МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

АДАМОВА Вікторія Олегівна

УДК 622.271.3.003.13

ДИСЕРТАЦІЯ
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІРНИЧО-ТЕХНІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ОБВОДНЕНИХ ПРОСТОРІВ КАР'ЄРІВ

Спеціальність 184 – «Гірництво»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В.О. Адамова

Наукові керівники:

Ложніков Олексій Володимирович, доктор технічних наук, професор

Карстен Дребенштедт, доктор-інженер, професор

Дніпро – 2026

АНОТАЦІЯ

Адамова В.О. Обґрунтування параметрів гірничо-технічної рекультивації обводнених просторів кар'єрів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 184 – «Гірництво». – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, 2026.

Дисертаційна робота присвячена комплексному вирішенню проблеми рекультивації обводнених вироблених просторів кар'єрів будівельної сировини з метою їх подальшого використання як рекреаційної зони. Встановлено, що більшість відпрацьованих кар'єрів піддаються затопленню ґрунтовими водами, що створює передумови для використання їх як штучних водойм із відносно безпечним хімічним складом. Актуальність теми зумовлена тим, що існуючі технології гірничо-технічної рекультивації затоплених вироблених просторів кар'єрів в Україні з метою їх рекреаційного використання є недостатньо ефективними. У результаті значна частина порушених територій використовується з низькою віддачою.

Підвищення ефективності технологічних схем може бути досягнуто за рахунок приведення обводнених вироблених просторів кар'єрів у безпечні рекреаційні зони з подальшим використанням населення. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки методичних підходів та техніко-економічного обґрунтування параметрів створення безпечних та ефективних рекреаційних зон у вироблених просторах обводнених кар'єрів. На підставі визначеної актуальності було сформульовано мету, завдання та методи дослідження.

У першому розділі дисертації проведено комплексний аналіз наукових праць, присвячених створенню рекреаційних зон у вироблених просторах кар'єрів, із детальним розглядом сучасного стану та перспектив рекультивації порушених земель. Зазначено, що в Україні існує понад 1500 покинутих кар'єрів, найбільші за площею зосереджені в Дніпропетровській, Донецькій, Львівській та Луганській областях, а недостатнє фінансування екологічного відновлення

призвело до тривалого невикористання цих територій у господарській діяльності.

Аналіз світового досвіду свідчить про те, що постгірничі території характеризуються значним потенціалом щодо їх трансформації у рекреаційні об’єкти, затребувані серед туристів та місцевого населення. Наведені приклади успішної рекультивації: створення Радонового озера на базі гранітного кар’єру в Миколаївській області, яке стало популярним завдяки унікальній формі та обладнаній інфраструктурі; озеро Закшувек у Польщі, що адаптовано під центр дайвінгу; функціональне зонування території на базі Олександрівського кар’єру в місті Покров, яке забезпечило комфортні умови для відпочинку, а також унікальний приклад будівництва п’ятизіркового готелю “Intercontinental Shanghai Wonderland” у Китаї в межах відпрацьованого кар’єру глибиною понад 80 м.

Особлива увага приділяється сучасним тенденціям рекультивації, які охоплюють не лише класичну біологічну рекультивацію з відновленням рослинності та екосистем, а й ревіталізацію з розміщенням нових інфраструктурних об’єктів для туризму та культурних цілей, що дозволяє гармонійно інтегрувати відновлений ландшафт у навколишнє середовище та задовольнити сучасні соціальні потреби. Таким чином, у першому розділі обґрунтовано, що рекультивація вироблених просторів кар’єрів має не лише екологічне, а й соціально-економічне значення, а створення рекреаційних зон може стати ефективним напрямом постмайнінгу, сприяти розвитку місцевих громад та формувати нові моделі використання техногенних територій.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню методичних положень та визначенню безпечних параметрів рекультивації обводнених вироблених просторів кар’єрів. У ньому послідовно розглянуто нормативні вимоги до рекультиваційних робіт, методики досліджень та моделювання стійкості укосів, а також кількісні залежності між фізико-механічними властивостями порід, рівнем обводнення та параметрами рекреаційних зон.

Виконано аналіз чинних нормативних документів, що регламентують засипку залишкових вироблених просторів кар’єрів, із визначенням ключових вимог до безпеки та екологічної стабільності. Розроблено методику досліджень

для визначення параметрів рекультивації кар’єрів будівельної сировини, яка враховує фізико-механічні властивості піску, суглинків та щебеню у водонасиченому стані. Особливу увагу приділено методиці визначення об’ємів планувальних робіт при створенні рекреаційних зон, що дає змогу оцінити трудомісткість та економічну доцільність різних варіантів формування берегових смуг.

Встановлено залежності між висотою насипу, його шириною та обсягами гірничих робіт, а також визначено закономірності зміни безпечного кута укосу при збільшенні висоти насипу. Отримані результати дають можливість проєктувати технологічні схеми рекультивації та створювати рекреаційні зони в затоплених кар’єрах, що забезпечує їх безпечну експлуатацію та економічну ефективність.

Таким чином, другий розділ формує методичну та наукову основу для подальшої розробки технологічних рішень рекультивації, поєднуючи нормативні вимоги, інженерні розрахунки та моделювання стійкості укосів в складних умовах часткового обводнення.

