

О.В. Олійник, аспірант
С.І. Башинський, к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Комплексна оцінка відвалів видобутку граніту та габро як ресурсу для будівельної індустрії

У цьому дослідженні представлено комплексну оцінку відвалів відходів, що утворилися в результаті видобутку граніту та габро на трьох родовищах України: Іллінецькому, Шадурському та Губенківському. У роботі запропоновано та обґрунтовано застосування методології, що поєднує фотограмметрію з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та цифрову оптичну гранулометрію, для точної кількісної оцінки та якісної характеристики цих техногенних ресурсів. Результати аналізу, засновані на наявних технічних звітах та даних, показують, що відвали, які становлять значні обсяги (наприклад, понад 80 % гірничої маси на Шадурському родовищі), є не відходами, а цінною сировиною. Їхні фізико-механічні властивості, зокрема виняткова міцність на стиск (до 244,7 МПа для габро), низьке водопоглинання та висока морозостійкість (марка F-50), значно перевищують вимоги чинних державних стандартів України (ДСТУ) для високомарочних будівельних матеріалів. Радіаційно-гігієнічна оцінка підтверджує їхню безпеку (І клас), що дозволяє використовувати їх у всіх видах будівництва без обмежень. Економічний аналіз доводить, що переробка цих відвалів є високорентабельним заходом, оскільки усуває потребу в капіталоемних розкривних роботах. Таким чином, дослідження демонструє, що ці накопичені відвали є невикористаним високоякісним ресурсом, ревалоризація якого може стати драйвером розвитку циркулярної економіки в будівельній галузі, перетворюючи екологічну проблему на нове джерело доходу.

Ключові слова: відвали відходів; БПЛА; гранулометричний склад відходів; ревалоризація; циркулярна економіка.

Актуальність теми. Накопичення великотоннажних відвалів гірничодобувної промисловості, зокрема відходів обробки граніту та габро, призводить до значних негативних наслідків. Відбувається вилучення з обігу великих площ продуктивних земель, порушення природних ландшафтів, а також забруднення повітряного басейну та підземних вод внаслідок ерозійних процесів. Це створює значне техногенне навантаження на екосистеми. Водночас ці відвали є значним недооціненим сировинним потенціалом, оскільки за своїм хімічним складом та фізико-механічними властивостями вони є аналогами первинної сировини, що використовується у виробництві будівельних матеріалів [1]. Таким чином виникає науково-практичне протиріччя між негативним впливом відвалів та їх ресурсним потенціалом, що потребує наукового обґрунтування шляхів його вирішення.

Зростаючі потреби будівельної галузі вимагають залучення все більших обсягів нерудних корисних копалин. Розробка нових родовищ є ресурсо- та капіталомістким процесом, що супроводжується значним екологічним слідом. Використання відходів каменевидобутку як вторинного матеріального ресурсу дозволяє знизити навантаження на первинні родовища, сприяючи збереженню надр, скоротити енергетичні та матеріальні витрати на виробництво будівельних матеріалів (наприклад, щебеню, заповнювачів для бетону), оскільки значна частина енергоємних операцій (видобуток, первинне дроблення) вже виконана, підвищити комплексну продуктивність гірничодобувних підприємств шляхом перетворення відходів на товарну продукцію [2].

Актуальність дослідження полягає у необхідності розробки комплексного науково-методичного підходу до оцінки відвалів. Такий підхід має враховувати не лише стандартні фізико-механічні показники сировини, а й варіативність її складу в межах техногенного родовища, логістичні аспекти та економічну ефективність переробки [3]. Наукова задача полягає в обґрунтуванні та розробці:

- методик оцінки ресурсного потенціалу відвалів з урахуванням їх неоднорідності;
- ефективних технологій збагачення та переробки техногенної сировини для отримання стандартизованих будівельних матеріалів із заданими властивостями;
- еколого-економічних моделей, що дозволяють оцінити доцільність залучення відвалів у господарський обіг для конкретних умов підприємства та регіону.

