

© М.В. Петльований¹, К.С. Сай¹, О.В. Столярська¹¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ПРОБЛЕМИ УТВОРЕННЯ ПУСТИХ ПОРІД ПРИ ВИДОБУВАННІ ВУГІЛЛЯ У ЗАХІДНОМУ ДОНБАСІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА МОЖЛИВІ ШЛЯХИ РОЗВ'ЯЗАННЯ

© M. Petlovanyi¹, K. Sai¹, O. Stoliarska¹¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

PROBLEMS OF WASTE ROCK FORMATION DURING MINING OF WESTERN DONBASS COAL RESERVES: STATE-OF-THE-ART AND SOLUTIONS

Мета. Аналіз та узагальнення проблем накопичення пустих порід та виділення напрямів їх можливого вирішення для поліпшення еколого-економічних умов розробки запасів вугілля у Західному Донбасі.

Методика. Використано комплексний науково-методичний підхід, який полягає у вивченні регіональних звітів щодо стану навколишнього середовища, даних реєстру місць видалення відходів у Дніпропетровській області, особливостей розташування відвалів за даними програми Google Earth та зібраної шахтної інформації. Для вивчення доцільності переробки відвалів було застосовано SWOT-аналіз, а також аналіз існуючих технологій переробки породної маси відвалів, ґрунтуючись на закордонний та вітчизняний досвід.

Результати. Визначено та ідентифіковано 9 породних відвалів, що утворені внаслідок функціонування вугільних шахт у Західному Донбасі, де накопичено майже 130 млн т пустих порід на площі близько 190 га. Зазначено, що рекультивації порушених земель, як основного засобу утилізації порід, недостатньо. На підставі SWOT-аналізу визначено стратегічний напрям переробки – використання породної маси як сировини для будівництва (матеріали та дороги) з супутнім вилученням вугілля, алюмінію і заліза. Систематизовано існуючі технології переробки відвальних шахтних порід. Визначено, що найбільша масштабізація переробки породного відвалу шахт Західного Донбасу може бути досягнена при комбінації механічних і хімічних способів, серед яких пріоритетними є гравітаційні та магнітні методи збагачення, механічне подрібнення й хімічне вилуговування.

Наукова новизна. Визначені механізми поводження з вуглевідходами в умовах вугільних шахт Західного Донбасу для вирішення еколого-економічних проблем, пов'язаних із їх накопиченням.

Практична значимість. Результати досліджень відкривають можливі шляхи розв'язання проблем накопичення пустих шахтних порід у Західному Донбасі, що має екологічний та економічний сенс.

Ключові слова: вугільна шахта, породний відвал, переробка, мінерально-сировинний ресурс, утилізація.

Вступ. Незважаючи на інтенсивний розвиток зеленої енергетики та трендів декарбонізації у провідних країнах світу [1, 2], тепла генерація електричної енергії на основі спалювання вугілля в Україні має суттєве значення, оскільки її питома вага становить 35% [3]. Значення енергетичного вугілля найближчим часом

буде залишатись пріоритетним, оскільки агресія російської федерації у 2022 році суттєво вплинула на енергетичний баланс нашої держави. Кам'яне вугілля є основним енергетичним ресурсом, балансові запаси якого оцінюються в 42,3 млрд т і здатні покрити потреби держави на сотні років вперед [4, 5]. Проте, з позиції впливу на навколишнє середовище, ситуація з видобуванням вугілля сьогодні потребує уваги та розробки механізмів мінімізації його негативного впливу.

Як відомо, підземне видобування вугілля супроводжується істотним негативним впливом на стан природного середовища. З найбільш важливих проблем слід відзначити просідання земної поверхні та заболочування територій [6, 7], накопичення вуглевідходів на земній поверхні [8, 9], забруднення атмосфери рудничними газами [10], забруднення водних об'єктів високомінералізованими шахтними водами [11]. Сьогодні розробка багатьох видів корисних копалин базується на принципах «зеленого видобутку» для мінімізації шкідливого впливу на природу [12-15]. Загально визнаним ефективним способом зменшення негативного впливу саме на геологічне середовище та земну поверхню є закладання виробленого простору шахт [16, 17]. Проте, підземне видобування вугілля в Україні здійснюється без застосування технологій із закладання виробленого простору, що призводить до негативної трансформації навколишнього середовища у вугледобувних регіонах. До зазначених технологій висуваються значні економічні вимоги, адже собівартість видобутку підвищується до 30%, тому вугледобувні компанії при складанні проєктної документації не передбачають використання закладання виробленого простору.