У третьому розділі визначено безпечні параметри насипів в обводнених вироблених просторах кар’єрів. Виконано польові дослідження з визначення екологічного стану техногенних водойм, утворених в результаті розробки нерудних корисних копалин у Дніпровському районі.

Виконано аналіз впливу фізико-механічних показників відвальних порід на стійкість обводнених насипів у вироблених просторах кар’єрів, на основі якого здійснювалося моделювання безпечних параметрів обводнених рекреаційних зон у вироблених просторах кар’єрів.

При виконанні досліджень застосовано спрощений метод Бішопа для моделювання стійкості укосів насипів у затоплених кар’єрах. Встановлено залежності коефіцієнта запасу стійкості (FOS) від висоти насипу, типу порід та рівня обводнення. Показано, що найбільш небезпечним є часткове підтоплення масиву на 45 – 50% його висоти, яке призводить до зниження FOS в 1,4 – 1,5 раза порівняно з умовами повного затоплення або сухого стану. Визначено рівень

води, що суттєво знижує стійкість укосів, а також кількісні межі безпечних кутів нахилу для різних типів порід: піщаних, суглинистих та щебеневих.

Виконано оцінку екологічної безпеки води у залишкових вироблених просторах кар'єрів Дніпровського району. Встановлено, що хімічний склад води у більшості випадків є відносно безпечним для використання в рекреаційних цілях, однак потребує контролю за вмістом окремих компонентів. На основі аналізу визначено перспективні затоплені кар'єри, які можуть бути трансформовані в рекреаційні водойми, що матиме значний соціально-економічний ефект для регіону.

У четвертому розділі виконано моделювання технологічних схем рекультивації, включно з варіантами часткової засипки вироблених просторів та формування берегових смуг.

Основна увага приділена практичним аспектам реалізації рекультиваційних робіт, вибору техніки та організації процесів. Проаналізовано вплив соціального фактору на вибір напряму рекультивації: враховано потреби місцевих громад, очікування щодо використання територій для відпочинку, туризму або інших соціально значущих цілей. Це дає змогу визначати найбільш прийнятні варіанти постмайнінгового використання кар'єрів.

Проведено техніко-економічне порівняння варіантів рекультивації з урахуванням фізико-механічних властивостей порід і вартості матеріалів. Доведено, що використання суглинків є економічно доцільнішим порівняно з піщаними та щебеневими породами, оскільки дає можливість зменшити вартість робіт у 2,5 – 3,2 раза при збереженні необхідних параметрів стійкості.

Розроблено технологічні схеми рекультивації вироблених просторів кар'єрів при створенні рекреаційних зон. Виконано вибір та обґрунтування типів гірничотранспортного устаткування, розроблено схеми засипки та планувальних робіт, а також наведено приклад формування рекреаційної зони для умов Новомиколаївського кар'єру. Розділ поєднує інженерні розрахунки, економічні оцінки та екологічний аналіз, формуючи комплексне техніко-економічне обґрунтування рекультиваційних рішень. Він доводить, що вибір типу порід та

технологічної схеми рекультивації безпосередньо впливає на обсяги робіт, їхню вартість та безпеку експлуатації рекреаційних зон, а екологічна оцінка води є ключовим фактором у визначенні перспективності конкретних кар'єрів для подальшого використання.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою і завершеним комплексним дослідженням, яке охоплює теоретичні, методичні та прикладні аспекти постмайнінгового використання вироблених територій.

Ключові слова: кар'єр, рекультивація, фізико-механічні властивості гірських порід, обводнений залишковий простір, кут укосу борту кар'єру, порушені землі, екологічний моніторинг.

НАУКОВІ ПРАЦІ, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

1. Lozhnikov, O., & **Adamova, V.** (2025). Technical and economic assessment of technological schemes for reclamation of watered quarry residual spaces. *Heotekhnichna Mekhanika*, (174), 43-58. https://doi.org/10.15407/geotm2025.174.043

Здобувачкою встановлено залежності, що дозволяють оцінити вплив параметрів технологічної схеми рекультивації при формуванні берегової смуги з урахуванням властивостей типу гірських порід на техніко-економічні показники гірничих робіт.

2. Lozhnikov, O.V., **Adamova, V.O.,** & Lomazov, P.K. (2025). Assessment of the suitability of residual quarry waters in the Dnipro district for recreational use. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (34-35), 130-143. https://doi.org/10.32782/uhj.34-35.2025.13

Здобувачкою виконано інструментально-польові та лабораторно-аналітичні дослідження, які використовувалися при комплексній оцінці сучасного стану водойм у вироблених просторах кар'єрів.

Статті у виданнях інших держав, що індексуються в наукометричній базі даних Scopus і Web of Science:

3. Lozhnikov, O.V., **Adamova, V.O**., & Slivenko, M.M. (2024). Justification of the safe parameters of recreational zones during the reclamation of watered residual quarry spaces. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 85-92. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-5/085

Здобувачка встановила безпечні параметри рекреаційних зон при їх спорудженні в обводненому просторі кар'єру з урахуванням фізико-механічних властивостей насипів з піску, суглинків та подрібнених скельних порід шляхом обґрунтування стійкості їх укосів.

