

УДК 622.7 – 553.93

<https://doi.org/10.37101/ftpgp24.01.009>

## СТВОРЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ СПОСОБІВ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

І.І. Чоботько<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

\*Відповідальний автор: e-mail: efilonov79@gmail.com

## CREATING CLASSIFICATION OF WAYS TO USE COAL MINING WASTE

I.I. Chobotko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

\*Corresponding author: e-mail: efilonov79@gmail.com

### ABSTRACT

**Purpose.** To analyze innovative ways of utilizing coal mining waste. To identify the most relevant ways of using waste based on the economic indicators of the cost of using coal mining waste utilization technologies and their impact on the environmental condition of coal mining regions.

**Methods.** In preparing for the research, the following tasks were set: to analyze the problem and assess the main ways of using coal mining waste; to identify the main advantages and disadvantages of using a particular method of using coal mining waste; to identify the most promising ways of using coal mining waste today.

**Findings.** The article provides a critical analysis of scientific papers and Internet resources on innovative ways of using coal mining waste. The advantages and disadvantages of using coal mining waste processing technologies are substantiated.

**Originality.** The interrelation of classifications of methods of utilization of coal mining waste depending on the lithological composition of the waste mass and its physical and mechanical properties is established. The necessity of using coal mining wastes is proved, taking into account the environmental indicator of their impact on the adjacent territories.

**Practical implications.** The data obtained indicate the use of coal mining waste as a valuable raw material for the construction industry and man-made deposits of valuable rare earth elements. The market value of rare earth elements and their practical application in industry are considered. The main areas of use of waste heaps are highlighted – extraction of valuable components and as a source of

valuable raw materials for the construction industry. Attention is focused on the technological, economic and social aspects of the feasibility of industrial development of waste heaps, as well as the main reasons that currently complicate this process.

**Keywords:** coal mining waste, coal mining waste utilization technology, rational use of coal mining waste, assessment of the environmental method of waste processing

## 1. ВСТУП

З моменту повномасштабного військового вторгнення Росії до України відбулося значне послаблення промислового сектору економіки України. Одним з пріоритетних завдань післявоєнної відбудови країни є пошук рішень щодо раціонального використання відходів вуглевидобутку у рамках проєкту управління відходами Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України.

В роботі [1] пропонується рішення щодо дослідження шляхів поповнення вичерпних природних ресурсів шляхом переробки відвалів вуглевидобутку. Ідея полягає в розробці економічно вигідних способів використання відходів вуглевидобутку як техногенного родовища з досить високим рівнем Al, Ga, Ge, Bi та ін., що представляє велику цінність для промисловості.

У більшості розвинених країн вуглевмісні породи практично повністю йдуть на закладку виробленого простору, а на поверхні – на дорожньо-будівельні роботи, виготовлення цегли, труб, кераміки (Німеччина, Франція, Польща, Бельгія). Пневматичний і гідравлічний способи закладання відходів у відпрацьований простір розроблюваних родовищ, які використовують у цих країнах, дають змогу скоротити обсяги порожньої породи, яку виносять, і запобігти осіданню поверхні, розвитку процесів підтоплення після виробки, а також обмеженню конвергенції стін порожнини, що збільшує загальну стійкість гірничого масиву [2].

За класифікацією використання відходи вуглевидобутку поділяють на: енергетичні, використання в якості будматеріалу, закладний матеріал у вироблений простір шахт, техногенне родовище.

Промислове використання відходів вуглевидобутку розпочалося у 1921–1932 рр. Вперше в ці роки розпочалося використання горілих порід відходів вуглевидобутку з додаванням до них невеликої кількості вапна й портландцементу, були отримані бетони, котрі використовувалися для виготовлення стінового каменю. Пізніше подрібнені горілі породи стали застосовувати як наповнювачі під час виробництва кам'яних та оздоблювальних робіт. В Україні широко відомо використання горілої породи відходів вуглевидобутку у компаніях ТОВ «БУДІВЕЛЬНА КОРПОРАЦІЯ ЛЬВІВБУД» та ТОВ «ВОЛИНЬ-БУД».

До енергетичних відносяться використання термічної енергії відходів вуглевидобутку в процесі внутрішнього горіння на потреби шахти або прилеглих громад; в якості закладного матеріалу у вироблений простір шахти використовують рідко, оскільки зазвичай цей шлях вважається найбільш трудомістким, і його вартість перевищує вартість вуглевидобутку; окремо слід виділити

використання відходів вуглевидобутку в якості техногенного родовища, в багатьох випадках вміст корисних елементів у вигляді рідкоземельних металів з одного породного відвалу у відношенні грн/т може перевищувати по собівартості річний видобуток корисних копалин підземним способом.

