

<https://doi.org/10.52150/2522-9117-2025-39-09>

УДК 622.33: 621.311.22.002.84

Є. С. Лапшин¹, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-5443-5566О. І. Шевченко^{1,*}, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0003-2630-0186¹ Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України* Автор для листування: igtm.aishevchenko@gmail.com

ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ З ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ, ЩО МІСТИТЬ ЦІННІ КОМПОНЕНТИ

Анотація. Внаслідок діяльності гірничо-збагачувального, переробного та енергетичного комплексів на території України накопичилася величезна кількість відходів. Ці відходи за своєю ресурсною цінністю – перспективні, закладені та постійно поповнювані мінеральною сировиною техногенного походження. Вони розглядаються як складова частина мінерально-сировинної бази країни з чорних, кольорових, металевих, енергетичних та рідкісних цінних мінералів. Виконано аналіз можливостей та перспектив отримання з техногенних відходів вторинної сировини, що містить цінні компоненти, шляхом тонкої класифікації за крупністю на прикладі відходів збагачення титано-цирконієвих пісків, металургії (шлаки й шлами), енергетики (шлаки та летюча зола). Встановлено, за яким класом крупності необхідно розділити сировину, щоб отримати продукт, який користується попитом споживачів, і чим цей поділ забезпечити. Показано необхідність використання тонкої класифікації під час переробки. Відходи виробництва Вільногірського гірничо-металургійного комбінату (ВГМК) та його техногенне родовище представлені в основному мінералами ільменіту, дистен-сіліманіту, ставроліту та турмаліну. При вторинному відпрацюванні відходів ВГМК можна отримати колективний концентрат цих мінералів і кварцовий пісок з вмістом важкої фракції менше 0,1% і Fe_2O_3 не більше 0,025%, що дозволить ефективно його використовувати, як високоякісну кварцову сировину в скляній промисловості. Переробка відходів металургії дозволяє одержати такі товарні продукти, як залізо, цинк, скандій, тощо. Застосування відходів металургії виробниками сухих будівельних сумішей, цементу, дорожніх покриттів знижує собівартість цієї продукції та підвищуватиме її якість. Переробка золошлакових відходів (ЗШО) енергетичної галузі дозволяє отримати низькозольний вугільний концентрат для енергетики, силікатну частину, придатну для будівельної сфери, а також інші корисні мінерали, такі як залізо, германій, ванадій та глинозем для подальшого отримання алюмінію, в

© Є. С. Лапшин, О. І. Шевченко, 2025

Це стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>

кількостях, що представляють промисловий інтерес. Запропоновано та показано перспективність використання віброударного грохоту конструкції ІГТМ НАН України при переробці різних техногенних відходів. Його випробування показали досить високі показники грохочення: для сухих матеріалів вилучення класу менше 0,02 мм у підрешітний продукт становило 75-80%; для мокрих з накопичувача – 65-70%, при цьому вологість надрешітного матеріалу була знижена з 30 до 7-8%. Комплексна переробка дозволить знизити кількість відходів, що спрямовуються до накопичувачів, зменшити території, які сьогодні відчужуються для них і стають непридатними для життя, забезпечити зростання рентабельності підприємств, значно зберегти природні ресурси та скоротити дефіцит різних матеріалів.

Ключові слова: техногенні відходи, переробка, тонка класифікація, зневоднення, віброударний грохот.

Посилання для цитування: Лапшин Є. С., Шевченко О. І. Обґрунтування можливості отримання з техногенних відходів вторинної сировини, що містить цінні компоненти. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2025. Вип. 39. С. 160-174. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2025-39-09>

Вступ

Внаслідок діяльності гірничо-збагачувального, переробного та енергетичного комплексів на території України накопичилася величезна кількість відходів. Їхня поява пов'язана з недосконалістю технологій і в ряді випадків з недотриманням та систематичним порушенням законів, що регламентують їх збагачення та утилізацію. Ці відходи, з одного боку, призводять до виключення з господарського обороту великих площ земель, зайнятих під відвали та накопичувачі, що негативно впливає на природні ландшафти та екологію. З іншого боку, за своєю ресурсною цінністю відходи є перспективними, закладеними та постійно поповнюваними мінеральною сировиною техногенного походження. Вони розглядаються як складова частина мінерально-сировинної бази країни з чорних, кольорових, металевих, енергетичних та рідкісних цінних мінералів [1-3].

Необхідний перехід до принципово нових технологічних систем, що дасть максимальний ресурсо-енергозберігаючий та природоохоронний ефект. У сучасних умовах це може бути досягнуто тільки на основі комплексності використання первинної та вторинної сировини, впровадження маловідходних технологій, підвищення рівня міжгалузевої кооперації та координації робіт у питаннях утилізації відходів та захисту довкілля. Стратегічним напрямом щодо покращення екологічної обстановки на території України є розробка технологій, які зменшують або виключають утворення відходів, а також технологій утилізації вже накопичених. Тому одним із

актуальних завдань сучасності є зниження техногенного навантаження на середовище за рахунок розробки та впровадження сучасних екологічно безпечних ресурсозберігаючих технологій [2, 4].

