхів залучити розкривні породи у процес – є вилучення з них гранату. У промисловості залістий гранат використовується в якості абразивного мінералу.

У відвали гранат потрапляє в складі гранітвміщуючих сланців першого та третього-п'ятого сланцевих горизонтів Ганнівського родовища. Сланці обох горизонтів за петрографічним складом близькі та мають ставроліт-гранат-мусковіт-кварц-куммінгтоніт-біотитовий склад (таблиця) [1, 2].

Мінеральний склад сланцевих горизонтів Ганнівського родовища

Мінерали / Сланцеві горизонти	Кварц	Магнетит, гематит	Гідрогематит	Біотит	Куммінгтоніт	Хлорит	Мусковіт	Карбонати	Гранат	Ставроліт	Інші	Сума
Перший	29,30	0,94	0,02	33,17	9,54	0,46	15,13	0,93	7,87	0,79	1,85	100
Третій-п'ятий	26,93	3,32	0,04	27,03	19,30	0,53	10,01	1,40	8,06	0,92	2,46	100
Шостий	39,86	13,52	0,07	4,43	20,54	0,11	0,00	2,65	0,22	0,00	18,6	100
Сьомий	42,76	14,61	0,04	8,18	18,35	0,22	0,74	2,03	0,61	0,14	12,32	100

Головним для вивчення мінерально-технологічних характеристик, так і для майбутніх досліджень є третій-п'ятий сланцевий горизонт. Його товща залягає безпосередньо під п'ятим залістим горизонтом продуктивної товщі родовища, унаслідок чого вона повністю розкрита у східному борту Ганнівського кар'єру. Третій-п'ятий сланцевий горизонти є могутнішим (середня потужність в межах кар'єру складає 49,8 м) в порівнянні з першим (31,6 м). Цими причинами обумовлений вибір третього-п'ятого сланцевого горизонту як головний об'єкт досліджень.

Гранулометричний склад гранату у середині третього-п'ятого сланцевого горизонту закономірно змінюється від периферії горизонту до його середини, максимальні кристали знаходяться у приконтатних зонах з залістими горизонтами [3].

Необхідно відзначити, що готовий гранатовий концентрат необхідно розділяти на різні класи крупності. Згідно ДЕСТу [4] шліфувальні матеріали діляться залежно від розміру зерен на: шліфзерно, шліфпорошки, мікрошліфпорошки і тонкі мікрошліфпорошки. При цьому масова частка гранату в концентраті повинна перевищувати 93% (у концентратах, що експортуються, – 98%),

## **Загальні питання технологій збагачення**

питома щільність концентрату повинна складати не менше  $3,9 \text{ т/м}^3$ , волога не повинна перевищувати 1%.

Проаналізувавши вимоги до абразивної сировини, було зроблено висновки, що гранат Ганнівського родовища відповідає їм за усіма пунктами.

Була розроблена технологія отримання гранатового концентрату на основі різниці породовміщуючих мінералів в щільності, магнітній сприйнятливості та електропровідності.

У розробленій технології передбачається дроблення початкової сировини в гладковалкової дробарці до крупності 3-0 мм, збагачення в три стадії – пневмо-класифікація, високоградієнтна магнітна сепарація і електростатична сепарація гранату.

Перша стадія збагачення проводиться в пневмокласифікаторі, в якому розділення мінералів відбувається за рахунок різниці в аеродинамічних властивостях. У результаті пневмосепарації початковий матеріал знепилюється і з нього віддаляється клас мінус 0,25 мм, в якому практично не міститься гранат. Окрім цього виходять три гранатвміщуючих фракції, які збагачуються кожна в своєму циклі [5, 6].

Фракція крупністю мінус 3 плюс 1 надходить на високоградієнтну магнітну сепарацію, промпродукт якій прямує на електросепарацію. Фракції 1-0,5 і 0,5-0,25 мм перед високоградієнтною магнітною і електричною сепараціями піддаються контрольному грохоченню, для виділення крупного куммінгтоніта [7]. За даною технологічною схемою збагачення гранатвміщуючих сланців були проведені лабораторні дослідження різного масштабу, які підтвердили раніше одержані результати. Так, при вмісті гранату в початковій сировині 16% були одержані три гранатові концентрати різною крупністю мінус 3 плюс 1, мінус 1 плюс 0,5 і мінус 0,5 плюс 0,25 мм зі вмістом корисного компоненту 98,75, 98,5 і 96,56% відповідно, при виході 8,65, 4,1 і 1,41% цих же концентратів, і хвосту зі вмістом 2,28% при їх виході 85,74%.