## **2. ЦІЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Проаналізувати підходи щодо використання відходів вуглевидобутку, як цінного джерела корисних копалин та матеріалу для застосування у будівельній промисловості. Визначити раціональні рішення використання відходів вуглевидобутку.

## **3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

При підготовці до проведення досліджень ставилися наступні завдання: проаналізувати проблему і дати оцінку основним способам використання відходів вуглевидобутку; встановити основні переваги та недоліки застосування того чи іншого способу використання відходів вуглевидобутку; виділити найбільш перспективні способи використання відходів вуглевидобутку у наш час.

## **4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

На рисунку 1 зображено систематизовані підходи раціонального використання відходів вуглевидобутку, які описані у наукових джерелах. Проте зробивши аналіз наукових статей, монографій, інтернет-джерел мною встановлено, що на сьогодні не існує єдиного підходу щодо способів використання відходів вуглевидобутку. Були спроби 2000–2012 рр. створити озеленення відходів вуглевидобутку але вони не набули подальшого розвитку у зв'язку з браком фінансування.

За даними роботи [3] у світовій практиці можна виділити три напрямки розв'язання проблеми використання відходів вуглевидобутку: повернення відвалів назад у шахти, цей шлях вважається найбільш трудомістким, і його вартість перевищує вартість вуглевидобутку; озеленення поверхні териконів, цей шлях допомагає лише скоротити санітарну зону біля териконів; утилізація териконів, цей напрямок найбільш перспективний у вирішенні нашої проблеми. Ціна утилізації терикону залежить від того, який матеріал видобувається в процесі переробки відвалу.

Одним із перспективних напрямків утилізації є використання відходів вугільного видобутку в будівельній галузі. Також відходи вуглевидобутку є складами різних хімічних елементів таких як:

– германій – може використовуватися у виробництві пластмаси, в металургії та електротехнічній промисловості, в медицині, оптиці та геліоенергетиці. Скло і лінзи можуть застосовуватися в приладах нічного бачення і у військових системах наведення. Вартість германію, витягнутого з терикону, перевищує 1 тис. дол./кг;

– скандій – м'який матеріал, який легко піддається обробці. Може бути використаний в авіаційній і космічній промисловості, автопромі і навіть у зубному протезуванні. Додатки скандію в сплави чавуну і сталі підвищують їхню цінність. Вартість скандію коливається від 42 до 45 тис. дол./кг;

– галій – метал, який використовується у виробництві клейких і мастильних матеріалів, у конструюванні окремих видів лазерів і термоелементів для сонячних батарей. Вважається, що потреба світу в галії перевищує його видобуток. Вартість галію коливається від 1,3 до 1,5 тис. дол./кг.

Перераховані способи вирішення проблеми відходів вуглевидобутку не нові й широко використовуються в різних країнах світу. Цією проблематикою займаються фахівці таких країн, як:

- Японія (при переробці териконів відбувається вилучення рідкісних матеріалів);
- США (відновлені землі пускають під лісонасадження);
- країни Центральної та Східної Європи (здійснюють сільськогосподарське освоєння рекультивованих земель);
- Великобританія (рекультивовані землі передаються, головним чином, для рекреаційного освоєння, промислового і цивільного будівництва, рідше – для сільського господарства).