Питанням комплексного використання мінеральної сировини, необхідності освоєння ресурсів техногенного походження у вигляді відходів, як обов'язкового елемента раціонального природо- і надрокористування приділяється багато уваги, як у нашій країні, так і за кордоном. Роботи вчених та фахівців, що працюють у цій сфері, присвячені розробкам принципово нових технологій для їх збагачення з глибоким селективним та комплексним вилученням цінних компонентів та іншим аспектам цієї складної проблеми [1-13].

Методи

У цьому дослідженні було використано такі методи: аналітичний огляд літературних джерел, порівняльний аналіз; експериментальні дослідження; а також аналіз можливості та перспективи використання вторинних продуктів, що одержуються з відходів. Під час аналізу стану питання використані інформаційні ресурси Інтернет-мережі.

Мета роботи – вивчити можливості отримання з техногенних відходів вторинної сировини, що містить цінні компоненти.

Найбільші обсяги промислових відходів утворюються на підприємствах гірничої промисловості, чорної та кольорової металургії й енергетичної галузі.

Продемонструємо можливості та перспективи збагачення шляхом тонкої класифікації за крупністю на прикладі відходів збагачення титано-цирконієвих пісків, металургії (шлаки та шлами), енергетики (шлаки та летюча зола). Встановимо, за яким класом крупності необхідно розділити сировину, щоб отримати продукт, який користується споживчим попитом, і чим цей поділ забезпечити.

Результати досліджень

Аналіз кількості відходів, можливості їх переробки та перспективи використання отриманої продукції.

Щорічний обсяг утворення *гірничопромислових відходів* в Україні становить близько 800 млн т, а обсяги накопичення відходів видобутку корисних копалин та їх первинної переробки вже перевищують 35 млрд т [5]. Відходи видобутку використовуються нині приблизно 40%, а відходи збагачення – лише з 10% [6].

ВГМК видобуває та переробляє титано-цирконієві піски Східної ділянки Малишевського родовища. На даний момент перед підприємством постало питання переходу на збагачення техногенного родовища, а саме відходів підприємства, що накопичилися за 60 років

його існування. У процесі відпрацювання Східної ділянки утворилося понад 200 млн тон відходів виробництва, які за мінеральним складом вміщують до 20% глинистих домішок, 70...75% кварцового піску, а також містять близько 0,8...2,0% мінералів важкої фракції (циркон, рутил, ільменіт, дистен-сіліманіт, ставроліт). Вміст до 1,5% мінералів важкої фракції у відходах підприємства обумовлено прийнятою технологією переробки рудних пісків на збагачувальному виробництві та є нормованими втратами для задіяної технологічної схеми з особливостями її побудови та встановленим апаратним наповненням технологічного ланцюжка: як основні збагачувальні апарати є конусні сепаратори (на ділянці гравітаційного збагачення), пластинчасті електростатичні та валкові електромагнітні сепаратори (на ділянці довідкових операцій) [7].

Одна з особливостей пісків Малишевського родовища – їхня природна класифікація за коефіцієнтом рівнопадання, що в принципі визначає можливість їх збагачення шляхом грохочення. Мінерали важкої фракції суттєво відрізняються за крупністю від кварцу, завдяки чому їх можна розділити на ситі відповідного розміру. Сенс цієї операції полягає в тому, щоб у нижній продукт грохоту виділити основну масу мінералів важкої фракції і отримати верхній продукт, збагачений цінними компонентами настільки, щоб його можна було піддати гравітаційному збагаченню з отриманням відвальних хвостів в один прийом [8-10]. Фахівцями ВГМК також проводились дослідницькі роботи з тонкої класифікації титано-цирконієвих пісків. В даному випадку класифікації піддавалися відмиті від глини піски [8].

Дослідженнями [7] встановлено, у процесі відпрацювання Малишевського родовища практично повністю вилучено такі мінерали, як циркон, рутил та лейкоксен. Відходи виробництва ВГМК та його техногенне родовище представлені в основному мінералами ільменіту, дистен-сіліманіту, ставроліту та турмаліну. Тому при вторинному відпрацюванні відходів ВГМК необхідно не тільки отримати моноконцентрати мінералів важкої фракції, а й отримати кварцовий пісок з вмістом важкої фракції менше 0,1% і Fe_2O_3 не більше 0,025%, що дозволить ефективно його використовувати, як високоякісну кварцову сировину в скляній промисловості [7].

Для забезпечення надійної роботи сепараторів необхідно видалити з відходів глинисті включення, які, як відомо, забивають робочі зони збагачувального обладнання і знижують ефективність його роботи. Для цього можливе використання тонкої класифікації з промиванням та подальшого зневоднення.