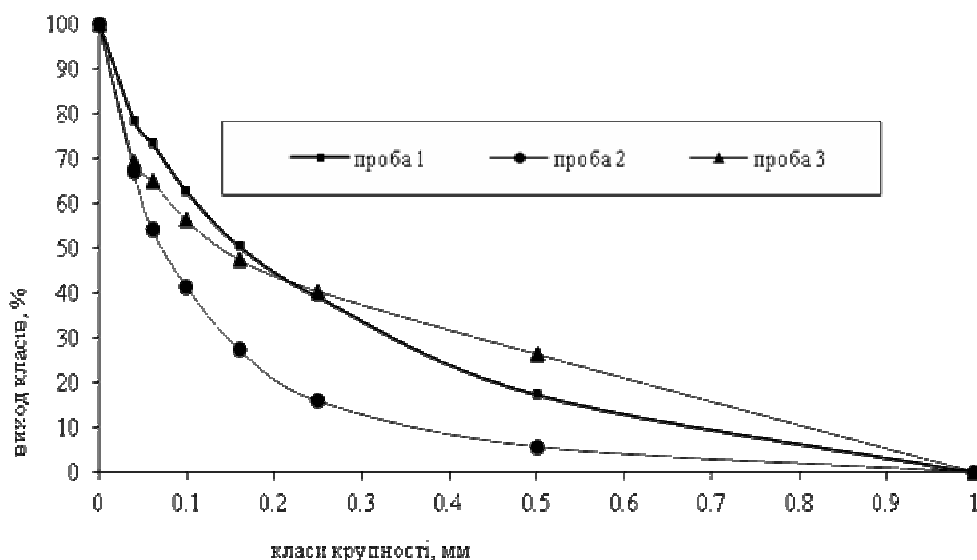
Кристали гранату в концентратах представлені виключно альмандином, що займає проміжне положення в ізоморфному ряду пироп-альмандин з незначним переважанням (10-15%) альмандинової складової. Твердість альмандина концентрату за шкалою Мооса складає від 7,4 до 7,7. Масова частка зерен альмандина в концентраті складає більше 99,2%. Частка вільного кварцу в концентраті складає не більш 0,4-0,6%. Питома щільність концентрату –  $4,3 \text{ кг/м}^3$ . Насипна щільність концентрату – 2,4 г/л. Масова частка вологи концентрату менше 1%.

Крупність зерен альмандина складає від 0,1 до 3,0 мм. Фракція гранатів від 1,2 до 3,0 мм займає 73% від загальної ваги проби, тому готовий концентрат доподрібнюється до необхідної крупності. Окрім кварцу гранатовий концентрат не містить шкідливих для здоров'я і виробничого устаткування домішок.

Одержані концентрати за вмістом цінного компоненту і шкідливих домішок повністю задовольняють вимоги до якості абразивних матеріалів.

Проводились дослідження з вивчення можливості залучення до виробництва заскладованих у хвостосховища відходів мокрої магнітної сепарації магнетитових кварцитів Ганнівсько та Першотравневого родовищ.

Лежані хвости ПрАТ "ПівніГЗК" представляють собою тонкозернистий матеріал з питомою поверхнею 2000-3000 см<sup>2</sup>/г. Гранулометрична характеристика представлена на рисунку, яка показує, збільшення масової частки дрібних класів в хвостах по лінії випуску пульпи з пульпопроводу проба 1 і 2. По периметру карт відбувається рівномірний розподіл матеріалу по крупності про що свідчить сумарна характеристика проби 3



Гранулометрична характеристика лежаних відходів ПрАТ "ПівніГЗК"

Крупність матеріалу становить  $-0,5$  мм. Класи крупніше 0,16 і дрібніше 0,02 мм бідніші за вмістом заліза, ніж клас  $-0,16+0,02$  мм. Так в класі крупніше 0,16 мм вміст заліза становить 12,2%, у класі дрібніше 0,02 мм 14,2%, а в класі  $-0,16+0,02$  мм – 26,7%. Вміст магнетитового заліза так само в цьому класі найвищий і складає 12,6 % при вмісті його в пробі 7,3%. Аналіз гранулометричного складу показує, що проба являє найбільшу і найбагатшу частину хвостів, яка може бути залучена в переробку і з якої можна отримати значну кількість концентрату.