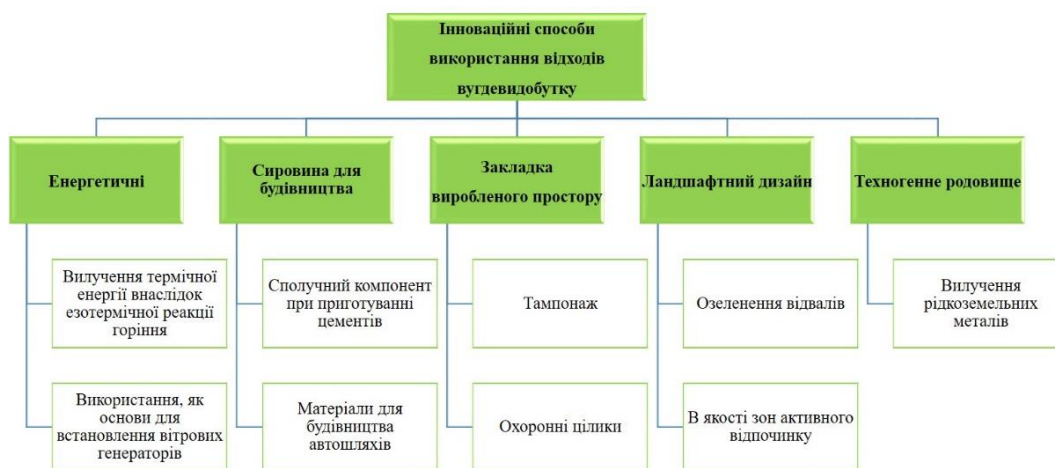


Рисунок. 1. Схема використання відходів вуглевидобутку

Табаченко Н.Н. [4] пропонує проводити ліквідацію шахтних породних відвалів шляхом їхньої газифікації, рисунок 2. Для цього масив гірських порід у відвалах просочується горючими відходами нафтохімічного виробництва. Утворена теплота відхідних газів одночасно утилізуються тепловими насосами для теплопостачання і вітроелектричними установками для виробництва електричної енергії, потім зі складу породного відвалу отримують різні хімічні продукти методом купчастого вилуговування. Опис рисунку: 1 – кускова маса вугільно-породного відвалу; 2 – теплогенеруюча обсадна труба; 3 – горизонтальна нагнітаюча труба (свердловина); 4 – газоповітряна горілка; 5 – герметизуючий покров терикону; 6 – вертикальна труба (свердловина) для

насичення породного відвалу рідкими продуктами й відводу газу; 7 – перемикач; 8 – відводна газова труба; 9 – газопровід; 10 – газоочистна установка; 11 – підживлена труба дуття; 12 – гідроізоляційний шар; 13 – зона газифікації (вогневий вибій).

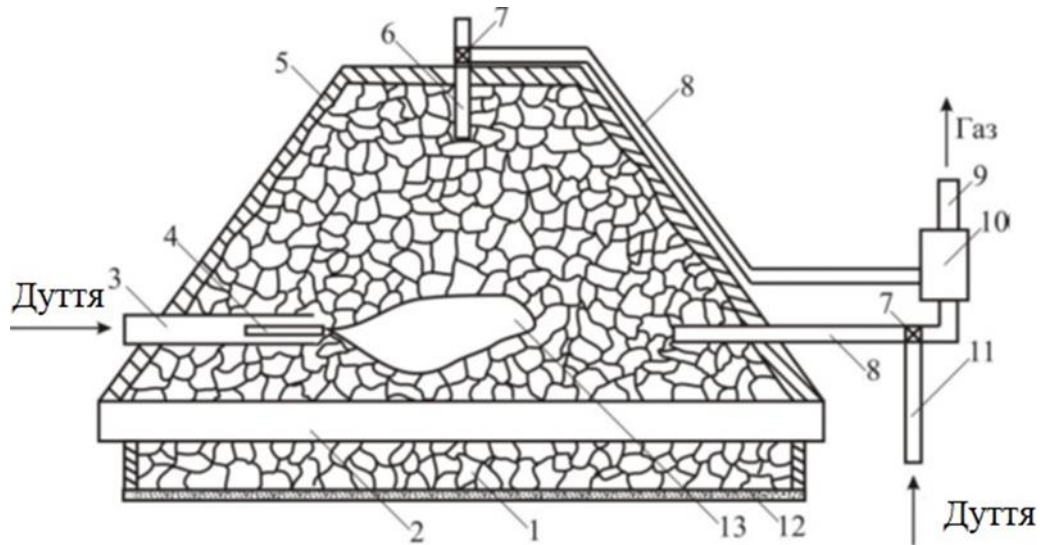


Рисунок 2. Технологічна схема газифікації шахтного терикону [4]

З переваг вищезазначеного способу газифікації слід виділити інноваційний підхід та високий ККД роботи технологічної схеми. Однак є і недоліки, які пов'язані з подальшою утилізацією відпрацьованого відвалу: недостатньо обґрунтована взаємодія речовин каталізаторів для вилуговування корисних елементів з відвалу, необхідність проведення технологічних робіт з розборки відпрацьованого відвалу після його експлуатації.

В роботі Саїка П. [5] пропонується дослідження способів та розробка технологічної схеми вилучення теплової енергії з породних вугільних відвалів. Розглянуто ряд доступних шляхів використання джерел скидного тепла гірничодобувних підприємств, а саме: вихідного вентиляційного потоку, шахтних вод та інших породних відходів породних відвалів. Запропоновано технологічну схему утилізації теплоти породного відвалу з використанням теплових насосів, які є складовими сегментами теплонасосної геосистеми на основі свердловинної підземної газифікації вугілля, рисунок 3. До системи входить: 1 – відвал, 2 – обсадна труба, 3 – сипкий заповнювач, 4 – елементи теплообмінної системи, 5, 10 – циркуляційні насоси, 6 – випарник, 7 – компресор, 8 – дросельна засувка, 9 – конденсатор, 11 – трубопроводи теплопостачання, 12 – споживач теплоти.