Отже, розробка наукових засад комплексної оцінки та утилізації відвалів видобутку граніту та габро є важливим завданням, вирішення якого сприятиме сталому розвитку будівельної та гірничодобувної галузей, зменшенню їх негативного впливу на довкілля та підвищенню ефективності використання природних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Науковий прогрес та посилення екологічних норм висувають нові вимоги до гірничодобувної промисловості. Відвали видобутку, що традиційно розглядалися як відходи виробництва, у світлі вичерпання природних ресурсів переосмислюються як техногенні родовища та цінний вторинний ресурс [4]. Це зумовлює необхідність систематичного дослідження їх властивостей та розробки ефективних шляхів їх використання, зокрема у будівельній індустрії [5].

У роботах [1–3] було проведено комплексне вивчення відвалів гранітних та габрових кар'єрів. Досліджено їхній генезис, фізико-хімічні, мінералогічні та гранулометричні властивості [5]. Також у цих працях вирішено питання класифікації техногенних родовищ за технологічними, геометричними та геологічними критеріями, що є основою для вибору оптимальних способів їх подальшої розробки та переробки [6]. Окрему увагу приділено екологічному аспекту, оскільки відвали є джерелом значних ризиків: забруднення атмосфери пилом та газами від вибухових робіт, зміни кислотно-лужного балансу ґрунтів та підвищення радіаційного фону [6].

Аспекти, пов'язані з традиційним використанням матеріалів з відвалів, є достатньо дослідженими. Так у [7] обґрунтовано застосування крупних та середніх фракцій як заповнювачів для дорожнього будівництва та виробництва бетону. Використання дрібних фракцій (відсіву) як заміника піску, компонента для тротуарної плитки та мінерального порошку для асфальтобетону детально розглянуто в дослідженнях [7, 8]. Застосування інноваційних методів, зокрема безпілотної аерофотозйомки, для точної оцінки об'ємів та гранулометричного складу відвалів дозволяє перетворити їх на керований та інвентаризований ресурс [7, 8].

Щодо досліджень, пов'язаних зі створенням матеріалів з високою доданою вартістю, було вивчено потенціал використання дрібнодисперсних фракцій як хімічно активного компонента. У роботах [7–9] показано можливість створення композитних в'язучих, де відсів з високим вмістом кремнезему є реактивним наповнювачем. Крім того, у дослідженнях [9] вивчається перспектива використання гранітного відсіву як прекурсора для синтезу геополімерних бетонів, що є передовою технологією, яка дозволяє значно скоротити використання портландцементу.

Аналіз літературних джерел показує, що більшість досліджень зосереджена на використанні відвалів як інертних заповнювачів для будівельних матеріалів. Також достатньо повно вивчено їхній негативний вплив на довкілля. Тому варто зосередити подальші дослідження на розробці енергоефективних методів активації хімічного потенціалу дрібних фракцій для створення передових матеріалів, таких як геополімери, та на вивченні можливості вилучення з відвалів цінних супутніх мінералів [10].

Метою статті є проведення комплексної експертної оцінки технологічної та економічної придатності відвалів на трьох українських родовищах – Іллінецькому, Шадурському та Губенківському – для вторинної переробки у високоякісні будівельні матеріали.

Методологія дослідження. В основі методології лежить сучасний підхід, що дозволяє отримати вичерпні дані про техногенні родовища без фізичного втручання, що є швидким, безпечним та економічно ефективним. Протокол, адаптований з передових наукових практик, містить три основні етапи.

1. Збір даних.

Перший етап передбачає виконання низьковисотних (4–8 м над поверхнею) польотів БПЛА, оснащеного цифровою дзеркальною камерою високої роздільної здатності, над усією площею відвалів. Знімання проводиться з високим поздовжнім та поперечним перекриттям знімків (наприклад, 70–80 %), що є необхідною умовою для якісної фотограмметричної обробки. Такий підхід забезпечує отримання зображень з надвисокою просторовою роздільною здатністю (Ground Sample Distance, GSD), що становить менше 2 мм. Ця деталізація є критично важливою, оскільки дозволяє розрізняти та ідентифікувати навіть дрібні фракції гравію, що є ключовим для точної гранулометрії.