Одним з основних етапів збагачення є отримання колективного

концентрату (дистен-сіліманіту, ставроліту, турмаліну, ільменіту та рутила). На цьому етапі формуються основні відходи, а саме кварцова сировина. Повнота вилучення мінералів важкої фракції з одного боку підвищує вихід колективного концентрату, з другого робить більш чистими відходи виробництва [7].

Чорна металургія належить до базових галузей промисловості та, поруч із паливно-енергетичним комплексом, визначає конкурентоспроможність економіки нашої країни. Металургійне виробництво в Україні супроводжується утворенням величезної кількості промислових відходів, що сягає 30% обсягу випуску сталі. Близько 80% їх складають шлаки, близько 20% посідають пил і шлами газоочисток. Обсяг накопичених на металургійних підприємствах України металургійних шлаків – понад 160 млн т, понад 70 млн т шламів, з яких 21 млн т придатний для повторного використання. На частку металургії припадає 38% загальних викидів промисловості України, з них на частку чорної металургії – 16% [11-13].

Більшість металургійних шлаків, хоч і мають ресурсну цінність, у буквальному сенсі зберігаються просто неба. 54,5% їх обсягу розміщується у відвалах або на тимчасових складах після видобутку з них скрапу та флюсів для застосування у технологічному процесі. Шлаки виготовляли всі українські металургійні підприємства. Найбільшими серед них вважаються «Метінвест Холдинг», «АрселорМіттал Кривий Ріг», "Дніпровський меткомбінат", компанія «Інтерпайп». Найбільш значущими постачальниками шлаків для переробки можна назвати «АрселорМіттал Кривий Ріг» та компанію Recycling Solutions, яка була заснована SCM у 2012 році для управління відходами та побічними продуктами [14].

Враховуючи, що при виплавці 1 т сталі, зі шлаком втрачається до 40 кг заліза у вигляді оксидів, скрапів та корольків, а також його мінеральна складова, переробка дозволить знизити витрату природних сировинних ресурсів та покращити екологічну обстановку на прилеглих до відвалів територіях. В даний час проблему утилізації шлаків вирішують двома шляхами: шлак у рідкому або твердому стані повертають у технологічний процес отримання залізовуглецевих сплавів; шлак виводять із металургійного циклу та використовують у господарській діяльності [13].

Найбільш поширеним є другий шлях, при якому твердий шлак поетапно дробиться, і з нього «сухою» магнітною сепарацією видаляється металевий скрап. Цей метод переробки шлаку дозволяє ефективно видалити металеву фазу з крупних класів. У той же час у дрібних класах шлаку присутня значна кількість заліза, як у формі металевого скрапу (зашлаковані відходи чорних або кольорових

металів, що утворюються в процесі виробництва, а також металобрухт, який використовується для переплавлення), так і у формі оксидів заліза, які не вилучаються [13]. Для отримання з доменного шлаку концентрату з вмістом загального заліза на рівні 62,0% [13] запропоновано використовувати його поетапне дроблення та подрібнення з подальшою мокрою магнітною сепарацією.

Шлаки металургійного виробництва поділяють на кілька видів: доменні, сталеплавильні та феросплавні. Найбільшою популярністю в Україні користувався доменний шлак – побічний продукт виплавки чавуну у доменній печі. Це цінний сировинний продукт, який активно використовується у цементній промисловості. Конвертерні шлаки утворюються в результаті окислення сірчастого заліза киснем повітря та ошлакування закису заліза кремнекислою кварцового флюсу. Головна перевага останнього – високий вміст кремнію [14].

Системної роботи із продажу шлаків в Україні майже не ведеться – кожне підприємство вирішує питання по-своєму. Деякі самостійно займаються його помолом і потім продають кінцевим споживачам, інші просто складають його як звичайні відходи або продають стороннім компаніям. Приблизно 42% металургійних шлаків, що переробляються, припадає на цементну галузь. Обсяги утилізації металургійних шлаків в Україні останніми роками зростали. Інтерес переробників очевидний – шлаки дозволяють виробникам сухих будівельних сумішей, цементу, дорожніх покриттів знижувати собівартість своєї продукції та підвищувати її якість. Крім того, із шлаків можливе виготовлення шлаковати, шлакового лиття (бруківка, тюбинги, плитки, бордюрний камінь, тощо), литого шлакового щебеню, склокерамічних виробів, в'язучих добавок у цемент, мінеральних добавок для поліпшення ґрунтів, добрив для сільського господарства та ін. [14].

Для використання шлаків при виготовленні сумішей, цементів, при вилученні чорних або кольорових металів їх необхідно подрібнити та шляхом тонкої класифікації відокремити перспективні класи крупності (що містять максимальну кількість корисних компонентів) для подальшого їх збагачення за допомогою магнітної та електричної сепарації, флотації, тощо.