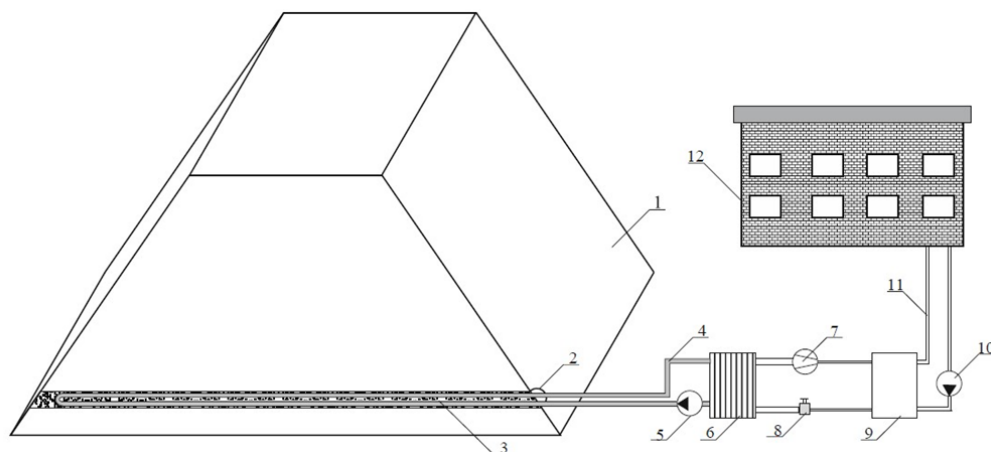


Рисунок 3. Технологічна схема утилізації тепла породних відходів [5]

Зазначена робота має практичну значимість та дозволяє використовувати теплову енергію відвалу для потреб споживачів. Проте існує й інша сторона медалі у вигляді недоліків, а саме вплив відвалу на навколишнє середовище за рахунок його незахищеності від впливу навколишнього середовища. Якщо в попередній роботі автори детально описали заходи з мінімізації контакту відвалу з середовищем, то в цій роботі цього апріорі нема, що одразу ставить цей спосіб екологічно небезпечним.

В таблиці 1 проведено аналіз наукових робіт, з яких виділено основні способи використання відходів вуглевидобутку, виділено недоліки та переваги від використання способів, область раціонального застосування в промисловості.

Таблиця 1. Аналіз способів застосування використання відходів вуглевидобутку

Спосіб використання відходів вуглевидобутку	Загальна характеристика	Переваги та недоліки	Область застосування
Використання теплової енергії [4, 5, 13]	Використання теплової енергії внаслідок екзотермічного горіння відходів вуглевидобутку за допомогою спеціального обладнання (трубопроводи, парогенератори, газогенератори, насоси)	До переваг слід віднести незначні затрати використання технології. Недоліки: не враховується екологічні аспекти використання технології; не враховано економічну доцільність використання обладнання	Нетрадиційні джерела енергії

<p>Диверсифікація [14]</p>	<p>Запропонований підхід щодо диверсифікації технологій поводження з породними відвалами сприятиме ухваленню ефективних управлінських рішень на діючих і ліквідованих вугледобувних підприємствах</p>	<p>Переваги: запропоновано широкий набір інструментів для використання породних відвалів. Недоліки: не враховано економічну складову використання запропонованих інструментів використання відходів вуглевидобутку</p>	<p>Прийняття ефективних управлінських рішень щодо раціонального використання відходів вуглевидобутку на діючих та ліквідованих шахтах</p>
<p>Використання, як сировини техногенного походження [15]</p>	<p>Раціональне використання відходів для повторної переробки на основі широкого застосування новітніх технологій. Розглянуто широкий спектр застосування відходів в якості будівельної сировини, техногенного родовища, нетрадиційного джерела енергії</p>	<p>Переваги: приведено широкий спектр способів використання відходів вуглевидобутку в залежності від літологічного складу відвальної маси. Недоліки: не обґрунтована економічна ефективність застосування того чи іншого способу</p>	<p>Використання, як нетрадиційних джерел енергії; інертні заповнювачі; важкі та легкі бетони; будівельних та тампонажних розчинів, що володіють корозійною стійкістю і гідроізоляційною здатністю; дорожнє будівництво; закладки виробничих просторів шахт і кар'єрів та облаштування порушених рельєфів місцевості</p>
<p>Вилучення рідкоземельних металів [9, 10, 16]</p>	<p>Запропоновано технологію вилучення рідкоземельних металів на основі аналізу закордонних аналогів</p>	<p>Переваги: обґрунтовано доцільність вилучення рідкоземельних металів їх ринкова вартість; поліпшення екологічного стану вуглевидобувних регіонів; вивільнення корисних площ земель</p>	<p>Використання як техногенного родовища; вилучені рідкоземельні метали є стратегічної сировиною для економіки України</p>

