

## ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Кияшко В.Т.<sup>1</sup>, Салій І.В.<sup>1</sup>, Яковенко Л.О.<sup>1</sup>, Малиновський Ю.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Липківського, 35, 03035, м. Київ  
deahoronapraci@gmail.com;

<sup>2</sup>Криворізький металургійний інститут Національної металургійної академії України  
вул. Степана Тільги, 5, 50006, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.  
kminmetau@gmail.com

Аналізуються питання утилізації відходів гірничозбагачувального виробництва, зокрема залістих кварцитів, некондиційної частини окислених руд високої якості, що відбраковані на дробильно-сортувальних фабриках, шлаків чорної металургії, відходів теплових електростанцій, де використовують кам'яне вугілля газової групи (золошлаків), як пов'язаних виробництв. Проблема переробки відходів актуальна та важлива через велику кількість промислових відходів, що накопичуються на території потужних виробництв. Невід'ємною частиною стійкого економічного та соціального розвитку України є гарантування екологічної безпеки населення. Відходи гірничодобувної галузі та залізорудного виробництва можуть бути використані як сировинні матеріали для металургії. Використання машин, апаратів і технологічних ліній може стати у пригоді в переробці корисних копалин за допомогою селективного підходу і переділу відходів, залишки яких, як наслідок, можуть стати сировиною для виготовлення будівельних матеріалів, а також матеріалів для дорожнього будівництва. Одним із завдань даної наукової роботи є пропозиція щодо шляхів утилізації вторинних ресурсів для отримання різних видів залізорудного концентрату (гоєтит-гематитового та магнетитового для виробництва агломерату, окатишів та брикетів). Для реалізації технології збагачення відходів гірничо-металургійного виробництва пропонується система однотипних модульних блоків, що проєктуються відповідно до мінералогічного та хімічного складу матеріалів, які утилізуються, з використанням сучасного обладнання вітчизняного виробництва з короткими термінами окупності. Незначні габарити блоків технологічних ліній дозволяють розміщувати їх безпосередньо в кар'єрах, відвалах, шахтах. *Ключові слова:* виробництво гірничодобувне, відходи, руди, золошлаки, кварцити, концентрат, метали.

**Perspective directions of utilization of wastes of mining and processing production. Kyiashko V., Saliy I., Yakovenko L., Malynovskiy Yu.**

The issues of waste management of mining and processing industry, in particular ferruginous quartzite, substandard part of high-quality oxidized ores, rejected at crushing and sorting plants, ferrous metallurgy slags, as well as TPP waste, where coal from the gas group (ash and slag) is used, as related industries are analyzed. The problem of waste processing is currently relevant and important given the large amount of industrial waste that accumulates on the territory of powerful industries.

Ensuring the environmental safety of the population is an integral part of sustainable economic and social development of Ukraine. Wastes from the mining and iron ore industries can be used as raw materials for metallurgy. The use of machines, apparatus and technological lines can be useful in the processing of minerals, attracting a selective approach and redistribution of waste, the remains of which, as a result, can become raw materials for the manufacture of building materials, as well as materials for road construction. One of the tasks of this scientific work is to propose ways to utilize secondary resources to obtain various types of iron ore concentrate (goethite-hematite and magnetite for the production of agglomerate, pellets and briquettes). To implement the technology of enrichment of iron ore mining and metallurgical waste, it is proposed to use a system of the same type of modular blocks, designed in accordance with the mineralogical and chemical composition of materials that are disposed of, using modern equipment of domestic production with short payback periods. The small dimensions of the blocks of technological lines allow them to be placed directly in quarries, dumps, and also in mines. *Key words:* ore mining, waste, ores, ash and slag, quartzite, concentrate, metals.

**Постановка проблеми.** Гірничодобувна та металургійна галузі України потерпають від значних труднощів через високі ціни на енергоресурси, значне скорочення ринків збуту, зниження цін на промислову продукцію, брак сучасної техніки, відтік кваліфікованої робочої сили та вплив інших чинників.

Україна володіє значними сировинними ресурсами, адже за кількістю запасів посідає сьоме місце у світі серед 52 країн, у яких ведеться залізорудне виробництво. Обсяги залістих кварцитів становлять 26 млрд тонн, які переважно представлені відносно бідними окисленими кварцитами зі змістом заліза магнітного 18–36% та заліза загального

40–42%. Глибина залягання цих руд становить від 600 до 2500 м.

Окрім гірничозбагачувальних комбінатів, велика кількість відходів накопичується на теплових електростанціях у вигляді золошлаків, а також на підприємствах чорної металургії у вигляді шлаків. Переробка цих промислових відходів вирішує проблему їх утилізації.