Основні споживачі металургійних шлаків в Україні – виробники цементу: компанії CRH (до складу входять «Подільський цемент» у Кам'янці-Подільському, «Цемент» в Одесі, «Миколаївцемент» у Миколаєві Львівської обл.), Dyckerhoff Cement Ukraine («Волинь-Цемент» у Здолбунові Рівненської обл. та «ЮГцемент» у смт Ольшанське Миколаївської обл.), «ХайдельбергЦемент Україна» (заводи у Кривому Розі та Кам'янському Дніпропетровській обл.),

«Івано-Франківськцемент» та ін. Підприємства групи компаній Fomalgaut, наприклад, самостійно розмелюють шлаки та додають до сухих будівельних сумішей. Приблизно 20% шлаків, що переробляються, застосовуються в дорожньому будівництві. Наприклад, такі об'єкти, як траси Запоріжжя – Дніпро, Дніпро – Кривий Ріг та автомобільна дорога Н-31 (Р-52) Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка побудовані з використанням доменних шлаків [14].

Сталеплавильний шлак у нашій країні практично не знаходить застосування. Тоді як у країнах ЄС, за даними Euroslag, 46% від загального обсягу його утилізації припадає на дорожнє будівництво, застосовують як мінеральні добрива (2,7%) і для гідравлічного інжинірингу (2,2%). На даний момент у нашій країні слабо розвинене законодавство, що стосується переробки техногенних відходів як будівельних матеріалів [14].

Металургійні, зокрема відвальні шлаки (як вторинний щебінь), також застосовують у дорожньому будівництві та для виробництва мінеральних добрив, гідравлічного інжинірингу, тощо. З металургійних шлаків можна витягувати цинк, а в тонні червоного шламу міститься понад 100 г рідкісного металу скандію (ціна за тону – 4,5 млн дол.). Все це «золото» могло б збагачувати Україну на мільярди доларів – за умови створення нормативних документів та комплексної системи переробки відходів [14].

Наявність великої кількості відходів у вигляді металургійних шлаків та пилу потребує розробки технології їх утилізації, що дозволить не лише залучити до виробництва матеріали, які містять цінні компоненти, а й покращити екологічну обстановку на металургійному підприємстві. Залізовмісні пил та шлами є цінною сировиною в процесі виробництва металу через високий вміст заліза 33-74%. В даний час на металургійних підприємствах накопичено близько 30 млн. т пилу і шлаків, окалини, що містять Fe. Ці ресурсно-цінні відходи складають до 75% всіх промислових відходів даного переділу, не повністю утилізуються та складаються у накопичувачі [2].

Наявність у шламах від 37 до 52% заліза та понад 6,5% вуглецю дозволяє розглядати їх як цінну металургійну сировину. Дослідженнями встановлено, що найвищий вміст заліза та вуглецю знаходиться у класах +0,02-0,6 мм. Якщо виділити ці класи, можна отримати товарні продукти. Близько 70% шламу представлено частинками розміром понад 0,02 мм.

В енергетичній галузі під час спалювання вугілля на теплових електростанціях (ТЕС) в Україні щорічно утворюються ЗШВ. У

відвалах вже накопичено близько 360 млн. т на площі близько 3170 га. Найбільш об'ємні із ЗШВ – шлак та летюча зола (ЛЗ). Під час спалювання вугілля понад 80% його мінерального складу переходить у ЛЗ, до 20% – у шлак. В Україні золи вугільних ТЕС містять незгорілий вуглець у кількості від 5 до 30% [15-20].

Дослідженнями [20] встановлено, у пробах шлаку кількість вуглецю становить від 0,04 до 0,3%. Якість цього продукту відповідає нормативним вимогам (менше 3%) і може використовуватися для виробництва будівельних конструкцій та матеріалів, під час прокладання доріг, залізничних колій, тощо.

ЛЗ є дрібнодисперсним матеріалом, що утворюється з мінеральної частини вугілля, і найбільш широко використовується за кордоном. В Україні застосування золи обмежене через високий вміст в ній вуглецю. Тому необхідно дозбагачення якості золи до показників, що регламентуються стандартами, для широкого застосування у будівельній сфері.

Дослідженнями [19-20] встановлено, що найвищий вміст вуглецю в золі знаходиться в класах крупності від -0315 до +002 мм включно. Найбільш зольна частина міститься в класі +0-0,02 мм (глинисті та пилоподібні частинки). Якщо витягти із летючої золи класи -0,315 +0,02 мм, можна отримати низькозольний вугільний концентрат для енергетики (із зольністю менше 25-25% – відповідає нормативним вимогам) та силікатної частини, придатної для будівельної сфери. Крім того, відомо, що у породах, які вміщують вугілля, є алюміній, германій, ванадій, залізо в кількостях, що представляють промисловий інтерес. Для їх вилучення необхідні магнітна та електрична сепарація, флотація тощо. [15]. У цьому випадку при переробці золи необхідно попереднє відділення найбільш тонких класів крупністю +0-0,05 мм, оскільки ці класи характеризуються високою зольністю і значною кількістю пилоподібних і глинистих частинок, які за наявності води розмокають, злипаються у вигляді грудок, забивають робочі зони обладнання, виконані у вигляді вузьких зазорів, (наприклад, магнітна сепарація) та знижують ефективність його роботи. Наявність глинистих частинок погіршує і показники флотації. Для вдосконалення та розвитку переробки ЗШО, розробки технологій збагачення, техніко-економічного обґрунтування безпосередньо з кожного техногенного накопичувача необхідні додаткові дослідження [15, 19, 20].