		<p>під забудову та створення рекреаційних паркових зон.</p> <p>Недоліки: запропонована технологія носить теоретичний характер; немає практичного застосування; неможливість фінансування державою у зв'язку з недостатнім розумінням застосованої технології</p>	
<p>Матеріал для закладання виробленого простору [6, 7]</p>	<p>Використання відходів вуглеводобутку, як цінної сировини техногенного походження для закладки виробленого простору. Розробка управлінських рішень щодо застосування відходів вуглеводобутку як цінної мінерально-сировинної бази.</p>	<p>Переваги: безвідходне виробництво; вивільнення корисних площ земель; підтримка виробок від просідання покрівлі; раціональне використання відходів вуглеводобутку.</p> <p>Недоліки: у деяких випадках вартість робіт по закладці виробленого простору при застосуванні відходів вуглеводобутку може перевищувати комплекс робіт по складуванню та утриманню відходів вуглеводобутку на земній поверхні</p>	<p>Використання відходів вуглеводобутку як матеріалу для закладки виробленого простору виробки в залежності від фізико-механічних властивостей відвальної маси</p>



Автор [6] висвітлює проблему недостатній увазі держави до проблеми поводження з відходами вуглевидобутку: наявність на поверхні відвалів у вигляді відходів збагачення, і як наслідок, потрібно використовувати площі земель придатні до сільськогосподарської діяльності; взаємодія відходів виробництва з навколишнім середовищем, що призводить до погіршення якості повітря та мінералізації стічних вод; деформування денної поверхні, що призводить до просідання будівель, інфраструктурних об'єктів, а також порушення водоносних горизонтів [7]. Вирішення наведених проблем полягає у застосуванні технологій закладки виробленого простору твердіючими сумішами на основі застосування відходів гірничого виробництва, а також продуктами переробки.

Дещо інший підхід пропонується в інтернет-статті [8] одним із прогресивних методів утилізації таких відходів є брикетування – процес переробки вугільних дрібних часток в кускове паливо. Метод дозволяє отримати паливний продукт, що характеризується високою тепловіддачею, зниженою кількістю викидів в атмосферу під час згоряння, простотою транспортування і зберігання. Такі брикети можна використовувати для потреб металургійної, хімічної промисловості, як сировину для електростанцій, а також для побутових потреб населення.

Самим найбільш дієвим з економічної точки зору способом використання відходів вуглевидобутку є використання їх як техногенного родовища. За даними [9] з териконів можна витягувати алюміній, германій, скандій, галій, ітрій і навіть цирконій. Згідно з наведеними даними ДП «Укргеологія» вміст рідкісноземельних елементів у породі відходів вуглевидобутку становить: германій – 55 г, скандій – 20 г, галій – 100 г. Загальна ж кількість рідкісноземельних елементів у відвалах оцінюється приблизно в 230–260 г/т. В таблиці 2 наведено вартість найбільш поширених рідкоземельних елементів, які містяться у відходах вуглевидобутку. Отримана з одного середнього обсягу терикону сировина коштує щонайменше 100 млн. дол.

Технологія вилучення рідкоземельних металів працюватиме таким чином: екскаватор навантажуватиме породу на стрічковий конвеєр, доправлятиме у виробниче приміщення до дробарки і далі – до залізвідділювача (магнітна сепарація). Так, спочатку відокремлюється залізо та його сполуки. Потім – сплав алюмінію з кремнієм. Слідом – германій, скандій та інші рідкісні метали. Відходи, що залишилися (15–20% загальної кількості породи), придатні для виробництва будматеріалів [10–11]. 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 [12].

