

## ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПАСТОВОГО ЗАКЛАДАННЯ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ КРИВОРІЗЬКОГО РЕГІОНУ

<sup>1</sup>Петльованій М.В., к.т.н., доцент, <sup>1</sup>Халимендик О.В., к.т.н., доцент,  
<sup>1</sup>Сай К.С., к.т.н., доцент

<sup>1</sup>НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**Анотація.** Дослідження присвячені обґрунтуванню доцільності застосування пастового закладання утворених гірничодобувною діяльністю відкритих техногенних пустот для можливості застосування будівельного напрямку рекультивації порушених земель. На підставі вивчення технологічних, екологічних, економічних і соціальних аспектів виявлено низку індикаторів, що можуть свідчити про доцільність та пріоритетність застосування пастового закладання у західній частині міста Кривий Ріг.

**Вступ.** Видобуток мінеральних ресурсів на планеті завдає суттєвої шкоди природньому навколишньому середовищу, особливо верхньому шару земної кори [1, 2]. Для протидії цим негативним наслідкам сьогодні застосовуються «зелені технології видобутку», такі як переробка відходів, закладання виробленого простору, внутрішнє відвалоутворення у кар'єрах, що набувають все більшого поширення [3, 4]. Законодавчі вимоги багатьох країн світу зобов'язують гірничі підприємства виконувати рекультиваційні заходи для повернення порушених земель до стану, наближеного до природного або придатного для подальшого використання [5]. Сьогодні відомі такі різноманітні напрями рекультивації порушених гірничими роботами земель як сільськогосподарська, лісогосподарська, водогосподарська, рекреаційна та будівельна. Застосування будівельного напрямку рекультивації є доцільним, коли порушені гірничими роботами земельні площі знаходяться у промислово розвиненому районі й відновлення котрих може сприяти економічному розвитку, наприклад, будівництво різноманітних інфраструктурних об'єктів промислового, цивільного, енергетичного призначення тощо. Проте, будівельний напрям рекультивації є найбільш складним і рідко застосовуваним, оскільки для відновлення території на місці глибоких виїмок, таких як кар'єри або провальні зони, потрібна значна кількість закладного матеріалу й до відновленої території висуваються високі геотехнічні вимоги.

Питання рекультивації порушених земель актуальні для Криворізького залізорудного регіону, де ступінь порушення земної поверхні комплексним відкрито-підземним видобутком сьогодні набув значних масштабів [6, 7]. Найбільш поширеним методом рекультивації у регіоні є засипання вироблених просторів кар'єрів та провальних зон пустими кар'єрними або шахтними породами, однак сформований масив характеризується пустотністю, високими фільтраційними властивостями та, як наслідок, геомеханічною нестабільністю.

Отже, будівельний напрямок рекультивації потребує створення стабільної основи у техногенних пустотах, яка не забезпечується традиційними методами. Для вирішення цієї проблеми доцільно розглянути можливість адаптації технологій закладання, що застосовуються при підземному способі розробки, для заповнення поверхневих техногенних пустот.

**Метою дослідження** є формування переліку ключових індикаторів, що свідчать про доцільність застосування альтернативних технологій закладання техногенних пустот, для будівельного напрямку рекультивації земної поверхні у Криворізькому залізорудному басейні.

**Методика досліджень.** Для досягнення поставленої мети проведено детальний геопросторовий аналіз кар'єрних пустот і провальних зон шахт у Криворізькому регіоні, оцінено ступінь їх готовності до закладання. Застосовано аналіз сильних та слабких сторін відомих у світі методів закладання вироблених просторів з урахуванням особливостей регіону, що розглядається. Вивчалися технологічні, екологічні, економічні та соціальні аспекти відновлення порушеної гірничими роботами земної поверхні у вказаному регіоні.

**Результати дослідження.** В основу вдосконалення технології відновлення земної поверхні на місці кар'єрів та провалів у промислово розвиненому регіоні покладено трансформацію фізичного стану закладного масиву: від сипучого породного середовища, що, зазвичай, використовується у практиці закладання кар'єрів та провалів, до монолітного затверділого стану. Такий підхід створить умови для стійкої відновленої земної поверхні. Представляє вагоме екологічне та соціальне значення застосування даних технологій закладання пустот для відновлення земної поверхні, коли у закладних операціях може бути використано велике різноманіття промислових відходів як закладних матеріалів, особливо тих, що обмежені в утилізації, та поєднання яких дозволить сформуванню геомеханічно стабільний закладний масив. Запропоновано інноваційний підхід до рекультивації техногенних пустот, який передбачає використання для їх заповнення цементованого пастового закладання, що пояснюється використанням складно утилізованих хвостів збагачення, високою якістю закладного масиву та іншими сприятливими умовами, що створені у Криворізькому регіоні.

На підставі вивчення технологічних, екологічних, економічних і соціальних аспектів м. Кривий Ріг авторами виявлено низку індикаторів, що можуть свідчити про доцільність та пріоритетність застосування пастового закладання у західній частині міста, які представлено у табл. 1.