Як очевидно з вищеописаного, тонка класифікація необхідна за різних видів техногенних відходів. Для її реалізації потрібне відповідне обладнання.

У інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України) розроблено віброударний грохот [21, 22], який

дозволяє ефективно класифікувати та зневоднювати тонкозернисті матеріали. Гранична крупність поділу сухих матеріалів 0,02 мм, а пульп – 0,05 мм.

Лабораторні випробування віброударного грохоту при переробці різної мінеральної сировини (вугільних шлаків, летючої золи ТЕС, руди, що містить гранат, гранітного та базальтового відсівів) показали досить високі показники грохочення: для сухих матеріалів вилучення класу менше 0,02 мм у підрешітний продукт становило 75-80%; для мокрих з накопичувача – 65-70%, при цьому вологість надрешітного матеріалу була знижена з 30 до 7-8%.

Таким чином, виконані дослідження підтвердили ефективність застосування віброударних грохотів для тонкої класифікації при переробці різної техногенної сировини.

Висновки

Внаслідок діяльності гірничо-збагачувального, переробного та енергетичного комплексів на території України накопичилася величезна кількість відходів. Ці відходи за своєю ресурсною цінністю – перспективні, закладені та постійно поповнювані мінеральною сировиною техногенного походження розглядаються як складова частина мінерально-сировинної бази країни з чорних, кольорових, металевих, енергетичних та рідкісних цінних мінералів. Стратегічним напрямом щодо покращення екологічної обстановки на території України є розробка технологій, що зменшують або виключають утворення відходів, а також технологій утилізації вже накопичених.

Виконано аналіз можливостей та перспектив збагачення шляхом тонкої класифікації по крупності на прикладі відходів збагачення титано-цирконієвих пісків, металургії (шлаки та шлами), енергетики (шлаки та летюча зола). Встановлено, за яким класом крупності необхідно розділити сировину, щоб отримати продукт, який користується попитом споживачів, і чим цей поділ забезпечити.

Показано необхідність використання тонкої класифікації при переробці відходів виробництва ВГМК для забезпечення надійної роботи сепараторів. В результаті збагачення відходів отримують колективний концентрат (дистен-силіманіту, ставроліту, турмаліну, ільменіту та рутила) і кварцовий пісок з вмістом важкої фракції менше 0,1% і вмістом Fe_2O_3 не більше 0,025%, що дозволить ефективно його використовувати, як високоякісну кварцову сировину в скляній промисловості.

Для використання металургійних шлаків при виготовленні сумішей, цементів, при вилученні чорних або кольорових металів їх необхідно подрібнити та шляхом тонкої класифікації відокремити

перспективні класи крупності (що містять максимальну кількість корисних компонентів) для подальшого їх збагачення за допомогою магнітної та електричної сепарації, флотації, тощо. В результаті одержують можливість доотримання заліза, цинку, а з червоного шламу – скандію.

При дослідженнях можливості переробки золошлакових відходів ТЕС встановлено таке. У пробах шлаку кількість вуглецю становить від 0,04 до 0,3%. Якість цього продукту відповідає нормативним вимогам (менше 3%) і може використовуватися для виробництва будівельних конструкцій та матеріалів, під час прокладання доріг, залізничних колій, тощо. У летучій золі найвищий вміст вуглецю знаходиться в класах від -0,315 до +0,02 мм включно. Найбільш зольна частина міститься в класі +0-0,02 мм (глинисті та пілоподібні частинки). Якщо відокремити з летучої золи класи +0,02 мм, можна отримати низьковуглецевий вугільний концентрат для енергетики і силікатної частини, придатна для будівельної сфери. Встановлено можливість подальшого збагачення золи шляхом магнітної та електричної сепарації, флотації, тощо, з метою отримання інших корисних мінералів таких як залізо, германій, ванадій, глинозем для подальшого отримання алюмінію, в кількостях, що представляють промисловий інтерес.

Запропоновано та показано перспективність використання віброударного грохоту конструкції ІГТМ НАН України при переробці різних техногенних відходів. Його випробування показали досить високі показники грохочення: для сухих матеріалів вилучення класу менше 0,02 мм у підрешітний продукт становило 75 – 80%; для мокрих з накопичувача – 65-70%, при цьому вологість надрешітного матеріалу була знижена з 30 до 7 – 8%.