4. Lozhnikov, O., & **Adamova, V.** (2024). Methodology for determining the scope of reclamation works when forming recreational zone in the quarry residual space. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1348*(1), 012043. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012043

Здобувачкою встановлено вплив ширини насипної ділянки ґрунту в обводненому просторі кар'єру на геометричні параметри насипу з використанням різних методик розрахунку об'ємів гірничих робіт.

Матеріали міжнародних наукових конференцій:

5. Ложніков, О.В., **Адамова, В.О.** (2022). Ревіталізація порушених земель при розробці пологоспадних родовищ. У Матеріалах *IX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів»* (с. 54-57). Житомир, Україна. Режим доступу: https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/05/povnyy-tekst-1.pdf

Виконано аналіз напрямів рекультивації порушених земель при розробці пологоспадних родовищ.

6. Lozhnikov, O., & **Adamova, V.** (2023). Global trends in technological solutions for restoration of pit disturbed lands. In *International scientific-practical conference "Science, education, technology and society: problems and prospects"* (pp. 53-54). Bratislava, Slovakia. Retrieved from: file:///C:/Users/kater/Downloads/12%20%D0%B6%D0%BE%D0%B2%D1%82%D0%BD%D1%8F_%D0%B7%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20(1).pdf

Визначено світові тенденції рекультивації земель, порушених відкритою розробкою.

7. **Адамова, В.О.,** Ложніков, О.В. (2023). Методичні положення з часткової засипки вироблених просторів кар'єрів під час рекультиваційних робіт. У *Матеріалах Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми гірництва та будівництва»* (с. 9-10). Житомир, Україна. https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/01/povnyj-tekst-3.pdf

Встановлено методичні підходи при частковій засипці вироблених просторів кар'єрів під час рекультиваційних робіт

8. **Адамова, В.О.**, Ложніков, О.В. (2024). Аналіз методичних підходів до визначення кінцевого рівня води в залишковому просторі кар'єру. У *Матеріалах XIV міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна»* (с. 250-251). Дніпро, Україна. Режим доступу: https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/30e48bab-37ef-4660-903b-ea8127619ecb/content

Виконано аналіз методик визначення кінцевого рівня води в залишкових просторах кар'єрів.

9. **Адамова, В.О.,** Ложніков, О.В. (2024). Оцінка впливу соціального фактора на вибір напряму рекультивації виробленого простору кар'єра. У *Матеріалах Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції студентів та молодих вчених. Секція: Гірничі технології та технології будівництва* (с. 143). Житомир, Україна. Режим доступу: https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/06/sekcija-7.pdf

Виконано аналіз підходів до визначення впливу соціального фактору на вибір напряму рекультивації виробленого простору кар'єра.

10. **Адамова, В.О.** (2024). Методика визначення об'ємів планувальних робіт при створенні рекреаційних зон у кар'єрі. *Всеукраїнський конкурс студентів і молодих вчених з міжнародною участю «Інтелект молоді. Раціональне природокористування та новітні енергоефективні технології»*. Київ, Україна: НТУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Розроблено методичні підходи до визначення об'ємів планувальних робіт при створенні рекреаційних зон в обводнених просторах кар'єрів.

ABSTRACT

Adamova V.O. Substantiating the parameters of mining and technical reclamation of the quarries with flooded residual spaces. – Qualification scientific work submitted as a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 184 – "Mining". – Dnipro University of Technology, Dnipro, 2026.

The thesis is devoted to a comprehensive solution to the problem of reclaiming flooded quarries of building materials for their further use as recreational areas. It was established that the majority of depleted quarries are subject to groundwater flooding, which creates the prerequisites for their use as artificial reservoirs with a relatively safe chemical composition. The relevance of the topic is that the existing technologies for mining and technical reclamation of flooded quarry areas in Ukraine for recreational use are insufficient; as a result, a significant number of disturbed areas are used with low efficiency. Increasing the efficiency of technological schemes can be achieved by converting flooded mined areas in quarries into safe recreational areas for subsequent use by the population. In this regard, there is a need to develop methodological approaches and feasibility studies for the parameters required to create safe and effective recreational zones in flooded quarries. Based on the identified relevance, the study's goal, objectives, and methods were formulated.

The first chapter of the dissertation provides a comprehensive analysis of scientific literature on the creation of recreational zones in quarries, with a detailed examination of the current state and prospects for reclamation of disturbed lands. It is emphasized that there are over 1,500 abandoned quarries in Ukraine, the largest of which are concentrated in the Dnipropetrovsk, Donetsk, Lviv, and Luhansk regions, and that insufficient funding for ecological restoration has led to the long-term non-use of these territories for economic activities.

Based on an analysis of global experience, it was established that post-mining territories have significant potential to be transformed into recreational facilities in demand among tourists and local residents. Examples of successful reclamation are given: the creation of Radon Lake based on a granite quarry in the Mykolaiv region,

which became popular due to its unique shape and infrastructure; Lake Zakszuwek in Poland, which has become a diving center; functional zoning of the territory based on the Oleksandrivskyi quarry in the city of Pokrov, which provided comfortable recreation conditions; as well as a unique example of the construction of a five-star Intercontinental Shanghai Wonderland hotel in China within the boundaries of a depleted quarry 80 m deep.