2. Фотограмметрична обробка.

На другому етапі зібрані зображення обробляються за допомогою алгоритмів Structure-from-Motion (SfM). Цей процес дозволяє автоматично реконструювати тривимірну геометрію об'єкта з набору двовимірних зображень. Результатом обробки є два ключові продукти:

1. Високоточна цифрова модель рельєфу (Digital Terrain Model, DTM). Ця модель з сантиметровою точністю відтворює топографію відвалу, що дозволяє проводити надзвичайно точні розрахунки його об'єму;

2. Безшовний ортофотоплан. Це географічно прив'язане зображення всієї поверхні відвалу з єдиним масштабом та без спотворень, яке слугує основою для подальшого гранулометричного аналізу.

Створення таких моделей є не просто одноразовим вимірюванням. Це, по суті, створення цифрового двійника ресурсу. На відміну від статичних оцінок, цифровий двійник є динамічним, верифікованим та просторово визначеним інструментом. Його можна періодично оновлювати для моніторингу змін, використовувати для детального планування вибіркової розробки (наприклад, націлюючись на зони з оптимальним фракційним складом), а також для точного управління запасами. Надання таких прозорих та

перевічених даних потенційним клієнтам та інвесторам суттєво знижує ризики, пов'язані з використанням вторинної сировини, та підвищує довіру до продукції.

3. Об'ємний та гранулометричний аналіз.

На заключному етапі DTM використовується для точного розрахунку об'єму накопиченого матеріалу. На ортофотоплан накладається віртуальна сітка (наприклад, з комірками розміром 1×1 м). У межах кожної комірки застосовується програмне забезпечення для цифрової оптичної гранулометрії. Програма в напівавтоматичному режимі ідентифікує окремі уламки (класти), вимірює їхні осі та класифікує за розміром. Це дозволяє побудувати детальні криві розподілу частинок для всієї поверхні відвалу, а не лише для окремих вибірових точок, що дає повне уявлення про гетерогенність або гомогенність матеріалу (рис. 1).

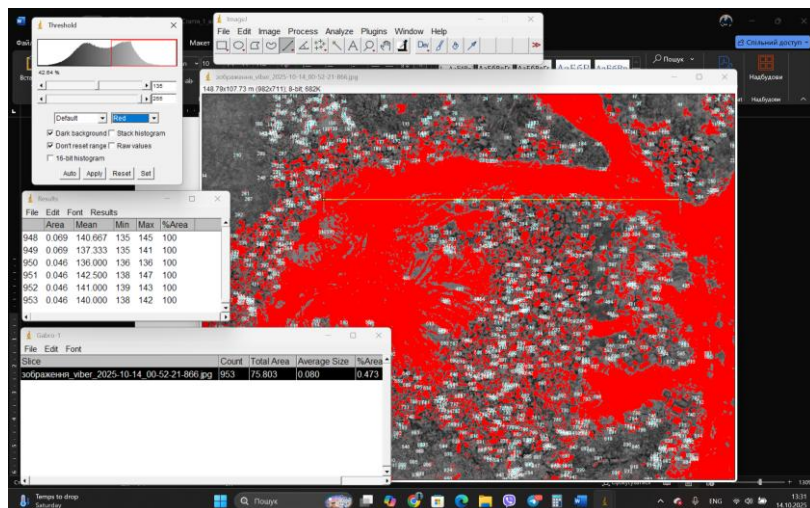


Рис. 1. Застосування програмного продукту ImageJ для визначення гранулометричного складу відвалу гірських порід

Результати та обговорення. Дослідження зосереджено на трьох об'єктах, що є типовими представниками гранітоїдних кар'єрів України, де видобуток орієнтований на виробництво високоякісної облицювальної продукції.

