

Петльований М.В., Сай К.С., Борисовська О.О.

НТУ «Дніпровська політехніка»,

м. Дніпро, Україна

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ЗАКЛАДНОГО МАСИВУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ СКЛАДНО ПОРУШЕНОЇ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

Інтенсивний видобуток різноманітних мінеральних ресурсів у зв'язку з технологічний прогресом людства та збільшенням чисельності населення планети призвів до значної шкоди природному навколишньому середовищу, особливо верхньому шару літосфери. Так, деякими науковцями проведена світова масштабна інвентаризація 44929 об'єктів великомасштабного, а також кустарного та дрібномасштабного видобутку, які охоплюють кар'єри, шахти, хвостосховища, відвали пустих порід, технічні водойми, переробні заводи та інші об'єкти, що пов'язані з гірничодобувною діяльністю [1]. Встановлено, що зазначені об'єкти займають 101583 км² земельних площ. За іншими оцінками, потенційний вплив об'єктів гірничодобувної галузі, припускаючи, що він простягається на 50 км від місць видобування, складає близько 50 млн км². Враховуючи стрімке збільшення населення різних країн світу та зростаючий попит на земельні площі, який за останні 30 років відчутно збільшився, проблема відновлення земної поверхні для її подальшого розумного використання набуває все більшого значення [2].

При видобутку корисних копалин як підземним, так і відкритим способом, первинні природні ландшафти трансформуються у гірничо-техногенні, які представлені наступними формами [3]: зони плавного просідання земної поверхні, провальні зони земної поверхні, кар'єрні пустоти, а також висотні накопичення відходів гірництва (відвали пустих порід, хвостосховища). Ці форми техногенного рельєфу створюють суттєве навантаження на всі

компоненти навколишнього середовища та створюють техногенну небезпеку здоров'ю і життю населення, а також об'єктам поверхневої інфраструктури. Для заповнення пустот, утворених внаслідок вилучення корисних копалин, застосовуються різноманітні технології закладання вироблених просторів [4; 5], які знайшли застосування переважно при підземному способі видобутку. При відкритому способі розробки, за умов наявності достатніх запасів відвальних розкривних порід, після закриття кар'єрів на гірничо-технічному етапі рекультивації може бути застосовано традиційне засипання виробленого простору пустими породами. Проте, даний спосіб через фізико-механічні властивості не здатен забезпечити геомеханічну надійність.

Для відновлення стану земної поверхні, повернення земельних площ та їх раціональна інтеграції у структуру в гірничодобувних регіонах, де здійснюється комплексний видобуток корисних копалин, авторами пропонується нова концепція комбінованого закладання утворених техногенних пустот (рис. 1) [6].