Західний Донбас є основним регіоном постачання енергетичного вугілля в Україні, що видобувається підземним способом [18]. Сьогодні 8 вугільних шахт видобувають енергетичне вугілля, внаслідок чого на денній поверхні накопичено значна кількість вуглевідходів. Щорічно мільйони тон пустої породи від проведення гірничих виробок видається на земну поверхню і складаються у породних відвалах. Проте, окрім цього виходу порід сприяє також високий рівень експлуатаційної зольності видобутого вугілля [19, 20]. Через процеси збагачення високозольного вугілля (40-50%) утворюються також крупнофракційні відходи, які поповнюють породні відвали, а дрібна фракція – хвостосховище.

Однак відомо та доведено низкою досліджень [21, 22], що техногенні відходи, зокрема породні відвали, є джерелом цінних мінерально-сировинних ресурсів, освоєння яких має економічний сенс та можливість отримання додаткової сировини для різних галузей економіки. Промислове освоєння ресурсів породних відвалів сприятиме економічному розвитку Західного Донбасу та інших вугледобувних регіонів України.

Сьогодні актуальним гострим еколого-економічним проблемам, що пов'язані з накопиченням пустих порід при видобуванні вугілля в Західному Донбасі, у наукових працях недостатньо приділяється уваги. Комплексно не проаналізована та не вивчена проблема накопичення відходів, а також не опрацьовано напрями і шляхи її можливого вирішення.

Методичні підходи у дослідженнях. У дослідженні застосовано комплексний науково-методичний підхід для вивчення проблеми накопичення та розробки

механізмів її вивчення у вугледобувному регіоні Західного Донбасу. Вивчалися та узагальнювалися дані реєстру місць видалення відходів у Дніпропетровській області станом на 2021 рік з виділенням породних відвалів Західного Донбасу, особливості розташування відвалів за даними програми Google Earth та загальні характеристики породних відвалів згідно із зібраними шахтними даними. Для вивчення доцільності переробки відвалів в умовах Західного Донбасу було застосовано SWOT-аналіз, який дозволяє у комплексі оцінити сильні та слабкі сторони досліджуваного об'єкту, а також можливості та загрози, що впливають на нього, і прийняти зважене стратегічне рішення. Проведено аналіз існуючих технологій переробки породної маси відвалів, ґрунтуючись на закордонний та вітчизняний досвід, складено їх узагальнену класифікацію за низкою техніко-економічних ознак.

Результати досліджень. Однією із суттєвих проблем підземного видобування вугілля є утворення на земній поверхні породних відвалів, які займають цінні земельні площі та забруднюють довкілля. Окрім цього, гірничі підприємства щорічно сплачують державі екологічний податок за розміщення відходів на земній поверхні. За даними на 2018 рік, коли ще функціонувало 10 вугільних шахт у Західному Донбасі, на земній поверхні утворилось близько 7,3 млн т вуглевідходів. Якщо порівняти обсяг видобутку вугілля 20,0 млн т (при зольності 43,5%) з обсягом утворених вуглевідходів, можна встановити, що з кожної 1 видобутої тони вугілля накопичується 0,285 тон пустих порід на земній поверхні.

Станом на 2021 рік у Західному Донбасі внаслідок підземного видобування вугілля на земній поверхні ідентифікується 9 породних відвалів вугільних шахт ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» – «Ювілейна» (1 шт), «Степова» (2 шт), «Дніпровська» (1 шт), «Західно-Донбаська» (1 шт), «Шашкова» (1 шт, шахта закрита в 2020 році), «Тернівська» (1 шт), «Самарська» (1 шт), «Першотравенська» (1 шт, шахта закрита). На підставі вивчення реєстру вивчення місць видалення відходів по Дніпропетровській області [23, 24], де міститься інформація про параметри місць накопичення, здійснено градацію 9 породних відвалів шахт Західного Донбасу за кількістю накопичених порід та займаною площею (рис. 1), а також за допомогою програми Google Earths ідентифіковано розміщення всіх породних відвалів, загальний вигляд яких наведено на рис. 2. На інших вугільних шахтах, таких як «Героїв Космосу», «Благодатна» (закрита у 2020 році) та «Павлоградська» породні відвали відсутні, оскільки гірська маса з очисних і прохідницьких робіт поєднується в єдиний потік та надходить на збагачувальну фабрику або порожню породу шахт складують на ділянках рекультивациі земель у регіоні. Після збагачення великі фракції поповнюють відвали інших вугільних шахт, а дрібна фракція прямує до хвостосховища. Також пуста порода шахт після видачі на поверхню одразу складається на ділянках рекультивациі (у тому числі випереджаючої) земель у регіоні.

