

УДК 622.17:504.064.4

## ПЕРЕРОБКА ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ НОВИМИ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИМИ СПОСОБАМИ

Мнухін А.Г., Мнухіна Н.О., Гітуляр А.А.  
Запорізька державна інженерна академія  
пр. Соборний, 226, 69006, м. Запоріжжя  
anatoly.mnukhin@gmail.com  
nastionush@gmail.com

Розглянуті і проаналізовані різні способи переробки породних відвалів вугільних шахт. Вказані основні недоліки застосовуваних у даний час технологій переробки, намічені шляхи оптимізації цих процесів екологічно чистим шляхом. *Ключові слова:* породні відвали, переробка, технологічний процес, способи поліпшення, порода, сепарація магнітна.

**Переработка породных отвалов угольных шахт новыми экологически чистыми способами.** Мнухин А.Г., Мнухин Н.А., Гитуляр А.А. Рассмотрены и проанализированы различные способы переработки породных отвалов угольных шахт. Указаны основные недостатки применяемых в настоящее время технологий переработки, намечены пути оптимизации данных процессов экологически чистым путем. *Ключевые слова:* породные отвалы, переработка, технологический процесс, способы улучшения, порода, сепарация магнитная.

**Processing of dumps of coal mines in new environmentally friendly ways.** Mnukhin A., Mnukhina N., Hituliar A. Various methods of processing rock dumps of coal mines are considered and analyzed. The main shortcomings of the currently applied processing technologies are indicated, and ways of optimizing these processes in an environmentally friendly way are outlined. *Key words:* rock dumps, processing, technological process, improvement methods, rock, magnetic separation.

**Постановка проблеми.** Як відомо, вугільна промисловість, особливо при підземному видобутку вугілля відрізняється значною кількістю залишених незатребуваними аж до останнього часу відходами. Зазначені відходи реалізуються у вигляді насипів не горілої і згорілої породи та характерні для типових шахт вугільних регіонів України. Володіючи значним запасом мінеральної сировини, вони тим не менш займають значну частину корисної для іншої господарської діяльності земної поверхні і, крім того, ще погіршують екологічний стан регіону. Однак, володіючи складовими у зазначеній сировині рідкоземельними елементами, залізної та алюмінієвої рудами цей вид вторинної сировини є зараз вельми привабливим для інвесторів.

**Актуальність дослідження.** У зв'язку з викладеним, у даний час увага промисловості знову звертається до породних відвалів вугільних шахт. Широкий спектр різних хімічних сполук і елементів, що включають германій і рідкоземельні метали, а також глинозем для виробництва бокситів, залізну руду і безпосередньо вугілля при високій доступності, низькій ціні і практично необмежених обсягах вихідної сировини – породи, робить перспективним вказане технічне і сировинне спрямування.

Представлені на розгляд матеріали стосуються технології переробки породних відвалів вугіль-

них шахт і збагачувальних фабрик. Наявність у країні понад 1000 породних відвалів, що являють собою значну екологічну небезпеку, і у той же час є практично необмеженим джерелом непридатної мінеральної сировини, зумовлює актуальність розробки та впровадження технологій їх комплексної переробки.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Наявність значної кількості у породних відвалах цінних складових, робить можливим використання їх зокрема для організації дешевих екологічно чистих виробництв безпосередньо на Україні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивчаючи уважніше вищевказану проблему, мимоволі звертаєш увагу на той факт, що навіть у найбільш розвинених у технічному відношенні країнах, даному питанню, тобто безпосередньо переробки, уваги практично не приділялося. Так, наприклад, у Великобританії боротьба з вугільними відвалами, як безпосередньо з ними самими, так і пожежами, що виникають іноді на них, стосувалося лише озеленення їх стандартними методами.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Таким чином, першими безпосередніми проблемами передбачуваної переробки териконної

сировини, є подрібнення його до досить дрібних фракцій з наступним поділом на перспективні для практичних цілей речовини і компоненти.