Special attention is paid to modern reclamation trends, which include not only classical biological reclamation with the restoration of vegetation and ecosystems, but also revitalization through the placement of new infrastructure facilities for tourism and cultural purposes, thereby allowing the harmonious integration of the restored landscape into the environment and meeting modern social needs. Thus, the first section substantiates that the reclamation of mined quarry spaces has not only environmental but also socio-economic significance, and that the creation of recreational zones can be an effective direction for post-mining, contributing to the development of local communities and forming new models of using man-caused territories.

The second chapter is devoted to justifying the methodological provisions and determining safe parameters for the reclamation of flooded quarries. It consistently considers regulatory requirements for reclamation works, research methods, and slope stability modeling, as well as quantitative dependencies among rock physical and mechanical properties, flooding levels, and recreational zone parameters.

An analysis of current regulatory documents governing the backfilling of residual mined areas in quarries was conducted, identifying key requirements for safety and environmental stability. A research methodology was developed to determine the parameters for the reclamation of quarries for building materials, taking into account the physical and mechanical properties of sand, loam, and crushed stone in a water-saturated state. Special attention is paid to the methodology for determining the volume of planning work when creating recreational zones, which enables the assessment of the labor intensity and economic feasibility of various options for forming coastal strips.

Establishing the relationship between the height of the embankment, its width, and the volume of earthworks, as well as determining the pattern of changes in the safe slope angle with increasing embankment height. The results obtained are used to design technological schemes for reclamation and the creation of recreational zones in flooded quarries, which ensures their safe operation and economic efficiency.

Thus, the second chapter provides a methodological and scientific basis for the further development of technological solutions for reclamation, combining regulatory requirements, engineering calculations, and modeling of slope stability under difficult conditions of partial flooding.

In the third chapter, it defines the safe parameters of embankments in flooded quarries. Field studies have been conducted to assess the ecological state of technogenic reservoirs formed during the non-metallic mining in the Dnipro district.

An analysis of the influence of physical and mechanical indicators of waste rock on the stability of flooded embankments in quarries was conducted, based on which the safe parameters of flooded recreational zones in quarries were modeled.

When performing the research, a simplified Bishop method was used to model the stability of embankment slopes in flooded quarries. The dependence of the stability factor (FOS) on the embankment height, rock type, and flooding level was established. It is shown that the most dangerous is partial flooding of the massif by 45–50% of its height, which leads to a decrease in FOS by 1.4–1.5 times compared to conditions of complete flooding or a dry state. The water level that significantly reduces the stability of slopes and the quantitative limits of safe angles of inclination for different types of rocks: sandy, loamy, and crushed stone were determined. An assessment of the ecological safety of water in the residual pits in the Dnipro district was performed. It was established that, in most cases, the chemical composition of water is relatively safe for recreational use but requires control over the concentrations of components. Based on the analysis, promising flooded quarries were identified that can be transformed into recreational reservoirs, with a significant socio-economic impact on the region.

In the fourth chapter, the modeling of technological schemes for reclamation was performed, including options for partial backfilling of mined spaces and the formation

of coastal strips. Main attention is paid to the practical aspects of implementing reclamation works, the selection of equipment, and the organization of processes. The influence of the social factor on the direction of reclamation was analyzed, with the needs of local communities and expectations regarding the use of territories for recreation, tourism, or other socially significant purposes considered. This allows us to determine the most acceptable options for post-mining use of quarries.

A technical and economic comparison of reclamation options was conducted, accounting for rock physical and mechanical properties and material costs. It was shown that the use of loam is more cost-effective than sand and gravel, as it allows reducing the cost of work by 2.5–3.2 times while maintaining the necessary stability parameters.

Technological schemes for the reclamation of quarries' mined spaces to create recreational zones were developed. The selection and justification of the types of mining and transport equipment were carried out; backfilling schemes and planning works were developed; and an example of the formation of a recreational zone based on the Novomykolaivskyi quarry was also provided. Thus, the fourth chapter combines engineering calculations, economic assessments, and environmental analyses to provide a comprehensive technical and economic justification for reclamation solutions. It proves that the choice of rock type and the technological scheme of reclamation directly affect the volume of work, their cost, and the safety of recreational zone operations, and that the ecological assessment of water is a key factor in determining the prospects of specific quarries for further use.

Thus, the dissertation is a completed scientific research work, a completed comprehensive study that covers theoretical, methodological, and applied aspects of post-mining use of mined areas.

Keywords: quarry, reclamation, physical and mechanical properties of rocks, waterlogged residual space, quarry slope angle, disturbed lands, environmental monitoring.