Аналіз рис. 2 показує, що на земній поверхні в регіоні накопичено майже 130 млн т пустих порід, що займають площу близько 190 га. Якщо порівняти зайняту площу 190 га із середньою площею в Україні 1 поля для сільськогосподарських культур 17,9 га, то на місці породних відвалів можна було б створити 11 нових полів.

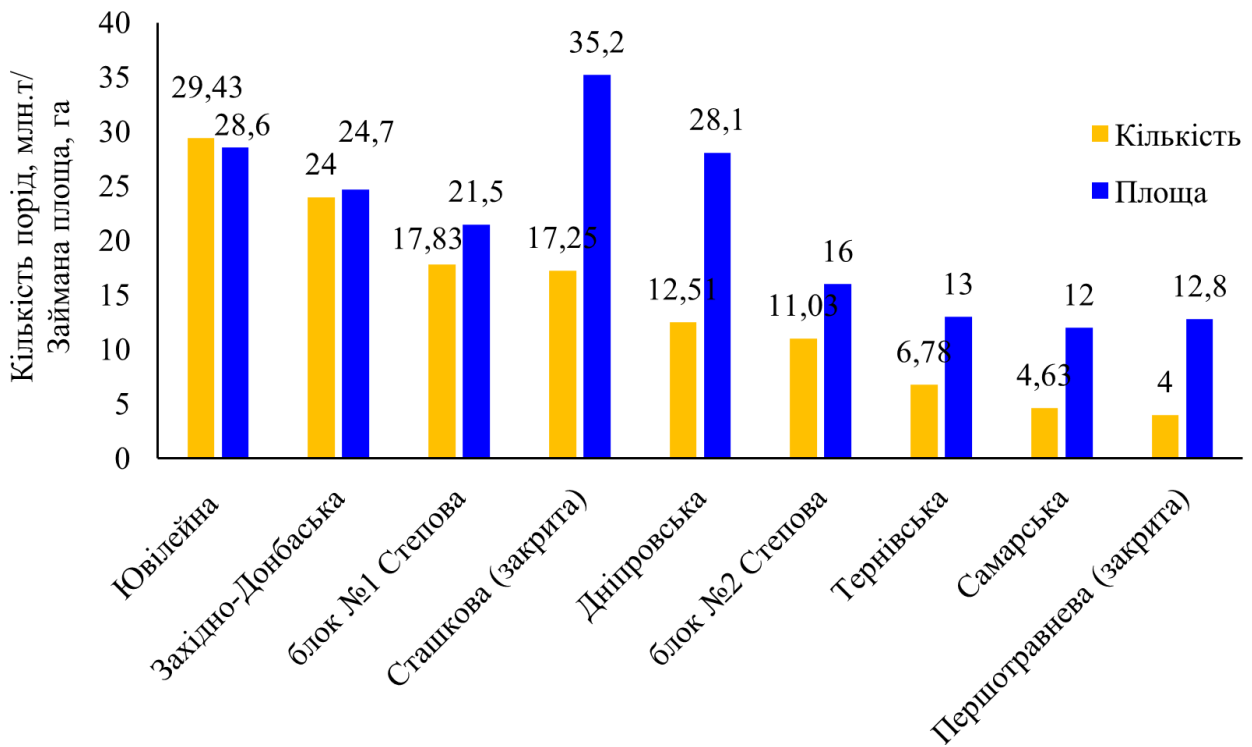


Рис. 1. Розподіл породних відвалів вугільних шахт Західного Донбасу за кількістю порід і площ



Рис. 2. Загальне накопичення шахтних породних відвалів та їх розміщення у Західному Донбасі

Сьогодні щорічний обсяг утилізації порід коливається приблизно в межах 30-40% і складає 2,5-3,0 млн т пустих порід [25]. Основний напрям утилізації – рекультивація порушених гірничими роботами земель пойми річки Самара та на відведеній ділянці випереджаючої рекультивації, де складуються пусті шахтні породи та відходи збагачення. Проте, щорічний обсяг утворення вуглевідходів на шахтах Західного Донбасу перевищує їх рівень утилізації, що призводить до поступового їх накопичення і необхідності розвитку подальших програм.

З огляду на це для попередження накопичення пустих порід на земній поверхні раціональним та ефективним способом є закладання або розміщення й акумуляція пустих шахтних порід у підземному виробленому просторі. Відомі науково-технічні розробки, що спрямовані на зменшення утворення відходів шляхом їх залишення у підземному просторі, поки не знайшли широкого використання з причин складності технологічних процесів або низького рівня утилізації пустих порід [26, 27]. Проте слід зазначити останні нові перспективні технології із залишенням або закладанням пустих порід у виробленому просторі, у тому числі для умов шахт Західного Донбасу, що ґрунтуються на принципі селективного видобування і дозволяють розміщувати від 30 до 90% всіх пустих порід [28]. Але ці технології знаходяться на рівні теоретичних розробок й потребують експериментальних шахтних досліджень та практичної зацікавленості вугледобувними підприємствами.