**Новизна.** Оскільки, як указувалося раніше, технічні рішення подібних проектів не пропонувалися ні у нашій країні, ні за кордоном, зазначений проект є новим, має безпосередньо всі ознаки інновації.

**Методологічне або загальнонаукове значення.**

У даний час є наукові і технічні передумови для ефективного використання породної маси, накопиченої у відвалах, як сировини для отримання ряду кольорових металів, у т. ч. алюмінію і його сплавів, залізвмісних елементів, германію та рідкоземельних елементів, а також сировини для виробництва будівельних матеріалів і виробів. Причому, запропоновані технології базуються в основному на використанні серійного або, принаймні, апробованого промислового обладнання та застосуванні стандартних технологічних методів і схем переробки.

**Виклад основного матеріалу.** В Україні вже більше ніж 200 років здійснюється видобуток вугілля підземним способом. З огляду на значні обсяги продукції, що видобувається і супутніх їм відходів (породи), ландшафт навколишнього середовища може бути змінений до невпізнання. При цьому істотний вплив на навколишнє середовище надає видача на поверхню саме порід, які виникають при проведенні гірничих виробок, що виражається у занятті земель під відвали, порушення природного ландшафту земної поверхні, забруднення атмосфери твердими і газоподібними домішками, а водойми – шламовими водами.

Освоєння наявних і відкриття нових родовищ традиційно вимагає величезних фінансових вливань і використання сучасних екологічно чистих технологій переробки породних відвалів, якими Україна, так само як і інші країни, не володіє. Піднята з надр і складована на поверхні відвальна порода вже багато років є типовим елементом природного ландшафту України. Вона характеризується підвищенням вмістом важких металів, які значно перевищують кларк і фонові показники для конкретної місцевості, а також показники ГДК.

Фізико-хімічні перетворення у складі відвальної породи, які здебільшого пов'язані з окисненням сульфідних мінералів, призводять до інтенсивного забруднення ґрунтів важкими металами і радіонуклідами, зміни фізико-механічних властивостей ґрунту і кислотно-лужного балансу.

Складована відвальна порода є джерелом газопилового забруднення атмосферного повітря прилеглих територій. Зміст породного пилу у повітрі навіть на відстані, більшій від відведеної ССЗ, перевищує норми ГДК. Особливо гостро ця проблема проявляється при горінні відвалів, у результаті якого в атмосферне повітря виділяється сірчистий ангідрид, оксиди вуглецю і інші шкідливі для навколишнього середовища речовини. Саме рекультивация гірничих

відвалів у даний час вважається найбільш поширеним методом боротьби з їх шкідливим впливом на навколишнє середовище.

Оскільки від відкриття родовища до початку його експлуатації може пройти кілька років, і нові проекти тим самим можуть просто втратити свою рентабельність через зміну зовнішніх умов, наприклад, якщо Китай знову збільшить обсяг експорту рідкоземельних елементів, знизити попит на рідкоземельні метали і, як наслідок, зменшити ціни на них, може і поява альтернативних технологій на світовому ринку. Такі коливання на ринку рідкоземельних металів часто негативно позначаються на ставленні до них потенційних інвесторів.

Проте, у довгостроковій перспективі даний напрямок обіцяє бути досить привабливим, тому багато промислово розвинених країн вже прийняли нову сировинну стратегію, спрямовану на зниження своєї залежності від китайських поставок рідкоземельних металів шляхом зміцнення власної сировинної бази за допомогою переробки породних відвалів вугільних шахт екологічно чистими способами.

Встановлено, що у породі вугільних териконів міститься велика кількість різних елементів, у тому числі кольорових, рідкісних і благородних. Дослідженнями [1] виявлені високі концентрації металів, таких як германій, ртуть, хром, мідь, цезій, свинець, церій – 1,47 ... 30 г / т (в аргілітах), ртуть, хром, торій, свинець, церій, цинк – 1,27 ... 6,5 г/т (в алеволітах), сурма, олово, барій, свинець, мідь, селен – 10 ... 150 г / т (у пісковиках), тобто перевищують їх кларковий зміст.

