

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук,
Л.В. СКЛЯР, Н.В. КУШНІРУК, кандидати техн. наук,
В.М. КУРИЛО
(Україна, Кривий Ріг, Криворізький національний університет)

ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ АТ «ПІВДГЗК»

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. На протязі останніх 120 років активно здійснюється розробка залізорудних родовищ Криворізького басейну з метою отримання сировини для металургійної промисловості. Для здійснення гірничих робіт комбінатам необхідне земельне відведення, у межах якого розміщуються кар'єри, відвали, хвостосховища. Площі кар'єрів для видобутку залізорудного матеріалу становлять 150-200 га, розмір розкривних порід на 1 т руди складає на залізорудних кар'єрах 10 т/т.

Зважаючи на тривалу експлуатацію родовищ Кривбасу, спосіб розробки та не досконалість технологій збагачення значна частина видобутої з надр сировини складається у відвали та хвостосховища. За різними оцінками у відвалах Кривбасу міститься від 15 до 17 млрд тон розкривних порід, а у хвостосховищах зосереджено від 6 до 8 млрд тон відходів збагачення бідних залізовмісних матеріалів.

Одним з принципових варіантів зниження матеріаломісткості продукції та економії сировинних ресурсів є упровадження безвідходних технологій перероблення. Однак сучасний рівень розвитку техніки та технологій не дозволяє здійснити 100% перероблення видобутої з надр сировини. Тому в наш час процес перероблення сировини розділений на два етапи: на першому етапі зосереджено максимальне вилучення головного компоненту; а на другому – можливість залучення відходів до виробництва, що отримуємо після вилучення головного компоненту та одержати з них товарну продукцію.

З огляду на значущість хвостосховищ, як екологічних і мінерально-сировинних факторів протягом останніх років проводиться їх активне дослідження. Одним із головних напрямків роботи є вивчення можливості використання накопиченої мінеральної сировини з метою зменшення об'єму відходів, що негативно впливають на екологічний стан району.

Аналізуючи перший етап науково-дослідної роботи ми виявили, що для подальшого детального вивчення та пошуку методів щодо можливості комплексного промислового перероблення, повторного застосування та утилізації промислових відходів можна виділити основні техногенні об'єкти, а саме: відвали та хвостосховища.

Дослідницька робота на другому етапі (відповідно до календарного плану) була спрямована на отримання фактичного матеріалу, який є основою для ви-

Загальні питання технологій збагачення

рішення наступних завдань:

- пошук та розробка нових технічних і технологічних рішень по процесах перероблення, можливістю подальшого використання та реалізацію промислових відходів або результатів їх перероблення;
- здійснення оцінки економічної доцільності впровадження запропонованих рішень щодо поводження з промисловими відходами.

Введення результатів роботи дозволить: по-перше, дасть можливість зменшити території які займають хвостосховища, що у свою чергу призведе до зменшення негативного впливу викидів в навколишнє середовище, по-друге, здатність додатково отримати як залізорудний концентрат так і інші товарні продукти для використання у різноманітних галузях народного господарства.

Аналіз досліджень і публікацій. Більша частка відходів гірничо-збагачувальних комбінатів є цінною сировиною з яких можливо отримати як метали, так і будівельні матеріали, добрива, хімічну продукцію та ін. У той же момент під здобич будівельних матеріалів (каменя, глини, облицювального матеріалу) щорічно виділяються величезні земельні площини, а відходи збагачення, що містять велику кількість не довилучених корисних компонентів, накопичуються у відвалах і хвостосховищах або знову відправляються під землю в якості наповнювача для закладки гірських виробок.

Одним з головних факторів є те, що собівартість товарної продукції з промислових відходів, як правило, є нижчою, ніж видобуті за традиційними способами руди родовищ корисних копалин. Застосування промислових відходів мінеральної сировини дає можливість отримувати щорічно прибуток в мільярди доларів.