Узагальнені у табл. 1 індикатори доцільності свідчать про раціоналізм та доцільність застосування технології пастового закладання для реабілітації порушеною гірничодобувною діяльністю земної поверхні, що здатне призвести до значного екологічного, соціального та в перспективі економічного ефекту у м. Кривий Ріг. Вірогідні підвищені інвестиційні витрати на технологію пастового закладання у порівнянні з технологією звичайного засипання пустими породами можуть бути нівельовані розумними інвестиційними проектами будівництва об'єктів на відновленій площі на місці кар'єрів, покращенням екологічної ситуації, забезпечення техногенної безпеки населення й інфраструктури, покращення умов функціонування шахт через закладання провалів.

**Висновки.** На підставі комплексу досліджень обґрунтована доцільність застосування пастового закладання для рекультивації сильно порушеної земної поверхні у Криворізькому залізорудному басейні.

Таблиця 1. Узагальнення індикаторів доцільності застосування пастового закладання для будівельного напрямку рекультивації порушених земель у Криворізькому регіоні

<b>Індикатор доцільності</b>	<b>Стисла характеристика</b>
<i>Наявність порушених гірничими роботами земельних площ в межах крупного промислового центру з високою щільністю населення</i>	Порушені земельні площі, що розташовані в межах міста, у випадку їх відновлення з досягненням геомеханічної надійності можуть бути інтегровані у промислово-економічний простір міста або продані землекористувачу за постійну виплату податків при здійсненні економічної діяльності.
<i>Наявність готових техногенних пустот до закладання</i>	Умовою початку процесів закладання техногенних пустот з метою рекультивації порушених земель є наявність готових до закладання таких пустот (недіючі кар'єри, провальні зони шахт), які мають місце у західній частині м. Кривий Ріг. Провальні зони шахт становлять техногенну безпеку й загрожують безпеці життя і здоров'я населення, руйнують цінні ґрунти та екосистеми.
<i>Наявність хвостосховища як джерела дрібнодисперсних хвостів збагачення</i>	Дрібнодисперсні хвости збагачення складають основу цементованого пастового закладання (65-80%), що разом з в'язучим матеріалом та водою створюють однорідний і монолітний закладний масив. Для заповнення об'ємів утворених пустот потрібна висока забезпеченість хвостами збагачення.
<i>Наявність альтернативної мінерально-сировинної бази закладних матеріалів</i>	Наявність у регіоні таких промислових відходів як металургійні шлаки, золи-виносу та родовища вапняків здатні замінити вагому частину дороговартісного цементу у складі пастового закладання й зменшити витрати на технологію.
<i>Пиління сухих пляжів хвостосховищ та забруднення довкілля</i>	Сухі пляжі хвостосховищ, особливо у теплий період року, здатні до інтенсивного пиління, що забруднює довкілля та завдає шкоди здоров'ю населення. Відкривається можливість утилізації хвостів збагачення, що має значний екологічний сенс.
<i>Складність відведення нових земельних площ під розміщення промислових відходів</i>	Використання сухих та зволжених хвостів збагачення залізних руд з уже намитих і закритих карт хвостосховища дозволить відкрити можливість їх повторного використання для розміщення хвостової пульпи.
<i>Недосконалість традиційного засипання техногенних пустот пустими відвальними породами</i>	Засипка техногенних пустот пустими відвальними породами характеризується пиловим забрудненням, фільтраційними властивостями, пустотністю та схильністю сформованого масиву до усадки, що обмежує будівельний напрямок рекультивації.
<i>Порівняно незначна відстань хвостосховища до утворених техногенних пустот</i>	Сприятливе розташування крупного хвостосховища до утворених техногенних пустот (4-5 км) дозволяє ефективно та екологічно безпечно використати трубопровідний транспорт для доставки пастової закладної суміші й формування масиву.
<i>Порушення земної поверхні є відповідальністю декількох суб'єктів</i>	Відповідальність за порушення земної поверхні та погіршення екологічної ситуації покладається на гірничодобувні підприємства й органи місцевої влади, які повинні бути зацікавлені у нових механізмах рекультивації. Для інвестування проєктів пастового закладання пустот може бути створений промислово-адміністративний симбіоз для збалансованого розподілу коштів.

**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.

#### Список літератури

1. Batur, M., & Babii, K. (2022). Spatial assessment of air pollution due to mining and industrial activities: A case study of Kryvyi Rih, Ukraine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 970(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012004>
2. Petlovanyi, M., Sai, K., Malashkevych, D., Popovych, V., & Khorolskyi, A. (2023). Influence of waste rock dump placement on the geomechanical state of underground mine workings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1156(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1156/1/012007>
3. Yang, K., Zhao, X., Wei, Z., & Zhang, J. (2021). Development overview of paste backfill technology in China's coal mines: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(48), 67957-67969. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16940-6>
4. Yu, H., Zahidi, I., Fai, C.M., Liang, D., & Madsen, D.Ø. (2024). Mineral waste recycling, sustainable chemical engineering, and circular economy. *Results in Engineering*, 21, 101865. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101865>
5. Worlanyo, A.S., & Jiangfeng, L. (2021). Evaluating the environmental and economic impact of mining for post-mined land restoration and land-use: A review. *Journal of Environmental Management*, 279, 111623. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111623>
6. Bazaluk, O., Petlovanyi, M., Sai, K., Chebanov, M., & Lozynskyi, 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>