Зміст германію у земній корі становить 7\*10<sup>-4</sup>% її маси, що більше, ніж зміст, наприклад, срібла, але германій – елемент більш розсіяний у вихідній сировині, тому його складніше отримувати. Виробничі витрати на отримання концентрату германію та його подальше вилучення досить великі за будь-якої технології, а вартість ця – традиційно одна з найвищих для розсіяних металів і зберігається навіть у періоди криз [2].

З сульфідних, цинкових або свинцевих руд, а також з низькоенергетичного вугілля, де германій міститься у межах від тисячних до десятих часток відсотка, послідовно отримують: германієвий концентрат (вміст германію від 5 до 30%), тетрахлорид германію (GeCl<sub>4</sub>), оксид германію (GeO<sub>2</sub>), полі- і монокристали германію.

Майже все світове виробництво германію базується на попутному витягу його з сульфідних, цинкових, свинцево-цинкових і рідше мідно-цинкових руд. При гідрометалургійному способі виробництва цинку германій залишається у залишкових кеках, що виникають у процесі вилуговування цинкових огарків. З нині видобуваних цинкових руд видобуток германію становить 300 т на рік [3].

Для попутного видобутку германію з руд в Україні намагалися використовувати надсмольні

води коксохімічних заводів (вихідний вміст германію у них не більше 3 г/т), тому застосування сировини з породних відвалів із вмістом германію до 55 г/т [4] – вельми перспективно економічно.

Вилучати германій з сировини, що його містить, можна одним з трьох способів. Перший полягає у переводі сировини у розчин з наступним використанням дубового концентрату (танінового комплексу). Однак перевірка цього способу, виконана на коксохімічному заводі, що має багаторічний досвід використання подібної технології стосовно до даного процесу, не дала можливості отримати досить істотне підвищення концентрації германію в оброблюваному продукті.

Другий спосіб, що забезпечує одночасно виділення, крім германію, інших рідкоземельних елементів, – застосування електростатичної сепарації, розробленої українськими фахівцями. Його намагалися реалізувати на спецпідприємстві (Дніпропетровська область). На цьому виробництві витягувалися не менше шести рідкоземельних елементів. Однак найбільш перспективний і простий у реалізації і вартості новий спосіб переробки гірської маси, розроблений у даний час МакНДІ і НПП «Електрогідроліка» на базі нових електропривних технологій. Новий спосіб забезпечує низьку собівартість і екологічну чистоту виділених продуктів, що видобуваються [5]. Для реалізації зазначеного способу створена електрогідролічна дробарка (сепаратор), конструкція якої у даний час оформлена у вигляді патенту. Остаточний вибір технологічного процесу можна здійснити на основі коректного техніко-економічного зіставлення варіантів.

Відомо, що традиційно германій – матеріал для виготовлення лінз і інших специфічних елементів вікон інфрачервоних оптичних систем подвійного призначення, які використовуються для виявлення об'єктів по їх власному випромінюванню у діапазоні 2-16 мкм. Відомо його застосування у системі безпеки при поганій видимості для автомобілів, для пожежних в умовах задимленості тощо. Очікується, що до 2020 р. світовий ринок германієвих лінз для приладів подвійного застосування досягне 700 тис., для чого буде потрібно 1,7 млн заготовок [6].