Комплексна переробка дозволить знизити кількість відходів, що спрямовуються до накопичувачів, зменшити території, які сьогодні відчужуються для них і стають непридатними для життя, забезпечити зростання рентабельності підприємств, значно зберегти природні ресурси та скоротити дефіцит різних матеріалів.

Перелік посилань

1. Касимов А. М., Леонова О. Е., Кононов Ю. А., Коваленко А. М. Современное состояние проблемы образования и накопления промышленных отходов в Украине. *Экология и промышленность*. 2007. №2. С. 46–51.
2. Современные проблемы и решения в системе управления опасными отходами. Учебное пособие / А.М. Касимов, В.Т. Семенов, Н.Г. Щербань, В.В. Мясоедов. Харьков: ХНАГХ, 2008. 510 с.
3. Шевченко А. И., Бубнова Е. А. Перспективы и проблемы перевода шламонакопителей Украины в категорию техногенных месторождений. *Збагачення корисних копалин*. 2015. №60(101). С. 162-169.

4. Chetveryk M., Bubnova O., Babii K., Shevchenko O., Moldabaev S. Review of geomechanical problems of accumulation and reduction of mining industry wastes, and ways of their solution. *Mining of Mineral Deposits Journal*. 2018. Vol. 12, Issue 4. P. 63-72.
5. Гладій О. В. Сутність проблеми накопичення техногенних відходів, техногенних родовищ в Україні. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія : Юриспруденція*. 2017. №25, С. 61-64.
6. Федоренко Е. Ю., Рыщенко М. И., Богданова Е. Б., Присяжная Л. В. Использование отходов добычи и переработки минерального сырья в качестве интенсификатора спекания в технологии плотноспеченной строительной керамики. *Экология и промышленность*. 2019. №1. С. 98-106.
7. Пилов П. И., Левченко К. А., Шутов В. Ю., Самофал И. В., Чумак О. М., Корчагин Е. П. Разработка технологии обогащения техногенного месторождения Вольногорского ГМКа. *Збагачення корисних копалин* 2019. № 74(115). С. 3-12.
8. Краснопер В. П. Грохочение титано-циркониевых россыпей с последующим гравитационным обогащением. *Геотехническая механика*. 1998. № 4. С. 62-67.
9. Надутый В. П., Краснопер В. П. Анализ конструкций грохотов для тонкой классификации и выбор перспективных разработок для промышленного использования. *Геотехническая механика*. 1998. № 4. С. 94-98.
10. Надутый В. П., Краснопер В. П. Экспериментальное исследование технологических показателей и работоспособности виброгрохотов 2СТГ для тонкой классификации пульпы. *Геотехническая механика*. 1997. № 2. С. 137-141.
11. Носков В. А. Развитие научных разработок в области рециклирования промышленных отходов в черной металлургии. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*, 2008. №16, 345-351.
12. Назюта Л. Ю., Косолап Н. В., Губанова А. В. Анализ сырьевой базы металлургического производства. Железорудные материалы. *Металл и литье Украины*. 2005. № 9-10. С. 3-7.
13. Ніколаєнко П. К., Ніколаєнко К. В., Татаринів Ф. Г., Яковенко Н. А. Технологія довилучення заліза з переробленого доменного шлаку. *Збагачення корисних копалин*. 2019. № 74(115) С. 13-18.
14. Бердинських О. Дохід з відходів: Україна може подвоїти переробку та експорт шлаків. *GMK Center*. 2019. URL: <https://gmk.center/ua/posts/dohid-z-vidhodiv-ukraina-mozhe-podvoiti-pererobku-ta-eksport-shlakiv/>
15. Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г., Гудзь Д. В. Використання золи виносу Бурштинської ТЕС в технології виробництва автоклавного газобетону. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. № 2. С. 24-31. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-24-31>
16. Shevchenko G. O., Cholyshkina V. V., Sukharyev V. V., Kurilov V. S. Processing of fly ash from thermal power plants by means of mechanical classification by size. *Geo-Technical Mechanics*. 2022. № 160. P. 133-140. <https://doi.org/10.15407/geotm2022.160.133> (Accessed January 7, 2025).

17. Борук С. Д., Макаров А. С., Єгурнов О. І. Створення та властивості альтернативних палив на основі некондиційних і вторинних енергоресурсів (відходи енергогенеруючих, хімічних, харчових підприємств). Монографія. 2021. 281 с.