Іллінецький кар'єр (частина Корецького родовища граніту). Це родовище розробляється для видобутку граніту, що використовується переважно для виробництва облицювальних плит, архітектурних елементів та іншої продукції преміум-класу. У процесі видобутку блоків утворюються значні обсяги некондиційної породи та скельних розкритих порід, які складаються у відвали (рис. 2). Саме ці матеріали є об'єктом дослідження.



Рис. 2. Цифрова модель відвалів Іллінецького кар'єру (частина Корецького родовища граніту)

Шадурське родовище габро. На цьому родовищі видобувають габро, яке також використовується для виробництва блочної продукції. Ключовою особливістю цього об'єкта є надзвичайно низький середній промисловий вихід товарних блоків із гірничої маси, що становить лише 18,3 %. Це означає, що понад

80 % видобутої породи переміщується у відвали (рис. 3). Цей факт кардинально змінює статус відвалів: вони є не побічним продуктом, а основним за обсягом матеріалом, що видобувається, і являють собою величезний техногенний ресурс, готовий до переробки.



Рис. 3. Цифрова модель відвалу Шадурське родовище габро

Губенківське родовище. Для цього об'єкта наявна обмежена кількість технічної інформації, що не дозволяє провести повну техніко-економічну оцінку на даному етапі. Проте наявні дані про фракційний склад відвалів дозволяють включити його в аналіз як перспективний об'єкт, що потребує подальшого детального вивчення (рис. 4).



Рис. 4. Цифрова модель відвалу Губенківського родовища

Застосування описаної методології дозволяє отримати точні кількісні дані щодо обсягів та структури відвалів, що є основою для подальшого техніко-економічного обґрунтування.

Обсяги відвалів. Аналіз даних (табл. 1), отриманих за допомогою DTM, показує наявність значних обсягів сировини. На Іллінецькому кар'єрі обсяг відвалів становить 119 235,532 м³. Для Шадурського родовища, враховуючи, що понад 80 % видобутої маси йде у відвали, розрахунковий обсяг накопиченої сировини перевищує 955 900 м³. Ці цифри підкреслюють промисловий масштаб ресурсу, доступного для переробки.

Розподіл частинок за розміром (гранулометрія)

Детальний аналіз ортофотопланів виявляє важливі відмінності у фракційному складі відвалів, що прямо впливає на вибір технології переробки;

– Іллінецьке (граніт): характеризується відносно рівномірним розподілом фракцій. Домінують фракції 0,5–0,75 м (23 %), 0,25–0,5 м (20 %) та 0,1–0,25 м (19 %). Такий склад свідчить про те, що матеріал добре піддається дробленню і дозволяє виробляти широкий асортимент щебеневої продукції різних фракцій;

– Шадурське (габро): демонструє унікальну особливість – виражену домінуючу частку однієї фракції: 0,5–0,75 м, яка становить 40 % від загального обсягу;

– Губенківське: також має переважання великих фракцій: 0,5–0,75 м (35 %) та 0,1–0,25 м (19 %).

Висока гомогенність матеріалу на Шадурському родовищі є не просто статистичним спостереженням, а ключовим фактором, що визначає операційну ефективність майбутнього виробництва. Замість того, щоб проєктувати складний, багатостадійний дробильно-сортувальний комплекс, розрахований на роботу з різномірною сировиною, можна застосувати значно простішу та більш цілеспрямовану технологічну

схему. Це безпосередньо призводить до зниження капітальних витрат на обладнання, зменшення споживання енергії на тонну продукції, спрощення технічного обслуговування та зниження операційних витрат. Таким чином, детальний гранулометричний аналіз відвалів є фундаментальним етапом для оптимізації проєктних рішень та максимізації економічної ефективності переробки техногенних родовищ, забезпечуючи вибір найбільш раціональних технологій для кожного типу сировини.