У промисловості для зазначених цілей зазвичай застосовують залізовідокремлювачі ЖБ 1-40-100 м з напруженістю електромагнітного поля  $H_m = 150 \dots 190$  кА/м, або 1948-2388 Е. Більш потужні залізовідокремлювачі П100 м – П160 м мають відповідно напруженість електромагнітного поля 276-315 кА/м, або 3468-3958 Е. Тому для попереднього відпрацювання методів вилучення рідкоземельних елементів з відходів гірничого виробництва у лабораторії застосовували магнітну сепарацію матеріалів, що містяться у відвалах шахти «Гловайськ», для чого в якості робочого інструменту використовували електромагніт типу М-23 загальнопромислового виконання вантажопідйомністю 5 т (220 В/160А) з електричною обмоткою розмірами, наведеними на рис. 1.

Параметри матеріалу, що підлягає сепарації, подані у таблиці 1.

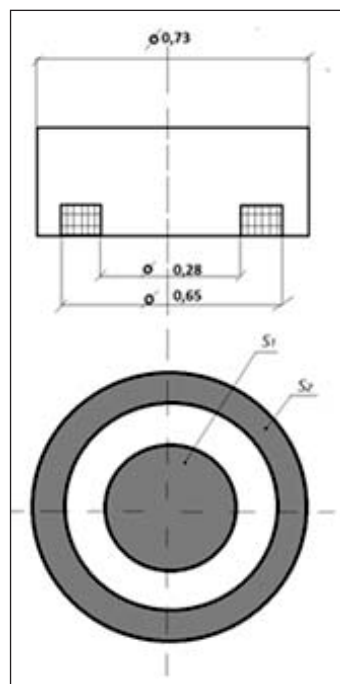


Рис. 1. Схема компоновки електромагніта

Таблиця 1

**Параметри матеріалу, що підлягає сепарації**

Показник	Проба породи			
	1	2	3	4
Масова частка золи, %	72,0	65,0	54,1	72,5
Вихід летючих речовин, %	21,5	18,4	17,1	21,2
Масова частка сірки, %	1,09	0,67	1,75	2,07
Вміст германію, г/т	40,0	20,0	30,0	55,0
Масова частка оксидів у золі, %:				
SiO <sub>2</sub>	47,0	47,0	47,0	47,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,65	20,65	20,65	20,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,9	14,9	14,9	14,9
CaO	3,4	3,4	3,4	3,4
MnO	0,14	0,14	0,14	0,14
MgO	1,45	1,45	1,45	1,45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28	0,28	0,28	0,28
FeO	0,32	0,32	0,32	0,32

При сепарації використовували матеріал з проби 4 з максимальним вмістом германію (виданий з шахти близько 40 років тому). З таблиці випливає, що вихідна сировина містить понад 20% оксидів заліза у різних з'єднаннях. Найбільш просто їх виділяти за допомогою магнітних сепараторів типу ПС160м,

напруженість магнітного поля якого досягає 304,8 кА/м.

З метою практичної перевірки можливостей електромагнітної сепарації вихідну сировину поділяли при напруженості поля 69,3 кА/м. Розміри видобутих шматків досягали 31,4 мм, а маса – 19 г. Одночасно спостерігалось підвищення концентрації германію у вихідному продукті. Таким чином, маючи запас по напруженості поля у 3,9 раза, можна вважати, що у виробництві будь-яких особливих проблем немає [7; 8].

Загальна маса матеріалу, що підлягає сепарації, становила 285 г, з якої було вилучено 41 г залізовмісних, або 14,4%, т. б. всього було вилучено до 68,5% всіх компонентів заліза. Подальший хімічний аналіз показав, що вміст германію у залізовмісних відсепарованих породах склав 5 г/т, інші 50 г залишилися у загальному масиві. У результаті у 14,4% загальної маси залишилося лише 9% германію, або у 85,6% залишився 91% германію [9]. Розрахунок напруженості магнітного поля електромагніту можна виконати наступним чином [10,11]:

$$H = B / (\mu \cdot \mu_0) = B / (\mu \cdot \mu_0) \quad (1)$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,256 \cdot 10^{-3} \text{ с/а}\cdot\text{м}; \quad (2)$$

$$S_1 = \pi \cdot 0,28^2 / 4 = 0,062 \text{ м}^2;$$

$$S_2 = \pi(0,73^2 \cdot 0,65^2) / 4 = 0,087 \text{ м}^2; \quad (3)$$

$$S = 0,1490 \text{ м}^2 = 1490 \text{ см}^2;$$

$$K = B^2 S / (2\mu_0);$$

де  $H$  – напруженість магнітного поля;