Залучення в перероблення заскладованих відходів дасть можливість скоротити витрати на пошук нових і розвідку експлуатованих родовищ, а також дасть змогу звільнити займані ними землі і їх рекультивацію, ліквідацію джерел забруднення навколишнього середовища, покращуючи тим самим екологічне становище навколо чинних підприємств.

Аналіз результатів роботи [1, 5] показує, що запаси залізорудних шлаків у хвостосховищах Криворізьких ГЗК оцінюється у 2,5 млрд т., у яких вміст магнітного заліза змінюється в рамках від 3,06 до 7,17%, а загального – від 15,7 до 18,6%.

У Кривому Розі працюють п'ять гірничо-збагачувальних комбінатів за свій період роботи вони на сьогодні накопичили хвости збагачення у хвостосховищах. Загальна кількість відходів складає 1384 млн.м³. Взагалі комбінати Криворіжжя відходи збагачення магнетитових кварцитів складують у шість хвостосховищ, кожне з них має свої особливості у формування пляжу й обраного місця походження [2].

ПрАТ «Центральний ГЗК» перше з підприємств в гірничорудній галузі України, яке залучило до повторного збагачення відходи заскладовані у хвостосховища. У 2001 року на комбінаті була введена в експлуатацію дільниця зі збагачення заскладованих відходів з річним об'ємом приблизно 7 млн тон на

рік зі вмістом масової частки заліза пов'язаного з магнетитом 7,5. Робота комплексу дозволяла звільнити ємності шламосховища, не займаючи при цьому нових площ. На сьогодні роботу дільниці призупинено з причини повного відпрацювання ділянки хвостосховища з підвищеним вмістом цінного компоненту, що виникла при складуванні завдяки гравітаційній диференціації [3].

Розроблена інститутом Механобрчермет технологія дозбагачення відходів передбачала знешламливання і попереднє магнітне збагачення вихідних хвостів на борту шламосховища. Магнітний продукт збагачувався безпосередньо на збагачувальній фабриці за схемою, що включає дві стадії подрібнення і три стадії магнітного збагачення. Технологія дозволила скинути безпосередньо на борту шламосховища близько 30% води і, отже, знизити енерговитрати з перекачування пульпи, а також збільшити термін служби трубопроводів. Отримано 25,1% по виходу концентрату з масовою часткою заліза 66,1%. Вилучення заліза в концентрат складало 59,2%, магнетитового 90,2% [4].

Здійснивши аналіз практик впроваджених нових технологій збагачення техногенної сировини, виявлено, що одним з важливих науково-практичних завдань є вивчення речовинного складу техногенної сировини, характеру зростань рудних і нерудних мінералів, їх топомінералогічні, дослідження сировини на збагачуваність та відповідно до цього проведення магнітного, гравітаційного чи інших аналізів.

Метою даної роботи є розробка рекомендацій, щодо комплексного залучення до виробництва мінеральної сировини, яка накопичена у відвалах і хвостосховищах АТ «ПівДГЗК».

Одним з головних факторів є те, що собівартість товарної продукції з промислових відходів, як правило, є нижчою, ніж видобуті за традиційними способами руди родовищ корисних копалин. Застосування промислових відходів мінеральної сировини дає можливість отримувати щорічно прибуток в мільярди доларів.

Залучення в перероблення заскладованих відходів дасть можливість скоротити витрати на пошук нових і розвідку експлуатованих родовищ, а також дасть змогу звільнити займані ними землі і їх рекультивацію, ліквідацію джерел забруднення навколишнього середовища, покращуючи тим самим екологічне становище навколо чинних підприємств.

Дана робота спрямована на вивчення мінералогічного та хімічного складів хвостів, що накопичуються в результаті діяльності гірничо-збагачувальних комбінатів, при розробці технології отримання будівельних пісків з хвостів, що у свою чергу дозволило б зменшити зайняті площі хвостосховищ, а також зменшити шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Виклад матеріалу і результати. Відібрані проби з пляжу хвостосховища АТ «ПівДГЗК» були направлені на гранулометричний, мінералогічний та хімічний аналізи.