Таблиця 1

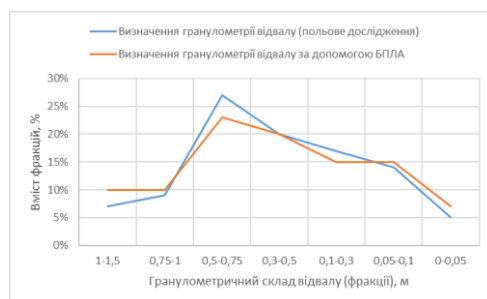
Зведена характеристика відвалів за даними оцінки на основі БПЛА

Назва родовища	Тип породи	Загальний обсяг (м ³)	Домінуючі фракції (м) та їх частка (%)	Ключова гранулометрична особливість
Іллінецьке (Корецьке)	Граніт	119 235,532	0,5–0,75 (23 %), 0,3–0,5 (20 %)	Рівномірний розподіл
Шадурське	Габро	>955 900	0,5–0,75 (40 %)	Висока гомогенність
Губенківське	Граніт	131 544,33	0,5–0,75 (35 %), 0,1–0,3 (19 %)	Переважають великих фракцій

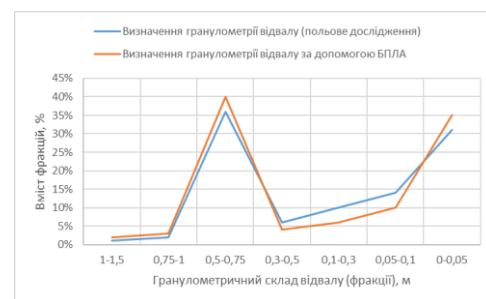
Для оцінки ефективності сучасних дистанційних методів дослідження було проведено порівняльний аналіз гранулометричного складу відвалів, визначеного двома способами: традиційними польовими дослідженнями (ймовірно, ситовим аналізом) та за допомогою безпілотного літального апарата (БПЛА) (рис. 5).

На представлених графіках (рис. 5, а–в) відображено результати для трьох різних ділянок. Встановлено, що в усіх випадках загальні тенденції розподілу частинок за фракціями, отримані обома методами, є схожими, збігаючись у визначенні фракцій з піковим вмістом. Однак ступінь кількісної кореляції даних суттєво відрізняється.

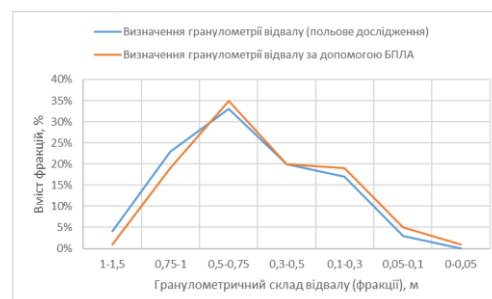
На ділянці Губенківського родовища спостерігається висока збіжність результатів, де криві розподілу практично ідентичні, що підтверджує можливість отримання достовірних даних за допомогою БПЛА. Для ділянки «а» кореляція залишається задовільною, хоча спостерігаються незначні розбіжності у кількісній оцінці пікових значень. Найбільш суттєва розбіжність зафіксована на ділянці Шадурського родовища, де метод з використанням БПЛА показав значно вищий вміст домінуючої фракції (близько 40 %) порівняно з даними польових досліджень (близько 35 %).



а



б



в

Рис. 5. Гранулометричний склад відвалів: а – Іллінецького родовища; б – Шадурського родовища; в – Губенківського родовища

Таким чином, результати дослідження демонструють, що метод визначення гранулометричного складу за допомогою БПЛА є перспективним і може забезпечувати високу точність, проте потребує подальшого вивчення та розробки алгоритмів корекції для мінімізації похибок, що виникають за певних умов.

Аналіз фізико-механічних властивостей порід з відвалів показав, що вони є не просто відходами, а високоякісною сировиною. Межа міцності на стиск для габро з Шадурського родовища становить 244,7 МПа (приблизно 2495 кгс/см²), а для граніту з Корецького – до 1981 кгс/см². Ці показники значно перевищують вимоги ДСТУ Б В.2,7–75–98 навіть для найвищих марок щебеню (наприклад, марка 1400, що відповідає міцності 140 МПа). Це відкриває можливість виробництва високоміцних бетонів для будівництва мостів, аеродромних покриттів та інших інфраструктурних об'єктів, де висуваються підвищені вимоги до міцності.