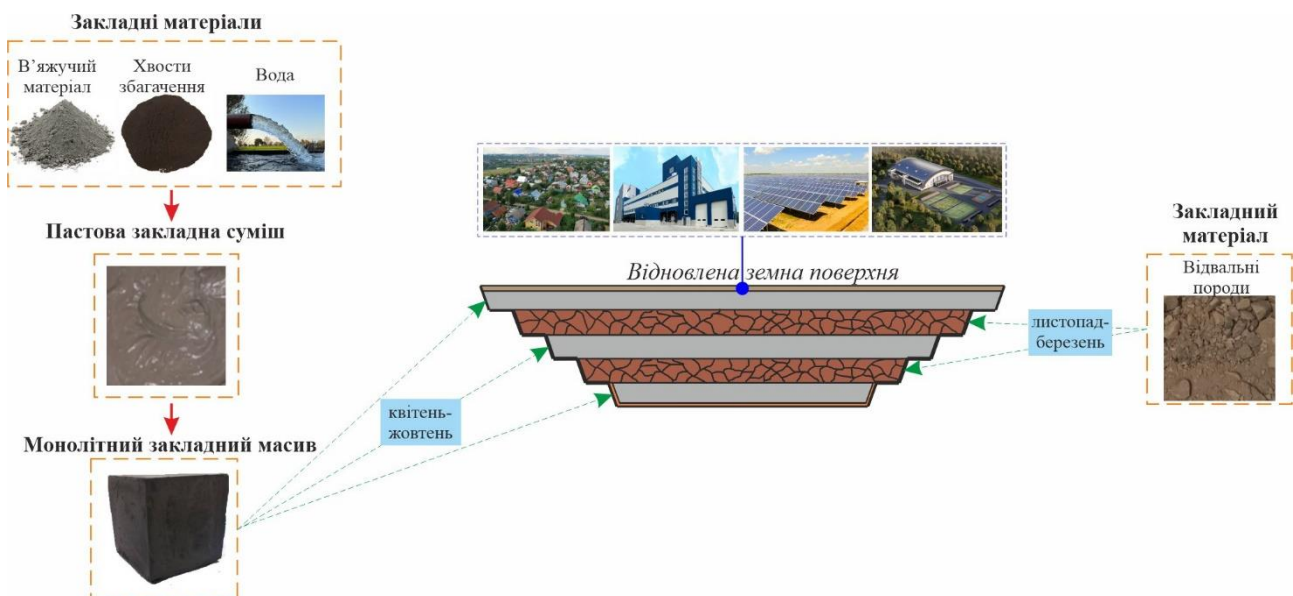


Рис. 1. Концепція комбінованого закладання неактивних кар'єрних пустот

Комбінований підхід передбачає синтез технологій цементованого пастового та породного закладання у виробленому просторі неактивних кар'єрів або провальних зон. Пропонований підхід можливий за умов наявності

достатньої мінерально-сировинної бази закладних матеріалів (в'язучі матеріали, хвости збагачення та відвальні породи) і рекомендується використовувати за умов знаходження неактивних кар'єрних пустот саме у промислово розвинених регіонах, коли відновлена дефіцитна земна поверхня може принести користь їх економічному розвитку. У зв'язку з впливом кліматичних умов на властивості елементів комбінованого закладного масиву рекомендується сезонний підхід у виконанні закладних операцій. Такий підхід, окрім кар'єрних пустот, може бути реалізований для закладання провальних зон земної поверхні від впливу підземного видобутку для сповільнення або ліквідації негативних зсувних процесів гірського масиву та забезпечення техногенної безпеки населенню й розташованим на поверхні інфраструктурним об'єктам.

Запропонований концептуальний підхід може бути впроваджений у Криворізькому залізорудному басейні [7], де є в наявності неактивні й недостатньо рекультивовані кар'єрні пустоти, глибокі провальні зони від впливу підземних гірничих робіт, а також багата мінерально-сировинна база накопичених промислових відходів, які доцільно розглядати як потенційні закладні матеріали.

При реалізації пропонованої технології відновлення земної поверхні на основі формування комбінованого закладного масиву у техногенних пустотах, що складається з пастового та породного закладання, актуальним є питання її еколого-економічної оцінки, а саме, які позитивні екологічні, економічні та соціальні аспекти можуть бути досягнуті. Для більшої деталізації екологічний та економічний ефекти розглядаються окремо. Застосування технології закладання кар'єрних пустот і провальних зон здатне досягти колосального екологічного ефекту, який може бути виражений як кількісно, так і якісно.

Кількісні зміни: утилізація широкого спектру промислових відходів у складі комбінованого закладання (т/рік); зменшення пилового забруднення довкілля об'єктами-накопичувачами відходів (т/рік); відновлення площі земної поверхні (га). *Якісні зміни:* блокування руйнування цінних ґрунтів навколо

провалів від впливу геомеханічних зсувних процесів та кліматичних умов; збереження біорізноманіття екосистем; поява нового альтернативного методу рекультивації порушених земель у регіоні; зменшення ймовірності руйнування цивільної та промислової інфраструктури й загрози життю і здоров'ю населення.

Реалізація таких природоохоронних заходів в умовах промислового урбаністичного регіону матиме і вагомі соціальні наслідки: створення нових робочих місць як для виконання закладних процесів техногенних пустот, так і у процесі раціонального й розумного використання відновлених земельних площ; ліквідація депресивних форм техногенних ландшафтів; зменшення соціальної напруженості у регіоні; підвищення соціально-екологічного іміджу гірничодобувних підприємств і органів місцевої влади.

Рекультиваційні заходи, що пов'язані з відновленням порушеної земної поверхні, для гірничодобувних підприємств завжди є витратною частиною, на яку виділяються відповідні кошти. Проте, у випадку застосування комбінованого закладання для відновлення земної поверхні над кар'єрними пустотами, у промислових регіонах економічний ефект може мати місце, якщо такий проєкт розглядати у довгостроковому періоді. Перевагою цього підходу до рекультивації є те, що відновлюється певна земельна площа, яку можна використати у різних інфраструктурних проєктах та отримувати прибуток від економічної діяльності. Отже, «життєвий цикл» проєкту потрібно розглядати у декілька етапів:

– *період повного закладання кар'єрної пустоти* – у даний період відбуватимуться всі необхідні інвестиційні та операційні витрати на здійснення процесів закладання кар'єрної пустоти та відновлення земної поверхні;

– *період продажу (оренди) відновленої земельної ділянки* – протягом цього часу, залежно від стратегії розвитку регіону, земельна ділянка може бути виставлена на продаж потенційному землекористувачу, згідно її нормативної грошової оцінки, де з часом буде розвинена певна економічна діяльність або відновлена ділянка може бути здана в оренду;

– період економічної діяльності на відновленій земельній площі – у цей період залежно від виду діяльності отримується певний прибуток, з якого сплачуються податки у місцевий бюджет.