**Актуальність дослідження.** Питання поводження з відходами промислового виробництва є нагальною проблемою. У роботі запропоновано вирішення проблеми утилізації вторинних ресурсів шляхом їх переробки.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження зроблено в межах виконання етапу «Аналіз сучасного стану накопичення та утилізації відходів гірничо-металургійними підприємствами Криворізького регіону» НДР «Розроблення екологічно прийнятних технологій поводження з відходами гірничорудної та металургійної промисловості», номер державної реєстрації 0120U101148.

Під час дослідницького пошуку вивчені роботи В.І. Кармазіна [1], який зробив вагомий внесок у розвиток збагачення корисних копалин шляхом застосування магнітних, електричних та спеціальних методів. Перспективи відновлення підземної розробки магнетитових кварцитів в Україні в металургійній та гірничій промисловості у своїх наукових роботах вивчали С.О. Попов, В.М. Сидор, В.М. і В.А. Новик [2]. Переробку шламових відходів збагачення залізної руди досліджували В.П. Соколова й А.Д. Учитель [3].

**Виклад основного матеріалу.** Натепер видобуток залістистих кварцитів здійснюється відкритим способом на глибині до 400–450 м, а експлуатація кар'єрів глибиною понад 500 м економічно невіправдана. Як можливі альтернативні джерела сировинних матеріалів для металургії доцільно розглядати відходи гірничодобувних підприємств, так звані шлами. Шлами являють собою заскладовані дрібнодисперсні частки із вмістом заліза загального 20–25%. Обсяги заскладованих шламів становлять приблизно 6–7 млрд тонн.

До категорії відходів гірничодобувного виробництва належать також окислені залістисті кварцити, які підірвані внаслідок вибуху і частково подрібнені та складовані (вміст заліза в цих рудах становить 25–45% загалом).

Крім того, до відходів належить так звана некондиційна частина окислених руд високої якості, що були відбраковані під час сортування на дробильно-сортувальних фабриках (далі – ДСФ). Вміст заліза в цих рудах становить 52–55%. Зважаючи на високий вміст у них кремнію, сірки або фосфору, їх іноді складають у відвали.

Такі відходи та некондиція по суті є техногенними родовищами залізорудної сировини, які містять до 30 видів різних мінералів, металів та їх сполук і в разі комплексної переробки дозволяють отримувати корисні матеріали для різних галузей промисловості: металургійної (залізорудний концентрат  $Fe > 65\%$ ), цементної, будівельної з відокремленням їх у різні класи за їхнім функціональним призначенням. Відомо, що технологічні процеси на гірничодобувних, переробних, а також на металургійних, переробних підприємствах забезпечуються електроенергією, що генерується на теплових електростанціях (далі – ТЕС), де як джерело палива використовується кам'яне вугілля газової групи. Причому до великих ТЕС з електричною потужністю від 2 400 МВт до 3 600 МВт в Україні належать

10 станцій. На кожній із цих станцій за їх номінального завантаження спалюється від 150 до 250 вагонів вугілля щодоби. Через високу зольність вугілля (до 30% та вище) від 45 до 70 вагонів не спалюються, ці відходи (золошлаки) викидаються у відвал, тобто загалом в Україні за добу викидається у відвал від 30 до 42 тисяч тонн незгорілих твердих часток. На всіх великих ТЕС України за роки їх експлуатації накопичилось приблизно 0,5–0,6 млрд тонн незгорілих залишків, причому щодня кількість золошлаків на відвалах станцій суттєво збільшується. Крім того, значна частина незгорілих залишків (зола-винос) викидається в атмосферу, забруднює її. У золошлаках міститься 10–12% відновленого заліза у вигляді гранул (можуть бути наявні оксиди заліза), до 25% оксиду алюмінію, переважно у вигляді корунду (глиноземиста складова частина), до 60% оксиду кремнію, сполуки кальцію, магнію, натрію, калію, сполуки благородних і рідкоземельних металів та інших цінних промпродуктів. Крім того, у золошлаках залишаються рештки незгорілого вугілля у вигляді коксу та напівкоксу (10–15%).

Експлуатація ТЕС призводить до виникнення двох значних проблем:

- накопичення значної кількості неліквідних відходів;
- використання застарілої технології спалювання палива, за якої відбуваються значне нагрівання баластних речовин, викид дрібнодисперсних речовин в атмосферу та видалення твердих залишків на золовідвал.