Показники довговічності, такі як низьке водопоглинання (0,16–0,42 % для граніту) та висока морозостійкість (марка F-50 для обох порід), гарантують тривалий термін служби матеріалів у складних кліматичних умовах України. Висока стійкість до стирання робить їх ідеальними для використання у верхніх шарах дорожнього покриття.

Критично важливим є профіль безпеки матеріалів. Радіаційно-гігієнічна оцінка віднесла породи до I класу радіоактивності (сумарна активність 139–159 Бк/кг), що значно нижче нормативного порогу в 370 Бк/кг. Це дозволяє використовувати їх у всіх видах будівництва, враховуючи житлове, без будь-яких обмежень. Хімічний аналіз габро показав дуже низький вміст триоксиду сірки (SO₃ < 0,1 %), що виключає ризик сульфатної корозії бетону – однієї з поширених причин руйнування бетонних конструкцій.

Незважаючи на очевидні переваги, існують системні виклики, зокрема нерозвиненість ринку вторинної сировини в Україні та відсутність чітких державних стандартів для такої продукції. Це створює невизначеність для споживачів та перешкоди для сертифікації. Однак цей виклик можна перетворити на стратегічну можливість. Компанія, що першою вийде на ринок з продуктом, якість якого підтверджена вичерпним пакетом даних (точна волуметричність, просторово-визначена гранулометрія, повний фізико-хімічний аналіз), може встановити галузевий стандарт. Прозорість та верифікованість даних, отриманих за допомогою сучасної методології, дозволяють побудувати довіру у споживачів та продемонструвати, що вторинний матеріал за якістю перевершує первинний. Це дозволяє не просто конкурувати за ціною, а позиціонувати продукт у преміум-сегменті. В контексті повоєнної відбудови України, де пріоритетом є швидкість, якість та сталий розвиток, такі проекти можуть стати флагманськими прикладами інноваційного підходу до управління ресурсами.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження комплексно обґрунтовує, що відвали, утворені внаслідок видобутку граніту та габро на Іллінецькому, Шадурському та Губенківському родовищах, є не промисловими відходами, а значним високоякісним та економічно привабливим техногенним ресурсом для будівельної індустрії України.

Дослідження підтверджує, що відвали гранітних та габрових кар'єрів в Україні (зокрема Іллінецького, Шадурського та Губенківського родовищ) становлять значний обсяг цінної вторинної сировини. Зокрема, обсяг відвалів на Іллінецькому кар'єрі перевищує 119 тис. м³, а на Шадурському – понад 955 тис. м³, що вказує на їхній промисловий масштаб як техногенних родовищ.

Відвали Шадурського родовища габро вирізняються винятково високою гомогенністю гранулометричного складу, де домінуюча фракція 0,5–0,75 м становить 40 % від загального обсягу. Ця особливість є критично важливою для оптимізації технологічної схеми переробки, дозволяючи застосовувати простіші та більш цілеспрямовані дробильно-сортувальні комплекси.

Фізико-механічні властивості габро з відвалів Шадурського родовища, зокрема міцність на стиск (244,7 МПа) та морозостійкість (F–50), значно перевищують вимоги чинних державних стандартів України для високомарочних будівельних матеріалів. Це підтверджує його придатність для виробництва високоякісного щебеню.

Переробка відвалів має значні економічні переваги порівняно з розробкою нових родовищ. Вона усуває потребу у розкривних роботах, бурінні та підриванні масиву, які є найбільш капіталоемними етапами видобутку. На прикладі Шадурського родовища, де понад 80 % гірничої маси вже переміщено у відвали, це перетворює екологічне зобов'язання на високорентабельний проект.