У випадку залишення пустих порід в шахті може бути досягнуто низка переваг, таких як суттєве зменшення операційних витрат на транспортування пустих порід від вибоїв до місця їх складування, ліквідація необхідності циклу збагачення, зменшення рівня експлуатаційної зольності до рівня пластової, підвищення ринкової вартості вугільної продукції, усунення необхідності екологічної плати за розміщення вуглевідходів на поверхні, вірогідне зменшення осідань поверхні, покращення екологічного стану в регіоні. Але для провадження цих технологічних ідей потрібно змінювати «філософію» вуглевидобутку – якість видобутку повинна переважати кількість видобутку.

Іншою проблемою є ліквідація вже накопичених порід на земній поверхні за весь термін функціонування шахт. Як вже зазначалось, для рекультивації порушених земель використовується лише частина утворюваних порід, тому велими актуальним питанням є утилізація об'єму порід, що складається у відвалах на земній поверхні. Узагальнюючи відомий досвід утилізації поверхневих відвалів порід, можна виділити два основних напрями – закладання виробленого простору з поверхні та переробка породних відвалів з метою отримання цінних мінерально-сировинних ресурсів. Перший спосіб для умов шахт Західного Донбасу є малоімовірним через несприйняття закладання з економічних причин, проте другий спосіб може бути перспективним та досить реальним. Як показує досвід переробки відвалів вугільних шахт, основними напрямками є вилучення цінних компонентів та їх використання як сировини для будівельної галузі.

Породна відвальна маса представлена сумішшю типів порід, що є вміщувачими при розробці вугільних пластів – аргілітами, алевролітами та пісковиками. За даними шахт зазначається, що їх зольність коливається від 85 до 97%, що свідчить про те, що породні відвали містять вугільну фракцію. Аналіз попереднього

хімічного складу шахтних порід відвалів Західного Донбасу показує [29], що їх основними сполуками з усередненим вмістом є SiO_2 – 50-60%, Al_2O_3 – 15- 20%, Fe_2O_3 – 5-8%. Також з низки джерел зазначається, що пусті породи містять деякі концентрації (інколи високі) низки рідких та цінних елементів, таких як германій, скандій, ітрій, галій, проте їх вміст досконало не досліджено, а їх запаси не оцінені повною мірою. Таким чином, можна попередньо констатувати, що доцільно розглядати переробку відвальної маси з метою вилучення вугільного концентрату, оксиду алюмінію, оксиду заліза та вивчити детальний вміст групи рідкоземельних елементів.

Враховуючи значні запаси породної маси доцільно їх розглядати як можливість сировину для будівельної галузі, а саме для виробництва різноманітних будівельних матеріалів – цегли, керамічні вироби, легкі бетони та ін.; та дорожнього будівництва – спорудження земельних полотн доріг і основного дорожнього покриття. Першочерговим кроком для реалізації зазначених напрямів використання породної маси повинен стати відбір експериментальних зразків відвальних шахтних порід та виконання комплексу лабораторних досліджень з оцінки відповідності їх фізико-механічних властивостей вимогам основних нормативів і стандартів будівельної галузі, серед яких є:

– ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0-97) Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт.

– ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови.

– ДСТУ Б В.2.7-74-98 Крупні заповнювачі природні, з відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт.

– ДБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування.

– ДСТУ Б В.2.7-307:2015 Вторинні продукти вугільної промисловості для будівництва автомобільних доріг.

За попередніми прогнозами, перспектива рекультивації порушених земель відвальними шахтними породами в Західному Донбасі оцінюється в 10 років [25], а збереження сьогоденної наявної ситуації призведе до збільшення накопичень порід у відвалах.

З урахуванням попередньої інформації щодо породних відвалів як запасів цінних мінерально-сировинних ресурсів та деяких соціально-економічних аспектів Західного Донбасу регіону було вивчено доцільність їх переробки на основі SWOT-аналізу, який дозволяє у комплексі оцінити сильні та слабкі сторони досліджуваного об'єкту, а також можливості та загрози, що впливають на нього, і прийняти зважене стратегічне рішення. Результати SWOT-аналізу наведено у таблиці 1. На підставі ґрунтовного вивчення результатів аналізу, порівняння сильних та слабких сторін, можливостей та загроз й їх комбінації висунута пропозиція – стратегічний розвиток напрямів переробки породної маси як сировини для будівництва (матеріали та дороги) з супутнім вилученням вугілля, алюмінію та заліза в регіоні. Проте, вилучення рідкоземельних елементів є складним і ризиковим завданням для регіону.