ЗМІСТ

ВСТУП 17

Розділ 1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ РОБІТ, ПРИСВЯЧЕНИХ СТВОРЕННЮ РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН У ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРАХ КАР'ЄРІВ 23

1.1 Сучасний стан і перспективи рекультивації обводнених вироблених просторів кар'єрів 23

1.2 Аналіз і вибір напрямів відновлення порушених земель при рекультивації залишкових вироблених просторів кар'єрів 30

1.3 Мета, задачі та методи дослідження 34

1.4 Висновки за розділом 37

Розділ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ ДО ВИБОРУ БЕЗПЕЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ОБВОДНЕНИХ ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРІВ КАР'ЄРІВ 38

2.1 Аналіз нормативних вимог до рекультивації при засипанні залишкових вироблених просторів кар'єрів 38

2.2 Інвентаризація обводнених вироблених просторів кар'єрів будівельної сировини та визначення вихідних даних для досліджень 41

2.3 Розробка методичних підходів до визначення параметрів гірничо-технічної рекультивації обводнених вироблених просторів кар'єрів будівельної сировини 44

2.4 Розробка методики визначення об'ємів гірничих робіт при створенні рекреаційних зон у виробленому просторі кар'єру 53

2.4.1 Методика розрахунку об'єму гірничих робіт при спорудженні вузької берегової зони відпочинку ($Wb < H/tg\alpha$) 53

2.4.2 Методика розрахунку об'єму гірничих робіт при спорудженні нормальної берегової зони відпочинку ($Wb = H/tg\alpha$) 55

2.4.3 Методика розрахунку об’єму гірничих робіт при спорудженні широкої берегової зони відпочинку (Wb > H/tgα) 58
2.5 Висновки за розділом 60
Розділ 3 ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАСИПІВ В ОБВОДНЕНИХ ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРАХ КАРЄРІВ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЙМ 62
3.1 Аналіз впливу фізико-механічних показників відвальних порід на стійкість обводнених насипів у вироблених просторах кар’єрів 62
3.2 Моделювання безпечних параметрів обводнених рекреаційних зон у вироблених просторах кар’єрів 65
3.3 Обґрунтування безпечних параметрів рекреаційних зон при рекультивації обводнених вироблених просторів кар’єрів 79
3.4 Визначення екологічної безпеки води в залишкових вироблених просторах кар’єрів Дніпровського району 81
3.5 Висновки за розділом 92
Розділ 4 ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРІВ КАР’ЄРІВ ПРИ СТВОРЕННІ РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН 95
4.1 Оцінка впливу соціального фактору на вибір напряму рекультивації виробленого простору кар’єру 95
4.2 Визначення вплину фізико-механічних властивостей порід на техніко-економічні показники рекультивації обводнених просторів кар’єрів 97
4.2.1 Встановлення впливу фізико-механічних властивостей відвальних порід на об’єми рекультиваційних робіт при створенні рекреаційної зони 98
4.2.2 Визначення техніко-економічних показників при спорудженні рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру 99

4.3 Порівняння техніко-економічних показників технологічних схем рекультивації під час засипання або розробці обводнених бортів кар’єрів 102
4.4 Визначення перспективних затоплених кар’єрів для створення рекреаційних водойм Дніпровського району 119
4.5 Розробка рекомендацій зі створення зони відпочинку в обводненому виробленому просторі Новомиколаївського кар’єру 125
4.6 Висновки за розділом 129
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 134
ДОДАТОК А 151
ДОДАТОК Б 153

ВСТУП

Актуальність. Інтенсивний видобуток корисних копалин відкритим способом призводить до утворення значних площ порушених земель, які довгий період використовують як землі промисловості. Основними об'єктами зі зміненим ландшафтом гірничих підприємств після їх відпрацювання є вироблені простори кар'єрів, зовнішні відвали, а також хвостосховища в тому випадку, якщо застосовувалися процеси збагачення.

Найбільш поширеними за кількістю є кар'єри будівельної сировини, які мають відносно невеликі розміри, що обумовлено низькою продуктивністю підприємств. Ці кар'єри, як правило, розташовані на незначній відстані від населених пунктів, що дає змогу мінімізувати транспортні витрати під час доставки корисних копалин споживачам. Завершення гірничих робіт на зазначених підприємствах відбувається у зв'язку з досягненням кінцевих контурів кар'єру або у разі позапланового затоплення гірничих виробок ґрунтовими водами.

Майже всі відпрацьовані кар'єри будівельної сировини надалі піддаються затопленню поверхневими та ґрунтовими водами, що перетворює їх вироблені простри на штучні водойми з відносно безпечним хімічним складом для людей і тварин.

Таким чином, після відпрацювання кар'єри будівельної сировини стають привабливими об'єктами для рекреаційного призначення, ефективність використання яких залежить від сприятливого рельєфу поверхні, сформованого в ході виконання рекультиваційних робіт.

Метою дисертаційної робити є обґрунтування методичних підходів до створення безпечних рекреаційних зон у вироблених просторах обводнених кар'єрів будівельної сировини.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні **основні завдання:**

1. Проаналізувати існуючі підходи до рекультивації вироблених просторів кар'єрів та проблеми створення рекреаційних зон в обводнених умовах.

2. Розробити методику визначення об’ємів гірничих робіт для формування рекреаційних зон на бортах обводнених кар’єрів з урахуванням їх геометричних параметрів.

3. Встановити вплив рівня обводнення, фізико-механічних властивостей порід та геометрії насипів на стійкість укосів рекреаційних зон і визначити їх безпечні параметри.

4. Виконати техніко-економічну оцінку та порівняння запропонованих технологічних схем рекультивації при створенні берегової смуги.

5. Розробити рекомендації щодо вибору оптимальних параметрів та технологічних схем рекультивації при створенні рекреаційних зон в обводнених кар’єрах.