Щодо шлаків чорної металургії, то щорічний вихід їх становить 80 млн тонн, з них на відвальні доменні шлаки припадає до 15 млн тонн. Відвальні шлаки містять значну частку залістистих сполук у вигляді чистого металу й оксидів. Натепер шлак частково переробляється шляхом механічного вилучення значних обсягів металу (у кількості 5–8% за масою). Залишки металу зосереджуються в частинах розміром менше 50 мм (в основному 10 мм і менше), тому без застосування спеціальної технології переробки їх неможливо відділити із загальної маси відходів. Кількість металу й оксидів заліза у шламів може досягати 20–25% та більше. Наявні обсяги виробництва чавуну та сталі, вироблених лише на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (далі – АМКР), а також наявність значної кількості шлаку на відвалах, що накопичились за роки експлуатації металургійного комбінату, дає змогу залучити щороку в обсяги переробки до 3 млн тонн шлаків відвальних і до 4,5 млн т/рік шлаків доменного виробництва.

Для кожного виду сировинних відходів (шлаки, шлами, некондиційні руди тощо) необхідно виконати техніко-економічне обґрунтування одержання залістистих та інших продуктів, добування яких є економічно вигідним і може бути застосовано в суміжних галузях промисловості.

Однак під час утилізації вторинних ресурсів виникає низка проблем. Залізородні матеріали, що знаходяться у некондиційних рудах, представлені у формі слабомагнітних окисів і часто розташовуються на значних глибинах. Тому економічна ефективність їх видобування зі використання технологій переробки, упроваджених у 1960–1970-і рр. минулого століття, не дозволяє вирішити важливе технічне й екологічне завдання щодо ефективного комплексного використання техногенних відходів гірничо-металургійної та енергетичної галузей.

Важливо відзначити, що гірничо-збагачувальний комбінат окислювальних руд (КГЗКОР), який створювався для збагачення окислених руд, на тепер є незавершеним об'єктом, технологія переробки руди, закладена у проєкті підприємства, уже застаріла.

Якщо б ця технологія була б частково впроваджена на гірничозбагачувальних комбінатах (ГЗК), що працюють, то ефективність цих підприємств могла б бути значно підвищена. Водночас технологія В.І. Кармазіна [1] з переробки окислених кварцитів має вузьку спрямованість та створена лише для отримання гематитового концентрату у великих обсягах. Тому сучасний стан економіки потребує комплексного підходу для максимального використання корисних копалин у різних сферах діяльності.

Науковими дослідженнями в гірничодобувній галузі пропонується використовувати машини, апарати і технологічні лінії, за допомогою яких можна здійснювати комплексний, а іноді й *селективний* підхід до переробки корисних копалин. Наприклад, під час розробки складів, відвалів і уступів із некондиційною продукцією на деяких етапах її переробки в переділ доцільно включати перетищення озалізненних талькомагнезитів.

Під час використання відходів ТЕС спочатку необхідно відділити із золошлаків феромагнітну та горючу фракції, а потім залишок використовувати як сировину для цементних заводів, виготовлення будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві або для подальшої переробки. Також можна принципово скоротити кількість золошлаків, які потрапляють на відвал. Для цього пропонується вилучати з вугілля, призначеного для використання в генерації електроенергії, баластну частину (до 25–30% за вагою вихідної сировини).

Технологію переробки бокситів на глинозем частково можна змінити шляхом вилучення залізої складової частини з руди для зниження витрат хімічних реагентів та електроенергії під час проведення технологічного процесу вилуговування глинозему з бокситів. У такому разі суттєво знизиться навантаження на шламонакопичувач та доквілля.

Для промислової переробки відходів і некондиційної сировини можна використовувати невеликі мобільні апарати блокової структури з габаритами приблизно  $3 \times 3 \times 12$  м, що працюють за сухим способом збагачення без застосування обо-

ротного водопостачання. Збагачувальний апарат або декілька поєднаних в єдиний блок можуть бути встановлені безпосередньо в шахті для переробки гематитових або магнетитових кварцитів крупністю до 100 мм. Таке рішення дозволяє видавати через ствол шахти не руду, а підготовлений гематитовий або магнетитовий концентрат високої якості та здійснювати селективну виїмку багатих залізних руд. Такі збагачувальні апарати можуть бути встановлені в кар'єрах, відвалах або іншому сховищі техногенної сировини.

Технологічні ланцюжки установок із переробки відходів для різних вихідних матеріалів дещо різняться одна від одної.

Для одержання залізородного концентрату (гематит-гематитового) Fe 66–68% використовується сировина гематитових кварцитів із загальним вмістом заліза 34–48%. Вихід концентрату становить 30–34%, собівартість – 12–14 доларів за тонну, вологість – 6–8%, призначається він для виробництва агломерату, окатишів, брикетів, прямого відновлення заліза.

Для одержання залізородного магнетитового концентрату Fe 66–68% сировиною є магнетитовий кварцит Fe<sub>маг</sub> 34–37%, вихід магнетитового концентрату становить 30–32%, собівартість виготовлення – 12–14 доларів за тонну, вологість – 4–6%. Мінеральний склад – магнетит, домішки гематиту (мартит), призначається для виробництва агломерату, окатишів, брикетів.