Результати досліджень показали, що проба представлена дрібнозернистим порошком темно-сірого кольору з включеннями уламків вапняку та доломіту

Загальні питання технологій збагачення

розміром 0,5-1 см, на 60% проба складається з кварцу, який представлений переважно тонко-дрібнозернистими уламками кварцитів, окремі зерна кварцу зустрічаються рідко.

Окрім кварцу у кварцитах зустрічаються включення слюди, рудних мінералів, каолініту. Рудні мінерали представлені магнетитом, гематитом, сидеритом. Зустрічаються у пробі одиничні уламки кварц-слюдистих сланців.

З результатів хімічного аналізу та фізико-механічних випробувань відходів збагачення залізних руд слідує: карбонат у пробі представлений уламками доломіту та органогенного вапняку, складеного кальцитом.

За хімічним складом відходи характеризуються пониженим загальним вмістом SiO_2 – 61,16% та незв'язаним SiO_2 – 53,45%, збільшеним вмістом окислів заліза та карбонатів. Останні окисли містяться у невеликій кількості.

Розподіл мінералів за класами крупності представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Розподіл рудного заліза різних форм у хвостохвостосховища

Класи, мм	Вихід, %	Кількість рудних, %							Вміст, Fe, %					
		сульфіди	у вільних		у зростках		у вкрапленнях		у вільних		у зростках		у вкрапленнях	
			маг	гем	маг	гем	маг	гем	маг	гем	маг	гем	маг	гем
-2,5+1,6	2,0	0	од	од	од	0,3	од	0,1	од	од	од	10,5	од	3,5
-1,6+1,0	4,1	0	0	од	од	0,2	0,1	0,1	0	од	од	3,4	1,8	1,7
-1,0+0,6	6,3	0	од	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	од	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
-0,6+0,4	14,4	од	од	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	од	1,4	0,5	1,0	1,0	0,5
-0,4+0,3	17,6	од	од	0,5	0,1	0,4	0,2	0,1	од	2,0	0,4	1,6	0,8	0,4
-0,3+0,2	23,3	0	од	1,6	0,2	0,2	0,2	0,1	од	4,8	0,6	0,6	0,6	0,3
-0,2+0,1	22,0	0	0,4	4,0	од	0,4	0,1	од	1,3	12,7	од	1,3	0,3	од
-0,1+0,071	6,7	0	0,2	2,1	од	од	од	од	2,2	21,9	од	од	од	од
-0,071	3,6	од	0,2	0,9	од	од	од	од	4,0	17,5	од	од	од	од
Разом	100	од	0,8	9,5	0,5	1,8	0,9	0,6	0,6	6,6	0,4	1,3	0,6	0,4

Мінералогічний аналіз хвостів хвостосховища показує, що рудна частину займає 14,1% при вмісті загального заліза 12,6%, гематиту 8,5%. З них 6,6% гематиту знаходиться у вільних зернах у класах крупності мінус 0,3 плюс 0 мм, 1,3% – в зростках і 0,4% – у вкрапленнях. Магнетит більше представлено тонкими, вільними зернами в класах крупності мінус 0,2 плюс 0 мм і становить 0,6%, вкрапленнях в класах мінус 1,6 плюс 0,2 мм – 0,6%, зростках – 0,4%.

Нерудна частина хвостів хвостосховища становить – 85,9% та являє собою кварц – 60,2%, 3,5% – міститься польовий шпат, багато амфіболів, піроксену, також присутня і пуста порода, діабаз, і сланці, що заважає використанню хвостів в якості заповнювачів для бетону без перероблення.

Розробка схеми отримання будівельних матеріалів з лежалих хвостів АТ «ПівдГЗКа» проводилися за різними схемами збагачення:

- з попередньою класифікацією і без класифікації вихідних хвостів;
- з доподрібненням і без доподрібнення крупної і мілкої фракції хвостів до

різної крупності.