Таблиця 2. Ринкова вартість вилучених рідкоземельних елементів з відходів вуглевидобутку та їх застосування у промисловості [10]

Рідкоземельний елемент	Вартість, дол./кг	Сфера застосування
Германій	1400	Використовують як каталізатор у металургії та електротехнічній промисловості, медицині, виробництві побутових пластмас. Германієві діоди, наприклад, використовують у виготовленні калькуляторів, напівпровідники – у виробництві телевізорів. В електроніці, крім напівпровідникових діодів, цей метал застосовують для фотоелементів і плівкових опорів. Германій незамінний і в лазерній техніці. Сонячні батареї в супутниках зв'язку будують на германієвих підкладках.
Скандій	42000	Авіаційній та космічній промисловості, автопромі (мотори), криогенній техніці, галогенових лампах. Додатки скандію в сталь і чавун підвищують їхню якість до статусу «Спецметали високої міцності».
Галій	1500	Атомна енергетика, конструювання напівпровідникових лазерів, термоелементів для сонячних батарей. Використовують для холодної пайки керамічних і металевих виробів.
Ітрій	440	Атомна та авіакосмічна промисловість (виготовлення ракет), автомобілебудування.
Цирконій	14	В атомній енергетиці використовують для виготовлення ядерних реакторів. Легування сталей цирконієм підвищує їхні механічні властивості та оброблюваність. Застосовують у виробництві хімічних джерел світла (факели, освітлювальні ракети), а також для створення кісткових, суглобових, зубних протезів і хірургічних інструментів.

Дещо інший варіант використання теплової енергії відходів вуглевидобутку пропонувався в роботі [13]. Усією поверхнею терикону глибиною близько 1,5 м прокладається мережа з полімерних труб діаметром 40 мм із розрахунку 1,5...2 м труби на 1 м<sup>2</sup> поверхні терикона (або відвалу). Трубна система поді-

ляється на ділянки до 100 м. За необхідності ділянки забезпечуються вентилями, що відключають їх від мережі. Мережа має повітровипускні пристрої. Трубами прокачується вода з антифризом, що є проміжним теплоносієм. Для рівномірного розподілу теплоносія мережею необхідно прагнути, по можливості, до однакової протяжності переміщення теплоносія, що надходить у кожну гілку. Температура води знижується в процесі піврічного відкачування до мінус 10...20<sup>0</sup>С. Проміжний теплоносій віддає теплоту камері випаровування теплового насоса, який підтримує потенціал основного теплоносія на рівні 60...65<sup>0</sup>С [14–17].

## 5. ВИСНОВКИ

По-перше своєчасне запровадження ефективних технологій використання та переробки відходів вуглевидобутку на вугледобувних підприємствах дозволить попередити забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод та атмосферного повітря на територіях де розташовані відходи гірничого виробництва.

По-друге використання відходів вуглевидобутку, як техногенних родовищ дозволить вилучати рідкоземельні елементи, що дозволить використовувати їх в промисловості в подальшому в якості стратегічної сировини для економіки України.

По-третє використання відходів вуглевидобутку, як об'єктів альтернативних джерел геотермальної енергії дозволить значно заощадити використання атомної енергетики для потреб населення, які мешкають у вуглевидобувних регіонах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зубова Л.Г., Зубов О.Р., Зубов А.О. (2020). Переробка відвалів вуглевидобутку з метою використання їх у якості сировини для металургії. *Збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні : Законодавство, економіка, технології»*, 8–10 жовтня, м. Івано–Франківськ, 224-249. <http://surl.li/eszup>
2. Зубова Л.Г., Зубов А.Р., Верех–Белоусова К.И., Олейник Н.В. (2012). Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса: монография. СНУ им. В. Даля, 144 с. <http://surl.li/etahm>
3. Хоменко Я.В., Солдатова А.С. (2015). Оценка проблемы терриконов Донбасса. *Економічний вісник Донбасу*, 1(39), 12-19. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/87535>
4. Табаченко Н.Н., Дычковский Р.Е., Фальштынский В.С., Лозинский В.Г. (2011). Современный подход к ликвидации шахтных породных отвалов. *Матеріали II Міжнародної конференції «Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання»*, 201-207. <http://surl.li/eqduy>
5. Saik Pavlo (2017). Study of Methods and Development of Technological Scheme for Heat Removal from Rock Waste Dump. *Advanced Engineering Forum*, (Vol. 25), 128-135. doi:10.4028/www.scientific.net/AEF.25.128