Таблиця 1

**SWOT-аналіз доцільності комплексної переробки
породних відвалів Західного Донбасу**

S-strengths (Сильні сторони)	W-weaknesses (Слабкі сторони)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Значні запаси накопичення породної маси 2. Вміст вугільного концентрату у породній масі 3. Комерційний вміст дефіцитного алюмінію 4. Комерційний вміст заліза 5. Наявність рідкоземельних елементів 6. Наявність транспортних розв'язок біля шахт 7. Наявність комунікацій на пром-майданчику шахт (електроенергія, вода) 8. Близькість відвалів до населених пунктів 9. Розвиток програм дорожнього будівництва у регіоні 10. Порівняна простота технологічних ліній вилучення деяких компонентів 11. Підвищені вимоги Директиви 2008/98/ЄС про відходи 12. Відсутність нових площ під відвали 13. Відсутність у найближчій 10-річній перспективі ділянок для рекультивації 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостатня вивченість ринку збуту корисних ресурсів 2. Відсутність досвіду реальних проєктів переробки відвалів 3. Складність і дороговизна технологій вилучення рідкоземельних елементів 4. Недосконалість законодавчої бази в освоєнні техногенних родовищ 5. Недовіра інвесторів до показників ТЕП проєкту переробки відвалу 6. Відсутність дієвих механізмів підтримки держави 7. Різноманітність умов розташування і властивостей шахтних відвалів 8. Першочергові капітальні витрати на введення технологічних ліній 9. Витрати на попередню геолого-економічну оцінку ресурсного потенціалу
O-opportunities (Можливості)	T-threats (Загрози)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Створення нових робочих місць 2. Отримання прибутку від реалізації ресурсів 3. Повернення цінних земельних площ у користування 4. Зменшення забруднення атмосфери та ґрунтів 5. Висока ринкова вартість рідкоземельних елементів 6. Перспективи отримання пільг від держави 7. Переробка значних обсягів порід як сировини для будівництва 8. Участь у державних програмах розбудови України 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вірогідна конкуренція на ринку збуту 2. Вірогідність підвищення екологічного податку 3. Прихильність галузі дорожнього будівництва до використання традиційних матеріалів 4. Вірогідність невідповідності фізико-механічних властивостей відвальних будівельним нормативам 5. Віддаленість підприємств-імпортерів сировини 6. Погіршення стану денної поверхні і рекультивація нових земель 7. Наявна військова ситуація в країні

Ризик вилучення рідкоземельних елементів полягає в тому, що для проєктування високотехнологічних ліній потрібні суттєві інвестиції та впевненість у достатніх запасах на основі обґрунтованої геолого-економічної оцінки. Першочергові завдання стратегії є наступними:

1. Детальне вивчення хімічного, мінералогічного складу та фізико-механічних властивостей відвальних порід шахт Західного Донбасу.

2. Вибір першочергових інвестиційно привабливих до переробки породних відвалів шахт за комплексом технологічних, економічних та екологічних критеріїв.

Виконано аналіз існуючих технологій переробки відвальних шахтних порід з позиції вилучення цінних компонентів та отримання сировини для дорожнього

будівництва й будівельних матеріалів на основі вивчення передового закордонного та вітчизняного досвіду [30-36]. На основі комплексного аналізу систематизовано існуючі технології переробки породних відвалів (табл. 2).

Таблиця 2

Укрупнена класифікація існуючих способів переробки відвальних порід

Класифікаційна ознака	Характеристика				
	Механічний	Хімічний	Термічний	Біологічний	Комбінований
За способом впливу					
За технологічними операціями	Подрібнення, грохочення, гравітаційне відділення, електромагнітна та магнітна сепарація	Кислотне вилуговування, кучне вилуговування, хімічне окиснення	Спалювання, газифікація, спікання, випалення, висушування	Біологічне вилуговування, біологічне окиснення	Подрібнення, випалення, кислотно-лужна обробка, кислотне вилуговування, біохімічне вилуговування, біохімічне кучне вилуговування
За видом отриманого ресурсу/ сировини	Щебінь, щебнево-піщана суміш, баластний шар, закладний матеріал, тампонажний матеріал, інертний наповнювач, мікронаповнювач, насипний ґрунт, вугільний концентрат, залізо	Алюміній, залізо, германій, галій	Сировина для керамічних виробів, легких бетонів, синтез-газ	Германій, скандій, галій	Пористий заповнювач, Керамічні виробы, алюміній, германій, галій
За капітальними витратами	Незначні	Значні	Середні	Значні	Значні
За основною сферою застосування ресурсів	Будівельні матеріали, будівництво доріг, споруд енергетика	Металургія, електроніка, оборонна та космічна галузі	Будівельні виробы, енергетика, брикетне паливо	Електроніка, оборонна та космічна галузі, медицина	Металургія, будівельна галузь, електроніка
За ринковою вартістю ресурсів	Незначна	Висока	Середня	Висока	Середня
За обсягом переробки	Максимальна	Мінімальна	Мінімальна	Мінімальна	Максимальна

