

УДК 622.17:504.064.4

А.Г. МНУХІН, професор, доктор технічних наук  
Н.О. МНУХІНА, доцент, кандидат технічних наук  
А.А. ГІТУЛЯР, аспірант

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОБУВАННЯ ЧОРНИХ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ ШЛЯХОМ ПЕРЕРОБКИ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ

*Запорізька державна інженерна академія*

Розглянуто та проаналізовані різні методи добування чорних і кольорових металів переробкою породних відвалів вугільних шахт. Зазначено головні недоліки технологій переробки, що застосовують на даний час. Намічено шляхи оптимізації перелічених процесів.

Ключові слова: терикон, порода, методи переробки, силумін, магнітна сепарація, поліпшення методів переробки

*Вступ.* Металургійна та гірничодобувна промисловість України є найважливішими галузями її промислового виробництва та, як складові частини паливно-енергетичного комплексу, задовольняють значну частину потреби країни в енергетичному паливі та технологічній сировині. В країні вже більше ніж 200 років здійснюють добування вугілля підземним способом. З огляду на значні обсяги вугілля, що видобувають, та супутні ним відходи (порода) ландшафт навколишнього середовища може бути зміненим до невпізнання. При цьому на навколишнє середовище суттєво впливає видавання на поверхню саме порід, які виникають під час здійснення гірничих виробок, що виражається у занятті земель під відвали, порушення природного ландшафту земної поверхні, забруднення атмосфери твердими та газоподібними домішками, а водойм - шламовими водами.

Відвали складаються з пластів гірських порід і вибракуваного вугілля. За досить значних обсягів такого матеріалу відбувається його висихання, а під впливом кисню й анаеробних бактерій – його окислювання з виділенням теплоти. Якщо зазначена теплота не розсіюється, то відбувається мимовільне займання вугільної маси. Найчастіше такі процеси спостерігають у відвалах конусоподібної форми по досягненні ними висоти 40...50 м. Перелічені процеси відбуваються у декілька етапів:

1. Напротязі перших місяців після відсіпання породи під дією атмосферних опадів починаються процеси хімічного та біохімічного окислення піриту; здійснюється виділення сірководню, прогрівання поверхневого шару гірських порід та збагачення його сіркою.

2.. Утворення вогнищ жевріння. Самонагрівання гірської маси переходить у займання за

впливом самозаймистої пари сірководню та метану біля її поверхні, що, нагріта до температури 260 °С; відбувається збільшення пористості шару біля поверхні за рахунок винесення дрібних фракцій газовими потоками, зміщення фронту горіння углиб скупчення порід у міру відсіпання відвала та проникнення всередину його атмосферного повітря.

3. Псевдофумарольна діяльність. За температури більше ніж 300 °С відбувається розкладання мінеральної частини та вуглефікованої речовини з виділенням монооксиду вуглецю (CO), діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>), азоту (N<sub>2</sub>), оксиду сірки (SO<sub>2</sub>); за температури 480...520 °С – утворення аміаку (NH<sub>3</sub>); за температури 500...550 °С – виділення водню (H<sub>2</sub>) та важких вуглеводнів; за температури 900...1200 °С – утворення сірковуглецю (CS<sub>2</sub>), оксиду-сульфіду вуглецю (COS) та сполуки C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>S.

4. За температури 800...1200 °С породи піддаються термальному метаморфізму (часткове плавлення, випалення та спікання у вигляді брекчіподібних мас); відбувається утворення гематиту, муліту, шпінелі, кристобаліту та ін. Під час руху високотемпературного парогазового потоку до поверхні гірської породи здійснюється його збагачення магнієм, натрієм, алюмінієм, залізом і калієм, а також летючими елементами – сіркою, фтором, хлором і миш'яком. На поверхні відбувається різке зниження температури та тиску з утворенням нашатиру, самородної сірки, реальгару, амоністої селітри та інших мінералів. Як результат сірководневого розкладання порід та взаємодії сірчаної кислоти з карбонатами і силікатами утворюються гіпс, галун, халкантит та ін.

Під час горіння породних відвалів також утворюються екотоксиканти, з яких найбільш токсичними газоподібними речовинами є сірчистий ангідрид, сірководень, монооксид вуглецю та сірка. Зважені часточки розміром менше ніж 1,0 мкм, які виділяються при цьому, містять такі небезпечні речовини як азбест, важкі метали, миш'як.