Важливо розуміти, що окрім економічних витрат у період повного закладання кар’єрної пустоти, реалізація технології закладання кар’єрних пустот супроводжуватиметься вагомими позитивними екологічними зрушеннями.

Отже, потенційний економічний ефект у довгостроковому періоді від застосування технології відновлення земної поверхні на основі комбінованого закладання може бути представлений через широко поширений за кордоном показник економічної ефективності проєктів NPV (чиста наведена вартість), але з певними трансформаціями:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{-C_t}{(1+i)^t} + \frac{R_{np}}{(1+i)} + \sum_{t=0}^n \frac{R_{e.d.}}{(1+i)^t}, \text{ грн,}$$

де C_t – інвестиційні та операційні витрати у певному році t , грн; R_{np} – одноразовий крупний дохід від продажу землекористувачу земельної ділянки, грн; $R_{e.d.}$ – дохід від ведення економічної діяльності у певному році t , грн.

Використання комбінованого закладання дозволяє не лише ліквідувати кар’єрні пустоти, але й створити нову економічну діяльність у регіоні. Актуальним питанням при реалізації проєкту є джерело інвестиційних та операційних витрат. Для ефективного балансу розподілу коштів може бути сформований промислово-економічний симбіоз гірничодобувних підприємств, що завдали шкоду земній поверхні, та органів державної, регіональної або місцевої влади, які повинні бути зацікавлені у покращенні екологічної ситуації, здоров’я і добробуту населення та прагнути до раціонального землекористування й економічного розвитку регіону або міста. Реалізація подібних проєктів, враховуючи їх масштаб і значимість, ймовірно, вимагатиме внесення змін до чинного законодавства, спрямованих на спрощення процедур узгодження, регламентацію використання відновлених земель та впровадження механізмів стимулювання для залучення інвесторів.

Технологія відновлення земної поверхні на основі формування комбінованого закладного масиву є інноваційним та ефективним рішенням, яке дозволяє поєднати в собі екологічну відповідальність, економічну ефективність та соціальне значення. Такий підхід дає можливість усунути ризики, пов'язані з техногенними пустотами у гірничодобувних регіонах, раціонально використати накопичені відходи виробництва, відновити земельні ділянки для подальшого господарського використання та створити стійку основу для розвитку інфраструктурних і бізнес-проектів.

Вдячність. Дослідження виконані в рамках наукового грантового проекту 2021.01/0306 «Розробка технології відновлення порушених гірничими роботами територій шляхом формування закладних масивів на основі природно-техногенних матеріалів» від Національного фонду досліджень України.

Література

1. Maus, V., Giljum, S., da Silva, D.M., Gutschlhofer, J., da Rosa, R.P., Luckeneder, S., Gass, S.L.B., Lieber, M., & McCallum, I. (2022). An update on global mining land use. *Scientific Data*, 9(1), 433. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01547-4>
2. Sonter, L.J., Dade, M.C., Watson, J.E.M., & Valenta, R.K. (2020). Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity. *Nature Communications*, 11(1), 4174. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17928-5>
3. Petlovanyi, M., Ruskykh, V., Sai, K., & Malashkevych, D. (2024). Prompt determination of predictive parameters for mining-technogenic landscape objects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1348(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012035>
4. Qi, C., & Fourie, A. (2019). Cemented paste backfill for mineral tailings management: Review and future perspectives. *Minerals Engineering*, 144, 106025. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106025>
5. Kuzmenko, O., Dychkovskiy, R., Petlovanyi, M., Buketov, V., Howaniec, N., & Smolinski, A. (2023). Mechanism of interaction of backfill mixtures with natural rock fractures within the zone of their intense manifestation while developing steep ore deposits. *Sustainability*, 15(6), 4889. <https://doi.org/10.3390/su15064889>
6. Bazaluk, O., Petlovanyi, M., Sai, K., Chebanov, M., & Lozynskiy, V. (2024). Comprehensive assessment of the earth's surface state disturbed by mining and ways to improve the situation: case study of Kryvyi Rih Iron-Ore Basin, Ukraine. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1480344. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1480344>
7. Petlovanyi, M., Sai, K., Khalymendyk, O., Borysovska, O., & Sherstiuk, Y. (2023). Analytical research of the parameters and characteristics of new “quarry cavities – backfill material” systems: Case study of Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 17(3), 126-139. <https://doi.org/10.33271/mining17.03.126>