Наукова ідея дисертаційної роботи полягає у розробці та обґрунтуванні методичних підходів до гірничо-технічної рекультивації обводнених вироблених просторів кар’єрів будівельної сировини з метою їх перетворення на безпечні та економічно ефективні рекреаційні зони. Вона спрямована на поєднання інженерних, екологічних та соціально-економічних аспектів рекультивації, що дає можливість не лише відновити порушені території, а й надати їм нове суспільно корисне призначення. Основою ідеї є встановлення кількісних залежностей між фізико-механічними властивостями порід, рівнем обводнення та геометричними параметрами укосів, що забезпечує можливість прогнозування стійкості та безпеки експлуатації берегових смуг.

Об’єктом дослідження є гірничо-технічна рекультивація вироблених просторів кар’єрів будівельної сировини при створенні рекреаційних зон в умовах часткового або повного обводнення гірничих виробок.

Предмет дослідження – технологічні схеми та техніко-економічні показники рекультивації обводнених вироблених просторів кар’єрів будівельної сировини при створенні рекреаційної зони в межах берегової смуги.

Методом дослідження є спрощений метод Бішопа (Bishop Simplified Method), реалізований у програмному комплексі K-Mine, який використано для визначення впливу рівня обводнення виробленого простору кар’єру на стійкість

насипу з різних типів гірських порід при створенні рекреаційної зони під час гірничо-технічної рекультивації.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Встановлено вплив висоти формування щебеневого насипу від стійкого кута нахилу обводненого укосу, який дозволив визначити, що зі збільшенням висоти насипу з 20 до 80 м безпечний кут укосу зменшиться з 46 до 26°.

2. Визначено вплив рівня обводненості на стійкісні показники насипів у виробленому просторі кар'єру, що дозволяє встановити найменший показник FOS, який становить 0,57 при використанні піщаних порід, висоті насипу 80 м та обводненості 40%.

3. Встановлені залежності показника ($FOS \geq 1{,}5$) в умовах часткового обводнення підтверджують, що найменш стійкими є масиви, які обводнені на 45 – 50% відносно висоти насипу, відповідно для забезпечення стійкості насипу рекреаційної зони необхідно передбачати рівень води у водоймі нижче проєктної позначки поверхні.

4. Встановлено залежність об'єму гірничих робіт від висоти насипу при створенні вузьких, нормальних і широких берегових смуг у кар'єрі, яка дозволила визначити: при збільшенні висоти насипу з 20 м до 100 м з шириною смуги 50 м об'єм гірничих робіт збільшується в 11 разів з 250 тис.м^3 до 2,67 млн м^3 за умови $W_b > H/tg\alpha$.

5. Встановлено кількісні залежності безпечних кутів нахилу укосів насипів рекреаційних зон від висоти насипу, типу відвальних порід (пісок, суглинок, щебінь) та рівня обводнення виробленого простору кар'єру, що дало можливість визначити критичні рівні води, які суттєво знижують стійкість.

Практичне значення роботи полягає:

1. Вперше розроблено комплексну методику визначення об'ємів планувальних робіт при створенні рекреаційних зон на бортах кар'єрів, яка враховує співвідношення ширини насипної ділянки та горизонтальної проєкції борту в обводнених умовах.

2. Розроблені методики визначення об’ємів для створення берегових смуг різної ширини при рекультиваційних роботах дають змогу на етапі проєктування встановити оптимальні об’єми гірничих робіт для створення рекреаційних зон, мінімізуючи витрати матеріалів та фінансові ресурси.

3. Встановлені безпечні параметри укосів насипів (залежно від типу порід, висоти та рівня обводнення) забезпечують довготривалу стійкість та безпеку експлуатації рекреаційних зон.

4. Результати техніко-економічного аналізу схем рекультивації надають інструмент для прийняття обґрунтованих рішень щодо вибору найбільш ефективного способу відновлення порушених територій кар’єрів.

5. Розроблені рекомендації щодо вибору матеріалів для формування насипів із пісків, суглинків та скельних порід дають змогу оптимізувати вартість рекультиваційних робіт.

6. Результати можуть бути використані проєктними організаціями при розробці проєктів рекультивації кар’єрів та органами місцевого самоврядування для планування розвитку територій.

Впровадження результатів роботи. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі при викладанні таких дисциплін, як «Технологія відкритої розробки родовищ корисних копалин», «Рекультивація земель порушених відкритими гірничими роботами» для студентів спеціальності G16 «Гірництво та нафтогазова інженерія». Також результати досліджень були впроваджені в роботу проєктного інституту ДП «УкрНДІпроект» при виконанні оцінки ефективності рекультиваційних робіт (акт впровадження 02 березня 2026 р.)

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження дисертаційної роботи виконано відповідно до досліджень, які пов’язані з науковою програмою НТУ «Дніпровська політехніка»: «Обґрунтування технологічних рішень екологобезпечного освоєння мінеральних ресурсів в умовах відбудови країни у воєнний і післявоєнний періоди», (2023 – 2025 р., № держреєстрації 0123U101759), а також із госпдоговірною темою: «Робочий

проєкт розробки та рекультивації Чабанівської ділянки Чабанівського родовища глин» (2023 р., №071311/23-ТХ-ПЗ), в яких застосовані рішення щодо методичних підходів до обґрунтування безпечних параметрів рекреаційних зон у вироблених просторах обводнених кар'єрів.