6. Хорольський А.О. (2022). Обґрунтування обсягів робіт із закладки виробленого простору твердіючими сумішами на основі відходів гірничого виробництва. *Національний форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології»*, 24 листопада, 1-5. <http://surl.li/etajf>
7. Хорольський А. О., Грінюв, В.Г. (2020). Оцінка і вибір параметрів при розробці родовищ корисних копалин. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, 22, 118-140. <https://doi.org/10.37101/ftprg22.01.009>
8. Ксенія Оринчак (2023). Шахтні терикононі – вторинний ресурс для відновлення України. *Енергетика. Електронний ресурс* [Режим доступу]: <http://surl.li/epdaq>
9. Украина: утилизация угольных терриконов (2013). *Металл Украины. Электронный ресурс* [Режим доступу]: <http://surl.li/epdbm>
10. Роман Побережнюк (2008). Разборщик терриконов – новая профессия для региона. *Газета 2000. Электронный ресурс* [Режим доступу]: <http://surl.li/epgfi>
11. Чоботько І.І. (2022). Обґрунтування способів та методів усунення самозаймання відходів гірничого виробництва. *Вісті Донецького гірничого інституту*, 1(50), 166-171. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-1-166-171>
12. Мнухін А.Г., Мнухіна Н.О., Гітуляр А.А. (2017). Аналіз методів добування чорних і кольорових металів шляхом переробки породних відвалів. *Металургія*, 1(37), 50-53. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/495>
13. Накорчевский А.И., Недбайло А.Н., Беляева Т.Г. (2007). Извлечение возобновляемой теплоты терриконов. *Промышленная теплотехника*, 7(29), 22-26. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/61315>
14. Колесник В.Е., Федотов В.В, Бучавый Ю.В. (2012). Обобщенный алгоритм диверсификации технологий обращения с породными отвалами угольных шахт. *Науковий вісник НГУ*, 4, 138-142. <http://surl.li/epugr>
15. Кочмар І.М., Карабин В.В. (2021). Екологічна небезпека горіння вугільних териконів та перспективні методи використання відходів вуглевидобутку. *Екологістика. Теорія і практика управління сміттєзвалищами*, 183-197. <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/11280>
16. Мнухін А.Г., Мнухіна Н.А, Гітуляр А.А., Горошко І.П. (2017). К вопросу извлечения редкоземельных металлов из породных отвалов угольных шахт. *Уголь Украины*, 7-8, 64-66. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr\\_2017\\_7-8\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr_2017_7-8_14)
17. Книш І.Б. (2006). Перспективи використання відходів вугільної промисловості Львівщини як нової мінеральної сировини. *Вісник Львівського університету*, 20, 11-23. <http://surl.li/eqdtq>

## REFERENCES

1. Zubova L.H., Zubov O.R., Zubov A.O. (2020). Pererobka vidvaliv vuhlevydobutku z metoiu vykorystannia yikh u yakosti syrovyny dlia metalurhii. *Zbirka materialiv Natsionalnoho forumu «Povodzhennia z vidkhodamy v Ukraini : Zakonodavstvo, ekonomika, tekhnolohii»*, 8–10 zhovtnia, m. Ivano-Frankivsk, 224-249. <http://surl.li/eszup>