References:

1. El Berdai, Y. et al. (2024), «Valorization of phosphate mine waste rock as alternative aggregates for high-performance concrete», *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 21, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e03863.
2. Kinnunen, P. et al. (2022), «A review of circular economy strategies for mine tailings», *Cleaner Engineering and Technology*, Vol. 8, doi: 10.1016/j.clet.2022.100499.
3. Ahmari, S. and Zhang, L. (2013), «Durability and leaching behavior of mine tailings-based geopolymer bricks», *Construction and Building Materials*, Vol. 44, pp. 743–750, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.075.
4. Bian, Z. et al. (2012), «The Challenges of Reusing Mining and Mineral-Processing Wastes», *Science*, Vol. 337, Issue 6095, pp. 702–703, doi: 10.1126/science.1224757.

5. El Machi, A. et al. (2024), «Recycling of Mine Wastes in the Concrete Industry: A Review», *Buildings*, doi: 10.3390/buildings14061508.
6. Takechi, H., Aragaki, S. and Irie, M. (2021), «Differentiation of River Sediments Fractions in UAV Aerial Images by Convolution Neural Network», *Remote Sensing*, doi: 10.3390/rs13163188.
7. Arrieta, M. and Zhang, Z.-X. (2024), «Particle size distribution (PSD) estimation using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry for rockfill shear strength characterization», *Acta Geotechnica*, doi: 10.1007/s11440-024-02315-x.
8. Frolov, O.O. and Babychev, I.K. (2021), «Obgruntuvannya bezpechnykh parametriv vidvalu pry sumisnomu skladuvanni rozkryvnykh porid kariery ta vidkhodiv zbahachennia», *Tekhnichna inzheneriia*, doi: 10.26642/ten-2021-1(87)-163-168.
9. Fei, S. et al. (2021), «Assessment of Ensemble Learning to Predict Wheat Grain Yield Based on UAV-Multispectral Reflectance», *Remote Sensing*, doi: 10.3390/rs13122338.
10. Fu, X. et al. (2022), «Fractal Analysis of Particle Distribution and Scale Effect in a Soil–Rock Mixture», *Fractal and Fractional*, doi: 10.3390/fractalfract6020120.

Олійник Олександр Вікторович – здобувач освітньо-наукового ступеня «доктор філософії», спеціальність 184 «Гірництво» Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0004-8988-8612>.

Наукові інтереси:

- відкрита розробка родовищ корисних копалин;
- видобуток та обробка природного каменю.

E-mail: sasha@ztu.edu.ua.

Башинський Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-2945-7683>.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- будівельні матеріали;
- екотехнології.

E-mail: kgt_bsi@ztu.edu.ua.

Oliinyk O.V., Bashynskyi S.I.

A comprehensive assessment of granite and gabbro quarry waste piles as a resource for the construction industry

The study presents a comprehensive assessment of waste dumps generated from the extraction of granite and gabbro at three Ukrainian deposits: Illinetske, Shadurske, and Hubenkivske. The paper proposes and substantiates a methodology that combines photogrammetry using unmanned aerial vehicles (UAVs) with digital optical granulometry for the precise quantitative and qualitative characterization of these anthropogenic resources. The analysis, based on existing technical reports and data, reveals that these waste dumps, which constitute significant volumes (e.g., over 80% of the rock mass at the Shadurske deposit), are not waste but a valuable raw material. Their physical and mechanical properties, particularly their exceptional compressive strength (up to 244.7 MPa for gabbro), low water absorption, and high frost resistance (grade F-50), significantly exceed the requirements of the current state standards of Ukraine (DSTU) for high-grade construction materials. A radiation-hygienic assessment confirms their safety (Class I), allowing their use in all types of construction without restrictions. Economic analysis demonstrates that processing these dumps is a highly profitable endeavor, as it eliminates the need for capital-intensive overburden removal. Thus, the study shows that these accumulated dumps are an untapped, high-quality resource, the revalorization of which can drive the development of a circular economy in the construction industry, transforming an environmental problem into a new source of revenue.

Keywords: waste dumps; UAV; granulometric composition of waste; revalorization; circular economy.

Стаття надійшла до редакції 01.09.2025.