Існуючі технології переробки породних відвалів (табл. 2) систематизовано за низкою класифікаційних ознак, такими як: основний спосіб впливу, тип технологічних операцій (процесів), що застосовуються, отримуваний корисний ресурс, капітальні витрати, повнота переробки, сфера застосування отриманого ресурсу. Це дозволяє розширити уявлення щодо особливостей технологій переробки відвалів шахтних порід саме вугільних шахт.

Детальний аналіз даних таблиці 2 дозволяє визначити, що для реалізації стратегічного розвитку напряму переробки породної маси як сировини для будівництва із супутнім вилученням вугілля, алюмінію й заліза за умов мінімальних

інвестиційних витрат найбільша масштабізація переробки в умовах шахт Західного Донбасу може бути досягнена при комбінації механічних та хімічних способів, серед яких пріоритетними є наступні технологічні операції – гравітаційні та магнітні методи збагачення, механічне подрібнення і хімічне вилуговування.

Таким чином, при науково обґрунтованому підході, реалізуючи висунуті у дослідженні шляхи розв'язання проблем накопичення пустих порід через їх переробку в межах вугільних шахт з'являється можливість створення міні-заводів з виробництва широкого спектру цінних ресурсів для різних галузей економіки регіону, а близькість до розвиненої інфраструктури міст та наявність підводу комплексу комунікацій зумовлюють інвестиційну привабливість таких проєктів.

Висновки.

1. Визначено та ідентифіковано 9 породних відвалів, що утворені внаслідок функціонування вугільних шахт у Західному Донбасі, де накопичено майже 130 млн т пустих порід на площі близько 190 га. При усередненій площі одного поля для сільськогосподарських культур 17,9 га на місці породних відвалів можна було б створити 11 нових полів.

2. Зазначено, що на сьогодні основний способом утилізації відвальних порід (30-40% від утворення) в умовах Західного Донбасу є рекультивация порушених гірничими роботами земель. Проте, щорічний обсяг утворення вуглевідходів на шахтах перевищує їх рівень утилізації, що призводить до поступового їх накопичення і необхідності розвитку подальших програм, тим більше, що потенціал рекультивации земель обмежений у часі.

3. Узагальнення досвіду утилізації поверхневих відвалів порід показує, що існує два основних напрями – закладання виробленого простору з поверхні та переробка породних відвалів з метою отримання цінних мінерально-сировинних ресурсів. Перший спосіб для умов шахт Західного Донбасу є малоімовірним через несприйняття закладання з економічних причин, проте другий спосіб може бути перспективним і досить реальним – вилучення цінних компонентів та їх використання як сировини для будівельної галузі.

4. Запропоновано стратегічний розвиток напрямів переробки породної маси як сировини для будівництва (матеріали та дороги) з супутнім вилученням вугілля, алюмінію та заліза в регіоні на підставі ґрунтового вивчення результатів SWOT-аналізу, порівняння сильних та слабких сторін, можливостей і загроз та їх комбінацій.

5. Систематизовано існуючі технології переробки породних відвалів за низкою класифікаційних ознак. Запропоновано для реалізації стратегічного розвитку масштабізації переробки породної маси за умов мінімальних інвестиційних витрат використати комбінацію механічних і хімічних способів, серед яких пріоритетними є наступні операції: гравітаційні та магнітні методи збагачення, механічне подрібнення та хімічне вилуговування.

Вдячність. Результати дослідження отримані в рамках виконання науково-дослідної роботи ГП-511 «Наукові засади структурних трансформацій вугледобувних підприємств на основі інноваційних технологій раціонального природокористування» (№ державної реєстрації 0122U001301).