Збагачення здійснювалося магнітним методом, а саме використовувалася поліградієнтна сепарація.

Проведено лабораторні випробування зі збагачення хвостів при наступному апаратному оформленні схеми: вихідні хвости з масовою часткою заліза загального 12,6%, в тому числі магнетитового – 1,13%, гематитового – 8,5%, розкласифікували за класам крупності +0,16мм та -0,16мм. Отримані продукти збагачувалися на поліградієнтному сепараторі, де отримали по класу +0,16мм – 15,38% та по класу -0,16мм – 10,66% відвальних хвостів, придатних для будівельних розчинів, бетонів. Магнітні продукти містили 54,32% та 19,64% по виходу, вміст заліза загального становив 8,9% та 36,6%. Далі клас +0,16мм піддавався до подрібненню до крупності 92,4%, 100% класу -0,071мм з багатостадійною схемою перечисток. Клас -0.16мм піддавався магніто-гравітаційній сепарації, що відбувалася в гідроциклоні з магнітною системою. У результаті збагачення отримали залізорудний концентрат 16,92% з вмістом заліза загального 58,5%, хвости 20,02% з вмістом заліза загального 4,7%. Результати збагачення показано на схемі на рис.1.

Отримані дані характеризують поліградієнтну сепарацію, що здійснюється на класифікованих і некласифікованих хвостах, як стабільну операцію з отримання сировини, придатної для будівельних матеріалів.