Принцип роботи установки полягає в тому, що вихідна руда крупністю до 100 мм проходить стадії дроблення, помелу, сепарації у вихровому потоці. Потік сировини попередньо збагачується у класах 20 мм, а потім окремо у класах 1,0÷+0,07 мм; 0,07÷+0,05 мм; 0,05 мм. Сепарація магнітна, високоградієнтна та гравітаційна (у вузьких класах величини). Готовий концентрат отримують крупністю до 1,0 мм, на виході отримуються хвости.

Можливі такі етапи освоєння технології:

1. Тестове збагачення 10–15 проб сировини, що на тепер не використовується (з вмістом заліза загального понад 20%) на різних об'єктах Криворізького регіону.

2. Проєктування та виготовлення дослідно-промислового модуля виробничою потужністю 5 т/год (від 35 до 50 тис. тонн на рік).

3. Проєктування та виготовлення промислового модуля виробничою потужністю 20 т/год (від 150 до 200 тис. тонн на рік).

4. Створення державних збагачувальних фабрик виробничою потужністю від 7 млн тонн на рік на базі однотипних модульних блоків (від 45 модулів).

Як сировину для комплексної переробки відходів рекомендуємо некондиційні руди, окислені та напів-окислені кварцити, бурі залізнякаи, відходи дробильно-сортувальних фабрик, магнетитові кварцити верхніх горизонтів шахтних полів із різним вмістом заліза загального (Fe > 20%).

Запропонована технологія дозволяє отримувати залізорудний концентрат (Fe 66–68%), доменні частки, очищені від мінералів заліза, щебінь і кварцовий пісок, суху вохру та сурик, сировину для газо-, піно- й асфальтобетону, сировину для виробництва цементу, бетонів, штукатурних і кладкових розчинів та інших матеріалів.

Обладнання для проектування та виготовлення модулів вітчизняне, компактне, екологічне, мобільне, закритого типу, оснащено системою уловлювання й утилізації пилу.

Низька собівартість залізорудного концентрату (доменна частка або брикети) забезпечується завдяки використанню дробильно-розмельного та збагачувального обладнання нового покоління; внутрішньою узгодженістю параметрів дроблення, подрібнення та сепарування; скороченням податкових платежів та податків; скороченням площ землевідведень порід відвалів, хвостосховищ; можливістю застосування відкрито-підземної технології видобутку руди; використанням сучасних методів доставки вихідної сировини та готової продукції з горизонтів добування на поверхню.

Попередні техніко-економічні показники стосовно введення в експлуатацію збагачувального модуля потужністю 5 т/год такі: 1) установочна потужність – 200 кВт; 2) експлуатаційні витрати – 200 тис. доларів/рік; 3) вартість розроблення проекту (ППР) з виготовлення нестандартного та придбання

стандартного обладнання – приблизно 250 000 доларів; 4) продуктивність за концентратом – 14 тис. т/рік; 5) термін окупності – 1 рік.

Для збагачувального модульного блока потужністю 20 т/годину:

- 1) установочна потужність – 760 кВт;
- 2) експлуатаційні витрати на встановлення – 770,0 тис. доларів/рік;
- 3) вартість розроблення проекту (ППР), виготовлення нестандартного та придбання стандартного обладнання – 1,4 млн доларів;
- 4) термін окупності – 10–12 міс.

**Головні висновки.** Наявні технології видобутку, переробки й утилізації продуктів гірничозбагачувального та металургійного виробництв фізично і морально застарілі та потребують докорінної модернізації для забезпечення сучасних темпів стабільного виробництва товарної продукції без значних внесків у розробку, наприклад, родовищ, зменшення витрат на видобуток мінеральної сировини завдяки використанню наявних заскладованих запасів відходів, що водночас зменшує екологічне навантаження на промисловий регіон.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Одержані результати дослідження є певним внеском у вирішення питань поводження із промисловими відходами, що в перспективі сприятиме використанню запропонованих технологій для мінімізації шкідливого впливу на довкілля.

### Література

1. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых : в 2-х кн. Москва : Изд-во Московского университета, 2005. 669 с.
2. Попов С.О., Сидор В.М., Новик В.А. Перспективы восстановления подземной разработки магнетитовых кварцитов в Украине. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. Днепр, 2018. Вып. № 4. С. 45–52.
3. Соколова В.П., Учитель А.Д. Переработка шламовых отходов обогащения железной руды. *Збагачення корисних копалин : науково-технічний збірник*. Дніпро, 2017. № 66. С. 3–11.