2. Zubova L.G., Zubov A.R., Vereh–Belousova K.I., Oleynik N.V. (2012). Poluchenie metallov iz terrikonov ugolnyih shaht Donbassa: monografiya. SNU im. V. Dalya, 144 p. <http://surl.li/etahm>
3. Homenko Ya.V., Soldatova A.C. (2015). Otsenka problemy terrikonov Donbassa. *Ekonomichnyi visnyk Donbasu*, 1 (39), 12-19. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/87535>
4. Tabachenko N.N., Dyichkovskiy R.E., Falshtyinskiy V.S., Lozinskiy V.G. (2011). Sovremennyiy podhod k likvidatsii shahtnyih porodnyih otvalov. *Materialy II Mizhnarodnoi konferentsii «Pidzemni katastrofy: modeli, prohnoz, zapobihannia»*, 201-207. <http://surl.li/eqduy>
5. Saik Pavlo (2017). Study of Methods and Development of Technological Scheme for Heat Removal from Rock Waste Dump. *Advanced Engineering Forum*, (Vol. 25), 128-135. doi:10.4028/www.scientific.net/AEF.25.128
6. Khorolskiy A.O. (2022). Obgruntuvannia obsiahiv robit iz zakladky vyroblenoho prostoru tverdiiuchymy sumishamy na osnovi vidkhodiv hirnychoho vyrobnytstva. *Natsionalnyi forum «Povodzhennia z vidkhodamy v Ukraini: zakonodavstvo, ekonomika, tekhnolohii»*, 24 lystopada, 1-5. <http://surl.li/etajf>
7. Khorolskiy A. O., Hrinov, V.H. (2020). Otsinka i vybir parametriv pry rozrobtsti rodovyshch korisnykh kopalyn. *Fiziko–tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva*, 22, 118-140. <https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.009>
8. Kseniia Orynychak (2023). Shakhtni terykony – vtorynniy resurs dlia vidnovlennia Ukrainy. *Enerhetyka. Elektronnyi resurs* [Rezhym dostupu]: <http://surl.li/epdaq>
9. Ukraina: utilizatsiya ugolnyih terrikonov (2013). *Metall Ukrainyi. Elektronnyi resurs* [Rezhym dostupu]: <http://surl.li/epdbm>
10. Roman Poberezhnyuk (2008). Razborschik terrikonov – novaya professiya dlya regiona. *Gazeta 2000. Elektronnyi resurs* [Rezhym dostupu]: <http://surl.li/epgfi>
11. Chobotko I.I. (2022). Obgruntuvannia sposobiv ta metodiv usunennia samozaimannia vidkhodiv hirnychoho vyrobnytstva. *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu*, 1(50), 166-171. <https://doi.org/10.31474/1999–981X–2022–1–166–171>
12. Mnukhin A.H., Mnukhina N.O., Hituliar A.A. (2017). Analiz metodiv dobuvannia chornykh i kolorovykh metaliv shliakhom pererobky porodnykh vidvaliv. *Metalurhiia*, 1(37), 50-53. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/495>
13. Nakorchevskiy A.I., Nedbaylo A.N., Belyaeva T.G. (2007). Izvlechenie vozobnovlyaemoy teploty terrikonov. *Promyshlennaya teplotehnika*, 7(29), 22-26. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/61315>
14. Kolesnik V.E., Fedotov V.V., Buchavyy Yu.V. (2012). Obobshchennyiy algoritm diversifikatsii tehnologiy obrascheniya s porodnyimi otvalami ugolnyih shaht. *Naukovyi visnyk NHU*, 4, 138-142. <http://surl.li/epygp>
15. Kochmar I.M., Karabyn V.V. (2021). Ekolohichna nebezpeka horinnia vuhilnykh terykoniv ta perspektyvni metody vykorystannia vidkhodiv vuhlevydobutku. *Ekolohistyka. Teoriia i praktyka upravlinnia smittiezvalyshchamy*, 183-197. <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/11280>
16. Mnuhin A.G., Mnuhina N.A., Gitulyar A.A., Goroshko I.P. (2017). K voprosu izvlecheniya redkozemelnykh metallov iz porodnyih otvalov ugolnyih shaht. *Ugol Ukrainyi*, 7-8, 64-66. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr\\_2017\\_7–8\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr_2017_7–8_14)

17. Knysh I.B. (2006). Perspektyvy vykorystannia vidkhodiv vuhilnoi promyslovosti Lvivshchyny yak novoi mineralnoi syrovyny. *Visnyk Lvivskoho universytetu*, 20, 11-123. <http://surl.li/eqdtq>

#### ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Зробити аналіз інноваційних способів використання відходів вуглевидобутку. Виділити найбільш актуальні способи використання відходів на основі економічних показників собівартості використання технологій утилізації відходів вуглевидобутку та їх впливу на екологічний стан вуглевидобувних регіонів.

**Методика.** При підготовці до проведення досліджень ставилися наступні завдання: проаналізувати проблему і дати оцінку основним способам використання відходів вуглевидобутку; встановити основні переваги та недоліки застосування того чи іншого способу використання відходів вуглевидобутку; виділити найбільш перспективні способи використання відходів вуглевидобутку у наш час.

**Результати.** В статті приведено критичний аналіз наукових робіт, інтернет-ресурсів з інноваційних способів використання відходів вуглевидобутку. Обґрунтовано переваги та недоліки при застосуванні технологій переробки відходів вуглевидобутку.

**Наукова новизна.** Встановлено взаємозв'язок класифікацій способів використання відходів вуглевидобутку в залежності від літологічного складу відвальної маси та її фізико-механічних властивостей. Доведена необхідність використання відходів вуглевидобутку з врахуванням екологічного показника їхнього впливу на прилеглі території.

**Практична значимість** одержаних даних свідчить про використання відходів вуглевидобутку в якості цінної сировини для будівельної промисловості та техногенних родовищ з цінними рідкоземельними елементами. Розглянута ринкова вартість рідкоземельних елементів та їх практичне застосування в промисловості. Висвітлено основні напрямки використання породних відвалів – вилучення цінних компонентів і в якості джерела цінної сировини для будівельної промисловості. Акцентовано увагу на технологічні, економічні та соціальні аспекти доцільності промислового освоєння породних відвалів, а також основні причини, що в теперішній час ускладнюють цей процес.

**Ключові слова:** відходи вуглевидобутку, технологія утилізації відходів вуглевидобутку, раціональний спосіб використання відходів вуглевидобутку, оцінка екологічного способу переробки відходів

#### ABOUT AUTHORS

Chobotko Ihor, Leading Engineer of the Department of Coal and Rock Physics, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 15 Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49005, E-mail: efilonov79@gmail.com