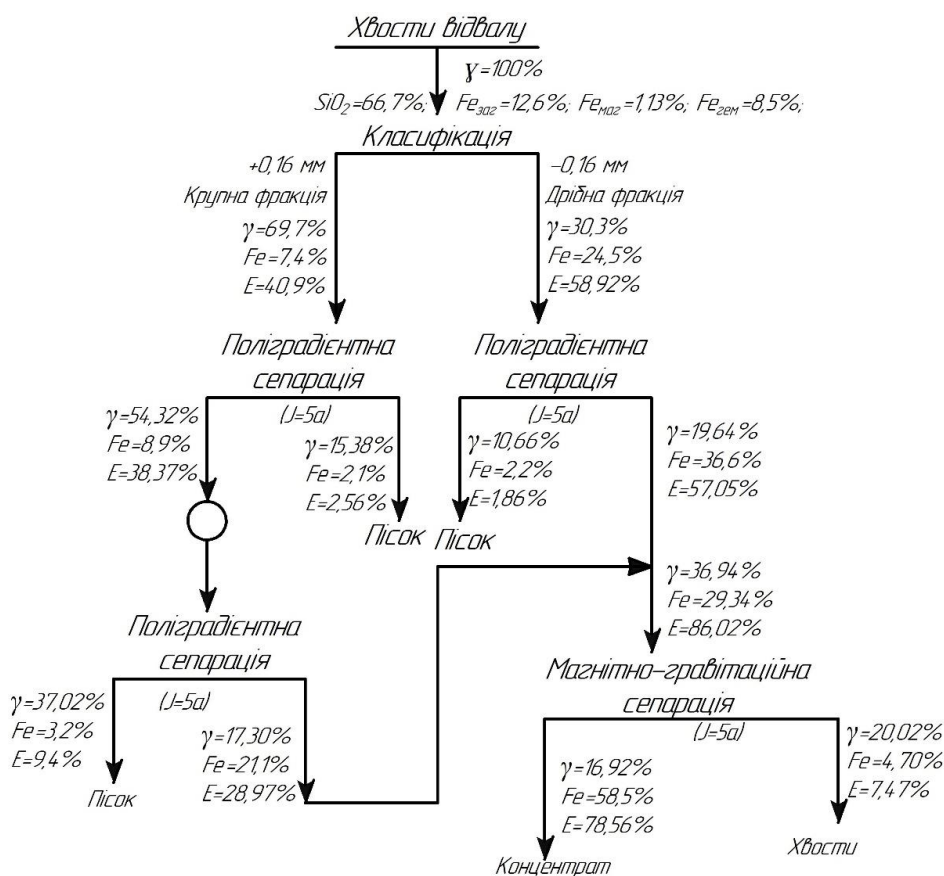


Рис. 1. Рекомендована схема збагачення відходів

Загальні питання технологій збагачення

Поліградієнтна сепарація проводилася на лабораторному сепараторі. Оптимальний режим роботи поліградієнтного сепаратора підбирали на 3-х пробах класифікованих та некласифікованих хвостів фабрики. Змінювалася напруженість магнітного поля шляхом подачі сили струму котушки сепаратора 2 ампера, 5 ампер при різному поліградієнтному середовищі.

Випробування проводилися при наступному поліградієнтному середовищі:

- на дробу діаметром $d = 7\text{мм}$;
- металевій сітці, набраною у вигляді пакета;
- рифлених пластинах.

Дані лабораторних дослідів показують, що найбільш ефективно розділення хвостів класифікованих, так і некласифікованих, відбувається на поліградієнтному сепараторі при заповненні камери поліградієнтним середовищем кульової форми – дробом $d = 7\text{мм}$, незалежно від гранулометричного складу і масової частки заліза у вихідному продукті (рис. 2 та рис.3)