Перелік посилань

1. Shah, Y.T. (2021). Hybrid energy systems – strategy for decarbonization. *Hybrid Energy Systems*, 1-18.
<https://doi.org/10.1201/9781003159421-1>
2. Debiagi, P., Rocha, R.C., Scholtissek, A., Janicka, J., & Hasse, C. (2022). Iron as a sustainable chemical carrier of renewable energy: Analysis of opportunities and challenges for retrofitting coal-fired power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (165), 112579.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112579>
3. Статистичний збірник «Паливно-енергетичні ресурси України» за 2020 рік. (n.d.).
https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/12/Zb_per.pdf
4. Мінеральні ресурси України. (2020). Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України».
5. Cornot-Gandolphe, S. (2019). *Status of global coal markets and major demand trends in key regions*. The Institut français des relations internationales.
6. Bai, E., Li, X., Guo, W., Tan, Y., Guo, M., Wen, P., & Ma, Z. (2022). Characteristics and formation mechanism of surface residual deformation above longwall abandoned goaf. *Sustainability*, 14(23), 15985.
<https://doi.org/10.3390/su142315985>
7. Shang, H., Zhan, H.-Z., Ni, W.-K., Liu, Y., Gan, Z.-H., & Liu, S.-H. (2022). Surface environmental evolution monitoring in coal mining subsidence area based on multi-source remote sensing data. *Frontiers in Earth Science*, (10), 1-19.
<https://doi.org/10.3389/feart.2022.790737>
8. Петлєваний, М.В., & Гайдай, А.А. (2017). Аналіз накопичення і систематизація породних відвалів вугільних шахт, перспективи їх розробки. *Геотехнічна механіка*, (136), 147-158.
9. Шустов, О.О., Петльований, М.В., Зубко, С.А., & Шерстюк, Є.А. (2019). Геомеханічні проблеми стійкості природно-техногенних масивів рудних родовищ. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (58), 154-165.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/58.154>
10. Tao, M., Cheng, W., Nie, K., Zhang, X., & Cao, W. (2022). Life cycle assessment of underground coal mining in China. *Science of The Total Environment*, (805), 150231.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150231>
11. Kovrov, O., & Kulikova, D. (2022). Improvement of the mine water purification efficiency via modified settling tank. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(1), 65-75.
<https://doi.org/10.12912/27197050/142943>
12. Zhang, J., Zhang, Q., Spearing, A. J. S. (Sam), Miao, X., Guo, S., & Sun, Q. (2017). Green coal mining technique integrating mining-dressing-gas draining-backfilling-mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(1), 17-27.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.11.014>
13. Petlovanyi, M., Malashkevych, D., Sai, K., Bulat, I., & Popovych, V. (2021). Granulometric composition research of mine rocks as a material for backfilling the mined-out area in coal mines. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 122-129.
<https://doi.org/10.33271/mining15.04.122>
14. Brodny, J., & Tutak, M. (2022). Challenges of the polish coal mining industry on its way to innovative and sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, (375), 134061.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134061>
15. Гріньов, В.Г., & Хорольський, А.О. (2021). Нові підходи і результати досліджень по раціоналізації відпрацювання родовищ корисних копалин. *Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва*, (23), 174-199.
16. Кузьменко, А.М., Петлєваний, М.В., & Усатый, В.Ю. (2010). Влияние тонкоизмельченных фракций шлака на прочностные свойства твердеющей закладки. *Матеріали Школи підземної розробки*, 383-386.