Особистий внесок здобувача. Основні положення, які виносяться на захист, сформульовані автором самостійно. Проведено аналіз теоретичних моделей, математичне моделювання, експериментальні дослідження, обробку отриманих результатів, розроблено практичні рекомендації з гірничо-технічної рекультивації обводнених вироблених просторів кар'єрів для використання у рекреаційних цілях.

Апробація результатів дослідження. Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях: 9 Всеукраїнська науково-практична конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів» (17 листопада 2022 р., м. Житомир); International scientific-practical conference "Science, education, technology and society: problems and prospects" (12 жовтня 2023 р., м. Братислава); Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні проблеми гірництва та будівництва» (23 листопада 2023 р., м. Житомир); 14 Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та молодих вчених «Наукова весна» (27-29 березня 2024 р., НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро); Всеукраїнська науково-практична on-line конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Гірничі, будівельні, природоохоронні технології та екологія» (15 травня 2024 р., м. Житомир); 5 Всеукраїнський конкурс студентів і молодих вчених з міжнародною участю «Інтелект молоді. Раціональне природокористування та новітні енергоефективні технології» (17 жовтня 2024 р., НТУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 10 наукових праць, у тому числі 2 статті у фахових наукових виданнях з переліку МОН України, 2 статті у виданнях, що індексовані у наукометричних базах

даних Scopus та/або Web of Science, 6 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел зі 140 найменувань на 17 сторінках; містить 133 сторінки машинописного тексту, 17 таблиць, 43 рисунка, 2 додатки на 3 сторінках; загальний обсяг дисертації – 153 сторінки.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ НАУКОВИХ РОБІТ, ПРИСВЯЧЕНИХ СТВОРЕННЮ РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН У ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРАХ КАР'ЄРІВ

1.1 Сучасний стан і перспективи рекультивації обводнених вироблених просторів кар'єрів

Інтенсивний видобуток корисних копалин відкритим способом призводить до утворення значних площ пошкоджених земель, які потребують відновлення. На територіях колишніх гірничодобувних підприємств знаходиться велика кількість промислових об'єктів, які майже не використовуються в господарських цілях. У зв'язку з цим актуальним є питання приведення покинутих промислових територій у стан, що дає змогу використовувати їх у господарській діяльності [1].

Проблема ускладнюється тим, що в Україні налічується понад 1500 покинутих кар'єрів. Більшість земель, порушених гірничими роботами, розташовані в Дніпропетровській (36,6 тис. га), Донецькій (25,2 тис. га), Львівській (11,6 тис. га) та Луганській (10,6 тис. га) областях. Це пов'язано з тим, що свого часу складні економічні умови призвели до скорочення фінансової підтримки екологічного відновлення гірничодобувних територій. Внаслідок недостатнього фінансування великі площі порушених земель протягом багатьох років залишалися поза господарською діяльністю [2].

Аналіз екологічних наслідків гірничодобувної діяльності вимагає не лише якісних характеристик, а й чіткої кількісної оцінки. Одним із найбільш показових індикаторів є площі земель, порушених у результаті видобувних робіт [3]. Для наочного розуміння масштабу та розподілу порушених територій наведено діаграму, що відображає дані за 2022 рік (див. рис. 1.1).

Діаграма відображає площі земель, порушених гірничими роботами в Україні у 2022 році, і наочно показує, де зосереджені основні екологічні проблеми. Абсолютним лідером є Дніпропетровська область, яка має найбільші площі порушених земель, адже саме тут зосереджені великі гірничо-металургійні підприємства та кар'єри. Донецька та Луганська області посідають

друге та третє місце відповідно, що також пояснюється їхньою історичною роллю як центрів вугільної та металургійної промисловості. Дещо менші, але все ж значні показники мають Кіровоградська та Запорізька області, де активно розробляються рудні та будівельні матеріали. Решта регіонів України демонструють відносно низькі значення через те, що в більшості випадків площі порушених земель не перевищують кількох тисяч гектарів, а в західних і північних областях вони майже незначні.