18. Lapshyn Ye., Shevchenko O., Khayitov O. Foreign experience of processing ash slag waste from thermal power plants. *Geotekhnicheskaya mekhanika*. 2024. Issue 168. PP. 105-120. <https://doi.org/10.15407/geotm2024.168.105>

19. Lapshyn Ye., Shevchenko O. Processing of ash waste from thermal power plants: foreign experience and Ukrainian realities. *Geotekhnicheskaya mekhanika*. 2024. Issue 169. PP. 45-65. <https://doi.org/10.15407/geotm2024.169.045>

20. Lapshin Ye., Shevchenko O. Determining the possibilities of using fly ash on the example of THE DTEK Prydniprovsk TPP. *Geotekhnicheskaya mekhanika*. 2024. Issue 170. PP. 17-27. <https://doi.org/10.15407/geotm2024.170.017>

21. Lapshyn Ye., Shevchenko O. Determining the possibilities of using fly ash of DTEK Prydniprovsk TPP as additional raw material. *Geo-Technical Mechanics*. 2024. Issue 171. PP. 31-46. <https://doi.org/10.15407/geotm2024.171.031>

22. Lapshin E. S., Shevchenko A. I. Ways of improvement of vibrational segregation and dehydration of mineral raw materials. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2013. No 3. PP. 45-51.

23. Lapshyn Y., Shevchenko O. Prospects for using screens with double vibration-impact excitation for size separation and dewatering of wet mineral raw materials that are difficult to classify, 2024 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1348 012074, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012074>

References

1. Kasimov, A. M., Leonova, O. E., Kononov, Yu. A., & Kovalenko, A. M. (2007). Current state of the problem of formation and accumulation of industrial waste in Ukraine. *Ecology and Industry*, 2, 46–51

2. Kasimov, A. M., Semenov, V. T., Shcherban, N. G., & Myasoedov, V. V. (2008). *Modern problems and solutions in the hazardous waste management system*. Kharkiv National Academy of Agricultural Sciences

3. Shevchenko, A. I., Bubnova, E. A. (2015). Prospects and problems of transferring sludge ponds of Ukraine into the category of man-made deposits. *Mineral enrichment*, 60(101),162-169

4. Chetveryk, M., Bubnova, O., Babii, K., Shevchenko, O., & Moldabaev, S. (2018). Review of geomechanical problems of accumulation and reduction of mining industry wastes, and ways of their solution. *Mining of Mineral Deposits Journal*. 12, 4, 63-72

5. Gladiy, O. V. (2017). The essence of the problem of accumulation of technogenic waste, technogenic deposits in Ukraine. *Scientific Bulletin of the International Humanitarian University. Series: Jurisprudence*, 25, 61-64

6. Fedorenko, E. Yu., Ryshchenko, M. I., Bogdanova, E. B., & Prisyazhnaya, L. V. (2019). Use of waste from the extraction and processing of mineral raw materials as a sintering intensifier in the technology of densely sintered building ceramics. *Ecology and Industry*, 1, 98-106

7. Pilov, P. I., Levchenko, K. A., Shutov, V. Yu., Samofal, I. V., Chumak, O. M., & Korchagin, E. P. (2019). Development of enrichment technology for the

Volnogorsk mining and metallurgical complex technogenic deposit. *Mineral enrichment*, 74(115), 3-12

8. Krasnoper, V. P. (1998). Screening of titanium-zirconium placers with subsequent gravity concentration. *Geotechnical mechanics*, 4, 62-67

9. Naduty, V. P., & Krasnoper, V. P. (1998). Analysis of fine screen designs and selection of promising developments for industrial use. *Geotechnical Mechanics*, 4, 94-98

10. Naduty, V. P., & Krasnoper, V. P. (1997). Experimental study of technological indicators and performance of 2STG vibrating screens for fine classification of pulps. *Geotechnical mechanics*, 2, 137-141

11. Noskov, V. A. (2008). Development of scientific research in the field of recycling of industrial waste in ferrous metallurgy. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 16, 345-351

12. Nazyuta, L. Yu., Kosolap, N. V., & Gubanova, A. V. (2005). Analysis of the raw material base of metallurgical production. Iron ore materials. *Metal and casting of Ukraine*, 9-10, 3-7

13. Nikolayenko P. K., Nikolayenko K. V., Tatarinov F. G., & Yakovenko N. A. (2019). Technology of additional iron extraction from processed blast furnace slag. *Mineral enrichment*, 74(115), 13-18.

14. Berdyskyh O. (2019) Income from waste: Ukraine can double the processing and export of slag. *GMK Center*. URL: <https://gmk.center/ua/posts/dohid-z-vidhodiv-ukraina-mozhe-podvoiti-pererobku-ta-eksport-shlakiv/>

15. Serdyuk, V. R., Rudchenko, D. G., & Gudz, D. V. (2021). Use of fly ash from Burshtynska TPP in the production technology of autoclaved aerated concrete. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, 2, 24-31. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-24-31>

16. Shevchenko, G. O., Cholyshkina, V. V., Sukharyev, V. V., & Kurilov, V. S. (2022). Processing of fly ash from thermal power plants by means of mechanical classification by size. *Geo-Technical Mechanics*, 160, 133-140. <https://doi.org/10.15407/geotm2022.160.133>

17. Boruk, S. D., Makarov, A. S., & Yegunov, O. I. (2021) *Creation and properties of alternative fuels based on substandard and secondary energy resources (wastes of energy-generating, chemical, and food enterprises)*. Monograph. 281 pp.