17. Song, W., Zhang, J., Li, M., Yan, H., Zhou, N., Yao, Y., & Guo, Y. (2022). Underground disposal of coal gangue backfill in China. *Applied Sciences*, 12(23), 12060.
<https://doi.org/10.3390/app122312060>
18. Barabash, M., & Cherednichenko, Y. (2015). Transformation SHC “Pavlogradvugillia” in the world class coal-mining company – PJSC “DTEK Pavlogradvugillia”. *Mining of Mineral Deposits*, 9(1), 15-23.
<https://doi:10.15407/mining09.01.015>
19. Malashkevych, D., Poimanov, S., Shypunov, S., & Yerisov, M. (2020). Comprehensive assessment of the mined coal quality and mining conditions in the Western Donbas mines. *E3S Web of Conferences*, (201), 01013.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101013>
20. Саїк, П.Б., Лозинський, В.Г., Петльований, М.В., Сай, К.С., & Стрижаков, Є.М. (2018). Сучасний підхід до освоєння енергетичних ресурсів залишених та некондиційних запасів вугілля. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (54), 152-168.
21. Afum, B.O., Caverson, D., & Ben-Awuah, E. (2018). A conceptual framework for characterizing mineralized waste rocks as future resource. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(3), 429-435.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.07.002>
22. Lèbre, É., Corder, G.D., & Golev, A. (2017). Sustainable practices in the management of mining waste: a focus on the mineral resource. *Minerals Engineering*, (107), 34-42.
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.12.004>
23. *Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2021 рік.* (2022). Департамент екології та природних ресурсів Дніпропетровської ОВА.
24. *Реєстр місць видалення відходів у Дніпропетровській області станом на 2021 рік.* (2022).
<https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/EKOLOGIA/MVV-REESTR-20-08-2021.pdf>
25. Вернигора, В.Н. (2019). *Декарбонізація и циркуляционная экономика – звенья одной цепи.* Доклад. <https://dtek.com/content/files/vernigora-vladislav.pdf>
26. Бузило, В.И., Кошка, А.Г., Сердюк, В.П., Сулаев, В.И., & Яворский, А.В. (2012). *Технология селективной отработки тонких угольных пластов.* НГУ.
27. Petlovanyi, M.V., Malashkevych, D.S., & Sai, K.S. (2020). The new approach to creating progressive and low-waste mining technology for thin coal seams. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(4), 765-775.
<https://doi.org/10.15421/112069>
28. Malashkevych, D.S., Petlovanyi, M.V., Sai, K.S., & Zubko, S.A. (2022). Research into the coal quality with a new selective mining technology of the waste rock accumulation in the mined-out area. *Mining of Mineral Deposits*, 16(4), 103-114.
<https://doi.org/10.33271/mining16.04.103>
29. Гаркуша, В.С. (2017). *Кріплення магистральних виробок з використанням твердіючих сумішей на основі шахтної породи.* НГУ.
30. Rozanski, Z., Suponik, T., Matusiak, P., Kowol, D., Szpyrka, J., Mazurek, M., & Wrona, P. (2016). Coal recovery from a coal waste dump. *E3S Web of Conferences*, (8), 01052.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160801052>
31. Vo, T. L., Nash, W., Del Galdo, M., Rezanja, M., Crane, R., Mousavi Nezhad, M., & Ferrara, L. (2022). Coal mining wastes valorization as raw geomaterials in construction: A review with new perspectives. *Journal of Cleaner Production*, (336), 130213.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130213>
32. Taha, Y., Benzaazoua, M., Hakkou, R., & Mansori, M. (2017). Coal mine wastes recycling for coal recovery and eco-friendly bricks production. *Minerals Engineering*, (107), 123-138.
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.09.001>
33. Зубова, Л.Г., Зубов, А.Р., Верех-Белоусова, К.И., & Олейник, Н.В. (2012). *Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса.* ВНУ.

34. Amrani, M., Taha, Y., El Haloui, Y., Benzaazoua, M., & Hakkou, R. (2020). Sustainable reuse of coal mine waste: Experimental and economic assessments for embankments and pavement layer applications in Morocco. *Minerals*, 10(10), 851.
<https://doi.org/10.3390/min10100851>
35. Chugh, Y. P., & Behum, P. T. (2014). Coal waste management practices in the USA: An overview. *International Journal of Coal Science & Technology*, 1(2), 163-176.
<https://doi.org/10.1007/s40789-014-0023-4>
36. Pactwa, K., Woźniak, J., & Dudek, M. (2020). Coal mining waste in Poland in reference to circular economy principles. *Fuel*, (270), 117493.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117493>

ABSTRACT

Purpose. The research purpose is to analyze and generalize the problems of waste rock accumulation, as well as to determine the directions for their possible solution in order to improve the ecological-economic conditions for mining coal reserves in the Western Donbass.

Methods. A comprehensive scientific-methodological approach is used, which consists in studying regional accounts on the state of the environment, data from the register of waste disposal sites in the Dnipropetrovsk Oblast, peculiarities of placement of dumps according to the Google Earth program and collected mine data. To study the feasibility of processing dumps, a SWOT-analysis is used, as well as the analysis of existing technologies for processing the rock mass from waste dumps, based on foreign and domestic experience.

Findings. Nine rock dumps have been identified, formed as a result of the functioning of the Western Donbass coal mines, where almost 130 million tons of waste rocks have been accumulated on an area of about 190 hectares. It is noted that the reclamation of disturbed lands as the main means of rock utilization is insufficient. Based on a thorough analysis of the SWOT-analysis results, a strategic direction for processing has been determined – the use of rock mass as a raw material for construction (materials and roads) with accompanying extraction of coal, aluminum and iron. The existing technologies for the processing of waste rocks have been systematized. It has been determined that the largest scaling of waste dump processing in the Western Donbass mines can be achieved with a combination of mechanical-chemical methods, among which gravity and magnetic beneficiation methods, mechanical grinding and chemical leaching are priority.

Originality. The mechanisms for handling coal waste from coal mines in the Western Donbass have been determined to solve ecological-economic problems associated with their accumulation.

Practical implications. The research results reveal possible ways of solving the problems of waste rock accumulation in the Western Donbass mines, which makes ecological and economic sense.

Keywords: coal mine, rock dump, processing, mineral and raw-material resources, utilization.