За мінеральним складом проба представлена магнетитом (6,1%), гематиту + мартитом (7,8%), карбонатами (8,2%), силікатами (27,6%), кварцом (50,3%).

Досліджувана проба піддавалася гравітаційному аналізу у важкій рідині при щільності поділу 4,2; 3,2; 2,7 г/см<sup>3</sup> за класами крупності. Продукти більше 0,071 мм поділялися в стаканчику Петелина, а продукти дрібніше 0,071 мм у центрифугі. У результаті гравітаційного аналізу встановлено, що кондиційний за вмістом заліза (67,3%) концентрат без доподрібнення хвостів можна отрима-

## **Загальні питання технологій збагачення**

---

ти з класу  $-0,06+0,02$  мм у фракції важче  $4,2 \text{ г/см}^3$  вихід такого концентрату від хвостів становить 5,7%. З інших класів в важку фракцію виділяються промпродукти зі вмістом заліза 56-60%. У легку фракцію з усіх класів виділяються хвости з вмістом заліза 3,3-6,7%. Вміст заліза магнетитового в них становить 0,7-1,3%.

Результати вивчення розкриття мінералів за класами і фракціям показують, що навіть кондиційний концентрат з класу  $-0,06+0,02$  мм представлений вільними рудними мінералами тільки на 70%. В інших класах важких фракціях міститься значна кількість зростків і нерудних мінералів. Тому ефективного поділу гравітаційними методами в таких продуктах не відбувається.

Магнітний аналіз проби за класами проводиться на магнітних аналізаторах при напруженості магнітного поля 80-88 кА/м. Класи крупніше 0,16 мм поділялися на роликовому сепараторі сухим методом, класи дрібніше 0,16 мм на трубчастому аналізаторі мокрим методом. Результати магнітного аналізу показують, що кондиційний концентрат із вмістом заліза 67,6% можна також отримати тільки з класу  $-0,06+0,02$  мм при виході його 5,1% від хвостів.

*Висновки та напрямок подальших досліджень.* Результати досліджень дозволили розробити технологію отримання гранатового концентрату з розкривних руд родовищ ПрАТ "ПівнГЗК", також можливість використовувати заскладовані відходи мокрої магнітної сепарації магнетитових кварцитів в якості додаткової сировини. Залучення до виробництва розкривних порід та відходів мокрої магнітної сепарації дозволяє розширити сировинну базу комбінату і покращити екологічний стан району.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку комплексної технології збагачення лежалих хвостів комбінату для отримання максимальної кількості готової продукції та мінімальної кількості вторинних відходів, в основу, якої будуть покладені результати досліджень викладені вище.

### **Список літератури**

1. Евтехов В.Д., Ламрани О., Валеєв О.К. К технологической минералогии гранатсодержащих сланцев Северного района Кривбасса. – Кривой Рог: Криворожский горнорудный институт, 1991. – 19 с.
2. Евтехов В.Д., Ламрин О., Гурин В.А. Минералогия и обогатимость гранатсодержащих сланцев Анновского месторождения Кривбасса // Горный журнал. – 1994. – №5. – С. 11-14.
3. Ковальчук Л.Н., Евтехов В.Д. Минералогическое обоснование процесса подготовки гранатсодержащих сланцев к обогащению // Ведомости Академии горных наук. – 1997. – №4. – С. 49-51.
4. ГОСТ 21445-84(СТСЭВ 4403-83), ГОСТ 23505-79 Материалы и инструменты абразивные. Обработка абразивная: Термины и определения. – М.: Издат стандартов, 1987. – 35с.
5. Мулякко В.И., Олейник Т.А., Кушнирук Н.В. Особенности пневмосепарации гранатсодержащих сланцев // Материалы международной конференции "Форум гірників – 2005". – Днепропетровск: НГУ, 2005. – Т.3. – С. 175-179.
6. Мулякко В.И., Олейник Т.А., Кушнирук Н.В. Отримання гранатового концентрату з використанням пневмосепарації гранатвміщуючих сланців // Новое в технологии, технике и

## **Загальні питання технологій збагачення**

переработке минерального сырья. – Кривой Рог: ОАО НИПИ "Механобрчермет", 2005. – С. 103-110.

7. Олейник Т.А., Кушнирук Н.В. Получение мягких абразивов из техногенного сырья северной части Криворожского железорудного бассейна // Качество минерального сырья. – Кривой Рог: Минерал, 2005. – С. 227-231.

© Кушнирук Н.В., 2016

*Надійшла до редколегії 17.06.2016 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. Т.А. Олійник*