Потрапляючи до легенів людини, зазначені речовини спричиняють отруєння її організму. У забрудненій атмосфері є присутніми сполуки азоту, сірки, різні метали та радіонукліди. У процесі взаємодії породи з навколишнім середовищем та її самонагрівання відбувається вивітрювання складу деяких її мінералів, їх руйнування, заміщення деяких елементів та утворення нових мінералів, таких як лимоніт, гетит, гідрогетит та ін.

Паралельно з екологічною небезпекою, яку несуть у собі відходи гірничодобувних підприємств, необхідно оцінювати можливість переробки та використання породних відвалів у народному господарстві, зокрема для потреб металургії. Породна маса відвалів шахт може містити від 10 до 46 % вугілля, до 15 % глинозему та до 20 % оксидів кремнію і заліза [1]. За даними ДП «Укргеологія» [2], вміст рідкісноземельних елементів у 1,0 т породи досягає: галію – 100 г, германію – 55 г і скандію – 20 г. Такі елементи доцільно видобувати, починаючи із вмісту їх 10,0 г на тону відвалів. Загальна ж кількість рідкісноземельних елементів у відвалах може складати 230...260 г/т. Існують технології видобування кольорових і благородних металів з шахтних відвалів. Україна, наприклад, має в своєму розпорядженні технологією одержання алюмінієвих сплавів з породних відвалів. У шахтних териконах вміст алюмінію досягає 18...25 %. Окрім того, слід враховувати, що породні відвали містять значну кількість залізної руди. У Макіївському науково-дослідному інституті виконано експерименти щодо практично повного видобування залізної руди з породи методом електромагнітної сепарації. Очевидно, що переробка териконів не тільки поліпшить екологічну ситуацію в цілому, але і дозволить одержувати як вугільний концентрат, так і необхідні у виробництві елементи.

Для всебічного вивчення породних відвалів рекомендується виконувати наступний комплекс робіт:

- збирання матеріалу про історію формування відвалу (передбачається одержання інформації, з якої можна зробити висновок про співвідношення та склад порід, що потрапили до відвалу за весь період його існування; це можуть бути геологічні розрізи гірських виробок, геологічні данні, висновки, які впливають з геологічної документації, та ін.).

- попереднє випробування породних відвалів за заданою схемою (відбирання характерних зразків; підтвердження даних про наявність того чи іншого корисного компонента, виходячи з результатів аналітичних досліджень).

- оцінювання показності розвідувальних виробок та обсягу валових проб (обробка одержаних

даних і складання докладного звіту з описом і характеристикою досліджуваного породного відвалу).

Результати моніторингу твердих відходів шахт повинні бути оформленими у вигляді баз даних з детальною технологічною характеристикою кожного породного відвалу, з геологічним описом складу його порід, оцінкою вмісту корисних компонентів і закономірностей їх розподілу на ділянці обстеження відповідно до даних температурної зйомки. Спираючись на такі дані, можна давати рекомендації про необхідність гасіння і профілактики самозаймання відвалів, можливості їх подальшої переробки та використання, про утилізацію відходів і рекультивації порушених земель. Все це дозволить звільнити значну площу земної поверхні для господарських потреб, одержати сировину для подальшого використання у будівництві, а також поліпшити стан навколишнього середовища у шахтарських селищах.

Кожна тисяча тонн підземного видобутку, як правило, супроводжується видаванням на поверхню 110...150 м<sup>3</sup> породи. Під час збагачення вугілля кожна тисяча тонн пов'язана відповідно зі складуванням 100...120 м<sup>3</sup> породи. Техногенне навантаження на одиницю території у районах видобутку вугілля більше ніж у дев'ять разів перевищує середнє значення на Україні [3]. Можна вважати, що утилізація та використання відвальної породи є одним із напрямків виключення шкідливого впливу териконів на навколишнє середовище та відновлення ландшафтів. Окрім відомих способів використання породи з метою одержання будівельних матеріалів і добрив, нові напрямки утилізації практично ще не розроблено.

Проте відомо, що у відвалах вугільних шахт є багато запасів цілого ряду цінних речовин та їх компонентів, порівнянних за обсягом з відповідними природними родовищами корисних копалин, одержання яких для України буде економічно вигідним, тим більше що на даний час більшість з цих мінеральних ресурсів фактично вже є вичерпаними або важкодоступними у силу різних причин. Тому в найближчому майбутньому всі стратегічні запаси благородних і кольорових металів, а також заліза України, повинні бути переглянутими та скоригованими. Виходячи з викладеного, саме зараз актуально розглядати відходи гірничого виробництва, як альтернативний варіант поповнення природних ресурсів [4-6]. Тому відходи гірничого виробництва мають значну економічну значущість і можуть бути використані як сировина для виробництва різної продукції. З відвальної маси, наприклад, можна одержувати будівельні матеріали та вуглецеві добрива.