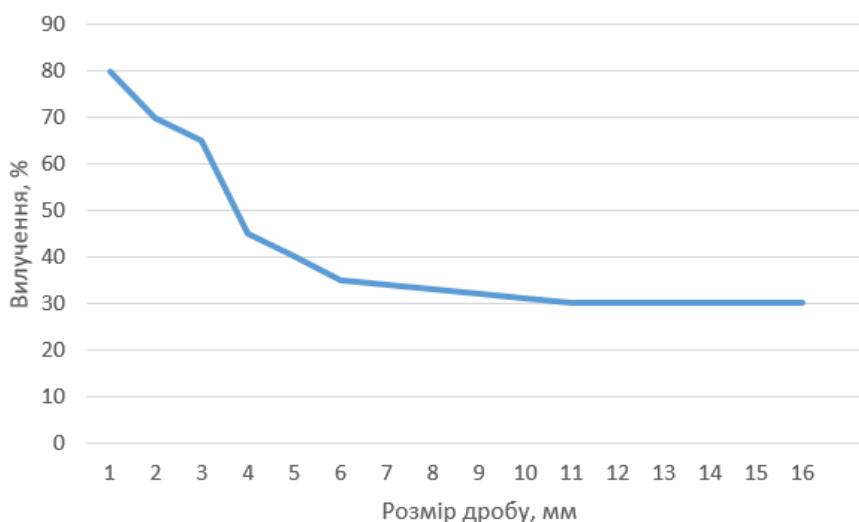


Рис. 2. Залежність вилучення від розміру куль

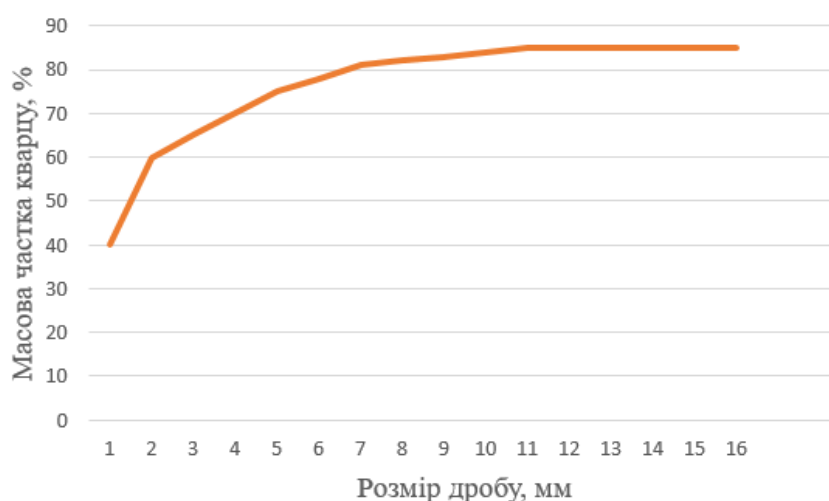


Рис. 3. Залежність виходу масової частки кварцу від розміру куль

З графіків випливає, що оптимальним є діаметр куль 6-8 мм. Зменшення діаметра куль призводить до підвищення отримання немагнітної фракції, але знижує вміст кварцу в ній, а збільшення діаметра куль вище 8 мм, незначно підвищує якість даного продукту і знижує вилучення.

Висновки та напрямки подальших досліджень

Отже, при переробленні магнетитових кварцитів у Кривбасі, за різними оцінками, у відвалах міститься від 10 до 13 млрд. тон розкривних порід, а в хвостосховищах – від 4 до 6 млрд. тон відходів збагачення бідних залізних руд. Запаси залізородних шламів у хвостосховищах Криворізьких ГЗКа оцінюється у 2,5 млрд.т., у яких вміст магнітного заліза змінюється в рамках від 3,06 до 7,17%, а загального – від 15,7 до 18,6%, що є за своїм речовинним складом техногенними родовищами залізомістної сировини.

Встановлено, що більшість гірничо-збагачувальних комбінатів уже вичерпали ємності для складування відходів, що у свою чергу призводить до проблеми утворення нових хвостосховищ, або нарощування діючих.

За результатами мінералогічного аналізу хвостів хвостосховища представлені матеріалом, що на 60% складається з кварцу, та має стати альтернативною сировиною для отримання заповнювача для бетонів.

Випробуваннями визначено, що на поліградієнтній сепарації з хвостів можливо отримати будівельний пісок крупної фракції за виходом 15% зі вмістом заліза 2,1% і 42,1% дрібний кварцовий пісок з низьким вмістом заліза – 2,7%, придатних в перспективі також для будівельних цілей.

Також встановлено, що найбільш ефективно розділення хвостів класифікованих, так і некласифікованих, відбувається на поліградієнтному сепараторі при заповненні камери поліградієнтним середовищем кульової форми – дробом $d = 7\text{мм}$, незалежно від гранулометричного складу і вмісту заліза у вихідному продукті.

Таким чином, заскладовані відходи магнітного збагачення магнетитових кварцитів АТ «ПівдГЗК» можливо розглядати як сировину, для використання у будівельній промисловості, в якості будівельного піску. Залучення до виробництва даного роду сировину призведе до зменшення об'ємів хвостосховищ, зменшить негативний вплив на навколишнє середовище, дозволить отримати додаткову продукцію.

Список літератури

1. Соколова В.П., Учитель А.Д. Переработка шламовых отходов обогащения железной руды // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 66(107). – С. 3-11.
2. Вилкул Ю. Г. Проблемы расширения сырьевой базы и утилизации отходов горно-металлургической промышленности / Ю. Г. Вилкул, А. А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. науч. трудов. – Кривой Рог, 2011. – С. 9-20.
3. Кушнірук Н.В., Нагнибіда І.О. Розробка технології отримання основної та додаткової продукції з техногенної сировини ПАТ «ПівнГЗК» // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 52(93). – С. 154-159.

Загальні питання технологій збагачення

4. Кушнірук Н.В., Мацишина І.О. Розробка технології до збагачення лежалих хвостів хвостосховища ПАТ «Північний ГЗК» // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн.зб. – 2015. – Вип.60(101). – С. 51-56

5. Медведева О.А. Анализ и современное состояние хранилищ продуктов переработки минерального сырья // Збагачення корисних копалин: Науково-технічний збірник наукових праць. – 2012. – Вип. 51(92). – С. 22-29.

© Олійник Т.А., Склад Л.В., Кушнірук Н.В., Курило В.М., 2019

*Надійшла до редколегії 02.09.2019 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*