$B$  – магнітна індукція;

$\mu$  – відносна магнітна проникність;  
 $S$  – робоча поверхня електромагніта (рис. 1), що дорівнює сумі її складових  $S_1 + S_2$ ;

$K$  – сила притягання електромагніта.

$$B = \sqrt{500 \cdot 2 \cdot 1,256 \cdot 10^{-8} / (10^{-6} \cdot 1490)} = 9181 \text{ тс} = 0,9181 \text{ Тл}; \quad (4)$$

$$H = 0,9181 / (1,256 \cdot 10^{-3} \cdot 1000) = 73097 \frac{\text{а}}{\text{м}} = 918 \text{ Э}. \quad (5)$$

**Висновки.** Рекультивация гірничих відвалів у даний час вважається найбільш поширеним методом боротьби з їх шкідливим впливом на навколишнє середовище. Найбільш перспективний як по простоті реалізації і низькій собівартості, а також екологічній чистоті – новий спосіб переробки гірничої маси, розроблений у даний час в Україні на базі нових електродрильних технологій. При цьому забезпечується як дешевизна, так і екологічна чистота виділених шуканих продуктів. Завдяки застосуванню даних технологій можна досягти розборки породних відвалів під нуль.

Аналіз способів отримання рідкоземельних елементів і, зокрема германію, показує, що відомі технології попутного вилучення цих елементів з допоміжної сировини (надсмольних вод) здебільшого низькоєфективні і малопродуктивні.

Подальший хімічний аналіз показав, що вміст германію у залізовмісних відсепарованих породах склав 5 г/т, інші 50 г залишилися у загальному масиві (низька сумісність сполуки германію залізом). У результаті загальної маси залишилося лише 9% германію, або у 85,6% залишився 91% германію, що вказує на ефективність виконаної сепарації.

### Література

1. Кузьмичев Д.А., Радиевич И.А., Смирнов А.Д. Автоматизация экспериментальных исследований. М.: Наука, 1983. 392 с.
2. Николин В.И., Матлак Е.С. Охрана окружающей среды в горной промышленности. К. – Донецк: Вища шк. Голов. изд-во, 1987. 192 с.
3. Мнухин А.Г. Породные отвалы – сырьё будущего. Уголь Украины. 2009. №5. С. 28–32.
4. Мнухин А.Г., Брюханов А.М., Иорданов И.В., Панишко А.И., Мнухин В.А. Технологии XXI века. Т. 2. Макеевка-Донецк: ВИК, 2012. 224 с.
5. Мнухин А.Г. Комплексная переработка породных отвалов шахт Донецкого региона. URL: <http://www.maknii.makeevka.com/>
6. Мнухин А.Г., Брюханов А.М., Иорданов И.В. Технологии XXI века. Т. II. Новые технологии в горной и других отраслях промышленности. Макеевка–Донецк: ВИК, 2014. 274 с.
7. Лоренс Д. Оптимизация процесса закрытия шахт. Журн. для чистого производства. 2006. № 14. С. 285–298.
8. Меркулов В.А. Охрана природы на угольных шахтах. М.: Недра, 1981. 182 с.
9. Зубова Л.Г. Терриконники угольных шахт – источники сырья для получения галлия, германия, висмута. Уголь Украины. 2004. № 1. С. 41–42.
10. Круг К.А. Основы электротехники. Физические основы электротехники. М.: ГосЭнергИздат, 1936. 858 с.
11. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1974. 944 с.