18. Lapshyn, Ye., Shevchenko, O., & Khayitov, O. (2024). Foreign experience of processing ash slag waste from thermal power plants. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, 168, 105-120. <https://doi.org/10.15407/geotm2024.168.105>

19. Lapshyn, Ye., & Shevchenko, O. (2024). Processing of ash waste from thermal power plants: foreign experience and Ukrainian realities. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, 169, 45-65. <https://doi.org/10.15407/geotm2024.169.045>

20. Lapshyn, Ye., & Shevchenko, O. (2024). Determining the possibilities of using fly ash on the example of THE DTEK Prydniprovskaya TPP. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, 170, 17-27. <https://doi.org/10.15407/geotm2024.170.017>

21. Lapshyn, Ye., & Shevchenko, O. (2024). Determining the possibilities of

using fly ash of DTEK Prydniprovskaya TPP as additional raw material. *Geo-Technical Mechanics*, 171, 31-46, <https://doi.org/10.15407/geotm2024.171.031>

22. Lapshyn, E. S., & Shevchenko, A. I. (2013). Ways of improvement of vibrational segregation and dehydration of mineral raw materials. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2013. No 3. PP. 45-51.

23. Lapshyn, Y., & Shevchenko, O. (2024). Prospects for using screens with double vibration-impact excitation for size separation and dewatering of wet mineral raw materials that are difficult to classify, *2024 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1348 012074, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012074>

Ye. S. Lapshyn¹, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-5443-5566

O. I. Shevchenko^{1,*}, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0003-2630-0186

¹ *M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine*

* *Corresponding author: igtm.aishevchenko@gmail.com*

JUSTIFICATION OF THE POSSIBILITY OF OBTAINING SECONDARY RAW MATERIALS CONTAINING VALUABLE COMPONENTS FROM TECHNOLOGICAL WASTE

Abstract. As a result of the activities of mining, processing and energy complexes, a huge amount of waste has accumulated on the territory of Ukraine. These wastes are promising in terms of their resource value, are embedded and constantly replenished with mineral raw materials of technogenic origin. They are considered as an integral part of the country's mineral raw material base of ferrous, non-ferrous, metallic, energy and rare valuable minerals. An analysis of the possibilities and prospects for obtaining secondary raw materials containing valuable components from technogenic waste was performed by fine classification by size using the example of waste from the enrichment of titanium-zirconium sands, metallurgy (slags and sludges), and energy (slags and fly ash). It is established by which size class it is necessary to divide the raw materials in order to obtain a product that is in demand by consumers, and how this division can be ensured. The need to use fine classification during processing is shown. The production waste of the Vilnohirs'k Mining and Metallurgical Plant (VMMK) and its technogenic deposit are mainly represented by the mineral's ilmenite, disten-sillimanite, staurolite, and tourmaline. During secondary processing of VMMK waste, it is possible to obtain a collective concentrate of these minerals and quartz sand with a heavy fraction content of less than 0.1% and Fe₂O₃ of no more than 0.025%, which will allow it to be effectively used as a high-quality quartz raw material in the glass industry. Processing of metallurgical waste allows obtaining such marketable products as iron, zinc, scandium, etc. The use of metallurgical waste by manufacturers of dry building mixes, cement, and road surfaces reduces the cost of these products and increases their quality. Processing of ash and slag waste (ASW) from the energy industry allows obtaining low-ash coal concentrate for the energy industry, a silicate fraction

suitable for the construction sector, as well as other useful minerals such as iron, germanium, vanadium, and alumina for further production of aluminum, in quantities of industrial interest. The prospects of using a vibrating impact screen designed by the Institute of Mechanical Engineering and Materials Technology of the National Academy of Sciences of Ukraine in the processing of various technogenic wastes are proposed and shown. His tests showed quite high screening rates: for dry materials, the extraction of the class less than 0.02 mm into the sub-screen product was 75-80%; for wet materials from the accumulator – 65-70%, while the humidity of the super-screen material was reduced from 30 to 7-8%. Comprehensive recycling will reduce the amount of waste sent to storage facilities, reduce the areas that are currently being alienated for them and become uninhabitable, ensure increased profitability of enterprises, significantly preserve natural resources, and reduce the shortage of various materials.

Keywords: technogenic waste, processing, fine classification, dehydration, vibro-impact screening.

For citation: Lapshyn, Ye. S., & Shevchenko, O. I. (2025). Justification of the possibility of obtaining secondary raw materials containing valuable components from technological waste. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 39, 160-174. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2025-39-09>

Рукопис надійшов до редакції / Received 04.08.2025

Рекомендовано до друку / Accepted 21.10.2025