Результати обстеження хімічного складу породних відвалів подано у табл. 1 [7].

Таблиця 1 – Хімічний склад породних відвалів

Найменування показників	Порода
Масова частка золи, %	72,00
Вихід летючих речовин, %	21,50
Масова частка сірки, %	1,09
Масова частка оксидів у золі:	
$SiO_2$	47,00
$Fe_2O_3$	20,65
$Al_2O_3$	14,90
$CaO$	3,40
$MgO$	1,45
$FeO$	0,32
$P_2O_5$	0,28
$MnO$	0,14

Шахтна порода може бути використаною як сировина для металургії (наявність заліза та алюмінію), особливо з урахуванням того що у відвалах в прийнятних для використання концентраціях є галій, германій, вісмут (0,002, 0,002, 0,007 % відповідно) [7]. Слід зазначити що тема переробки породних відвалів спливає у статтях і наукових роботах вчених далекого та ближнього зарубіжжя вже не вперше, хоча спроби вирішення такої проблеми робилися і раніше.

Відомо, що за кордоном породні відходи використовують для будівництва доріг, подальшого вилучення вугілля та виготовлення будівельних матеріалів шляхом вторинної переробки, а також для допалювання вугілля, що міститься у териконах, з використанням спеціально сконструйованих топків теплових електростанцій. Але проблема повної переробки породних відвалів у вугільній галузі на сьогоднішній день так і залишається практично нерозв'язаною в усьому світі.

Відомо, що у Великобританії, змінивши дещо форму териконів і покрити їх лісовими насадженнями, намагаються «вписати» їх до відповідного пейзажу, а у Німеччині частину породних відвалів використовують під час бункерування підземних просторів, що звільняються.

Незважаючи на багатомільйонні витрати під час використання зазначених технологій, ефект виходить відносний: через погіршення екології регіону, за рахунок радіоактивних виділень з породи териконів, значної запиленості навколишнього середовища великі площі землі залишаються непридатними для потреб соціальної сфери або сільського господарства.

Вочевидь, що, виходячи з технічних і фінансових міркувань, виробництво щодо переробки

породних відвалів доцільно розгортати виключно на базі шахт, які закривають (потрапляють під реструктуризацію) або збагачувальних фабрик, відвали яких мають всі необхідні сировинні компоненти. При цьому істотно скоротити терміни введення в дію переробного комплексу та витрати на його розробку і споруду дозволяють наступні фактори:

- наявність близько об'єктів переробки залізничних та автомобільних під'їзних шляхів;
- наявність системи електропостачання;
- наявність будівель і споруд промислового та побутового призначення;
- наявність прилеглих шахтних селищ з кваліфікованою робочою силою [8].

Комплексне вирішення проблеми боротьби з териконами потребує їх повної переробки та подальшої утилізації відходів, кількість яких має бути мінімальною. Звичайно можна було б вирішити таку проблему шляхом проектування та будівництва комплексу відповідних збагачувальних фабрик, але це спричинило б за собою значні багатомільйонні витрати, потреба залучення значної кількості територій для розміщення неоднозначних в екологічному аспекті виробництв, а так само призвело б до значного збільшення тривалості проектування та будівництва даних об'єктів [9].

Тому, незважаючи на вище згадані технології, розробляють нові методи, які в перспективі дозволять здійснити повну переробку породних відвалів на абсолютно інші, нові наукомісткі та, як наслідок, на більш ефективній основі.

*Висновки.* В результаті виконання аналізу можливих методів переробки породних відвалів встановлено:

- розглянуті раніше методи мають низку таких недоліків, як висока вартість, переробка не в повному обсязі, тривалий термін проектування та будівництва даного об'єкта, а такло ж лише часткове звільнення площин зайнятих териконами;
- характерними особливостями пропонованих нових технологій є можливість здійснення повної переробки вихідних матеріалів «під основу» з подальшою рекультивацією земель;
- як з технічної, економічної, так і з екологічної точок зору слід створити технологію переробки породних відвалів, що дозволить одержати суттєвий ефект з одночасним більш повним використанням трудових ресурсів регіону та частковим залученням вже наявного механічного та іншого обладнання реєструєваних об'єктів.

### Бібліографічний список

1. **Панов, Б. С.** Техногенні родовища мінеральної і нетрадиційного сировини України і Донбасу [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://refs.co.ua/81935-Tehnogennye\\_mestorozhdeniya\\_mineral\\_nogo\\_i\\_netradicionnogo\\_syrya\\_Ukrainy\\_i\\_Donbassa.html](http://refs.co.ua/81935-Tehnogennye_mestorozhdeniya_mineral_nogo_i_netradicionnogo_syrya_Ukrainy_i_Donbassa.html). – Вибірка 07.04.2017.
2. **Возможности переработки горных отвалов** [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.uaenergy.com.ua>. – Вибірка 10.04.2017.

3. **Николин, В. И.** Охрана окружающей среды в горной промышленности [Текст] / В. И. Николин, Е. С. Матлак. – Киев - Донецк : Вища школа. Головное изд-во, 1987. – 192 с.
4. **Меркулов, В. А.** Охрана природы на угольных шахтах [Текст] / В. А. Меркулов. – М. : Недра, 1981. – 182 с.
5. **Сургай, Н. С.** Рекультивация породных отвалов закрывающихся шахт [Текст] / Н. С. Сургай, В. Н. Буслик // Уголь Украины. – 2000. – № 6. – С. 17-22.
6. **Мнухин, А. Г.** Комплексная переработка породных отвалов шахт Донецкого региона [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.maknii.makeevka.com>. – Выборка 02.12.2016.
7. **Зубова, Л. Г.** Терриконники угольных шахт – источники сырья для получения галлия, германия, висмута [Текст] / Л. Г. Зубова // Уголь Украины. – 2004. – № 1. – С. 41-42.
8. **Lorens, D.** Optimization of process for shutdown of mines [Text] / D. Lorens // Journal for safe production. – 2006. – Vol. 14. – Pp. 285-298.
9. **Мнухин, А. Г.** Технологии XXI века: Том II. Новые технологии в горной и других отраслях промышленности [Текст] / А. Г. Мнухин, А. М. Брюханов, А.Н. Иорданов и др. – Макеевка - Донецк, 2014. – 274 с.

**МНУХИН АНАТОЛІЙ ГРИГОРЬЕВИЧ**, доктор технічних наук, професор кафедри промислової екології та охорони праці, Запорізька державна інженерна академія. (Запоріжжя, Україна). E-mail: [anatoly.mnukhin@gmail.com](mailto:anatoly.mnukhin@gmail.com)

**МНУХІНА НАНА АЛЕКСЕЄВНА**, кандидат технічних наук, доцент кафедри промислової екології та охорони праці, Запорізька державна інженерна академія. (Запоріжжя, Україна). E-mail: [anatoly.mnukhin@gmail.com](mailto:anatoly.mnukhin@gmail.com)

**ГИТУЛЯР АНАСТАСИЯ АНДРЕЕВНА**, аспірант кафедри металургії, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: [nastionush@gmail.com](mailto:nastionush@gmail.com)

### **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ**

Рассмотрены и проанализированы различные методы извлечения черных и цветных металлов при переработке породных отвалов угольных шахт. Указаны основные недостатки технологий переработки, которые применяют в данное время. Намечены пути оптимизации указанных процессов.

Ключевые слова: террикон, порода, методы переработки, силумин, магнитная сепарация, пути улучшения методов переработки

**MNUKHIN ANATOLIY**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Industrial Ecology and Labor Protection, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhia, Ukraine). E-mail: [anatoly.mnukhin@gmail.com](mailto:anatoly.mnukhin@gmail.com)

**MNUKHINA NINA**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Industrial Ecology and Labor Protection, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhia, Ukraine). E-mail: [anatoly.mnukhin@gmail.com](mailto:anatoly.mnukhin@gmail.com)

**GITILYAR ANASTASIA**, Graduate Student of Department of Metallurgy, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhia, Ukraine). E-mail: [nastionush@gmail.com](mailto:nastionush@gmail.com)

### **ANALYSIS OF EXISTENT METHODS FOR OF EXTRACTION OF FERROUS AND COLOURED METALS BY PROCESSING OF PEDIGREE DUMPS**

The different methods of processing for ferrous and coloured metals from waste dumps of coal mines are considered and analysed. The basic lacks of technologies for processing which apply now are indicated. The ways of optimization for the indicated processes are set.

Keywords: waste bank, breed, processing methods, silumin, magnetic separation, ways for improvement of processing methods

Стаття надійшла до редакції 07.04.2017 р.  
Рецензент, проф. Г.О. Колобов

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>