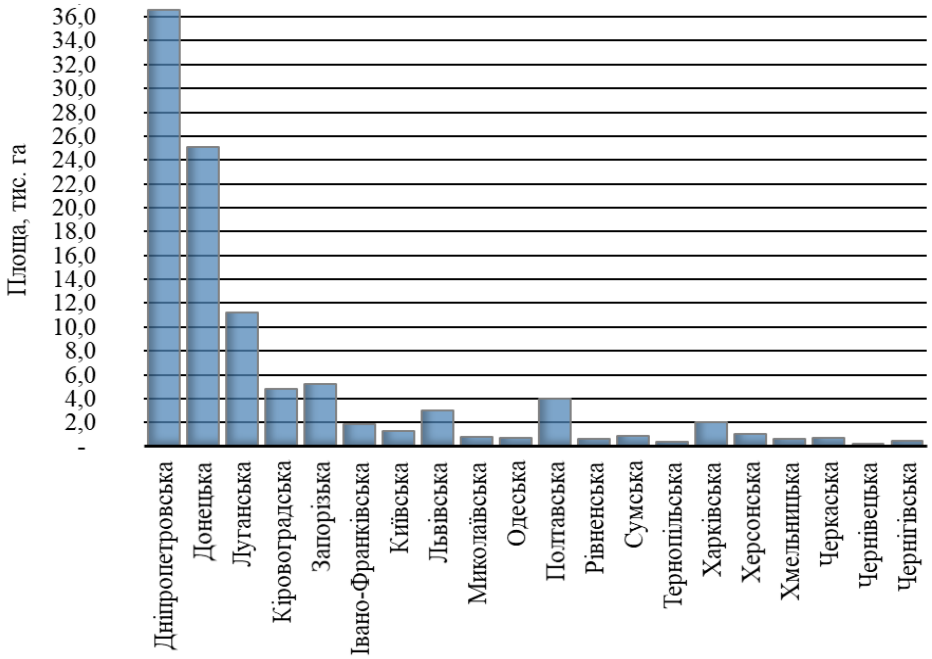


Рисунок 1.1 – Площі земель, порушених гірничими роботами в Україні на 2022 рік, тис. га

Аналіз світового досвіду використання постгірничих територій показує, що новостворені рекреаційні об’єкти на техногенних ділянках користуються досить високим попитом серед туристів та місцевих відвідувачів. До таких територій можуть належати діючі та закриті кар’єри, відвали, хвостосховища тощо. Значна частина порушених земель, відвалів та хвостосховищ повинна бути відновлена до рівня проведення технічної та біологічної рекультивації з подальшою посадкою рослин та відновленням екосистеми. Однак частина територій, представлена залишковими траншеями та виробленим простором кар’єру, залишається привабливою для створення туристичних об’єктів [2], [4].

У дослідженнях [5] проведено огляд світового досвіду рекультивації порушених земель, зокрема біологічної рекультивації. Проведено порівняльний аналіз методів рекультивації в різних країнах з акцентом на використанні рослинності, однак деталізація щодо адаптації методів до українських умов (ґрунти, клімат, флора) є недостатньою.

Проаналізовано вітчизняний та міжнародний досвід рекультивації відпрацьованих кар'єрів з метою створення естетично привабливих об'єктів шляхом затоплення їх залишкових виробок водою. Одним із найефективніших прикладів є створення Радонового озера на базі гранітного кар'єру, розташованого в селі Мигія Миколаївської області [6]. Цей арт-об'єкт особливо популярний завдяки своїй естетично привабливій формі кованого серця та зіплайнам, встановленим над поверхнею води.

Окрім національного досвіду рекультивації в Україні, у світі гірничої науки існує безліч прикладів успішних технологічних рішень. Затоплені виробки кар'єру Закшувек стали основою для створення одного з найпопулярніших місць для дайвінгу в Польщі. Привабливість цього озера полягає в тому, що під водою можна знайти різні затоплені об'єкти [7].

Варто зазначити, що в сучасному світі дедалі частіше застосовується такий вид рекультивації, як ревіталізація з розміщенням у кар'єрі нових інфраструктурних об'єктів для туристичних цілей. Це пов'язано з тим, що за сучасними уявленнями відновлений ландшафт повинен доповнювати прилеглу територію такими елементами, які відповідають сучасним і майбутнім інтересам людей та гармонійно вписуються в навколишнє середовище [8].

Класичним прикладом трансформації кар'єрів є м. Покров Дніпропетровської області, де функціональне зонування території було здійснено на базі Олександрівського кар'єру з урахуванням просторової структури ландшафту. Це дало змогу забезпечити раціональність планувальних рішень та комфортність умов відпочинку [9].

Одним із найяскравіших і найкреативніших прикладів у сфері ревіталізації є китайський проєкт будівництва готелю на території колишнього кар'єру. У

2018 році неподалік від Шанхая було відкрито унікальний 18-поверховий п’ятизірковий готель “Intercontinental Shanghai Wonderland”. Глибина кар’єру становить 80 м. Два нижніх поверхи готелю розташовані нижче рівня води у виробленому просторі кар’єру і є найбільш привабливими для туристів, оскільки на них знаходяться ресторани, кілька номерів і 10-метровий акваріум. Дах готелю озеленений деревами та іншими рослинами, що допомагає будівлі краще вписатися в навколишній ландшафт. Головним декоративним елементом будівлі є прозорий скляний водоспад, що стікає по стінах у центрі будівлі. Сонячна та геотермальна енергія забезпечують часткову енергетичну автономність готелю [10].

Проаналізувавши сучасний світовий досвід використання постгірничих територій, можна зробити висновок, що для ефективного проведення рекультиваційних робіт з метою залучення відновлених територій до економіки країни необхідне своєчасне планування ще до закриття кар’єрів з урахуванням перспектив подальшого розвитку.

Світова практика доводить, що найбільш раціональним варіантом використання територій, порушених гірничими роботами, є їх перетворення на штучні озера шляхом контрольованого затоплення. При вирішенні цих завдань слід проводити комплексні дослідження стану всіх компонентів техногенного ландшафту з прогнозуванням подальших напрямів його використання [11].

Сьогодні багато кар’єрів експлуатуються протягом тривалого часу і перебувають на стадії доопрацювання, при цьому частина земель, порушених гірничими роботами, відновлюється з низькою якістю. У деяких випадках затримка рекультиваційних робіт призводить до появи великих площ невідновлених земель та накопичення подальших витрат підприємства, необхідних для відновлення [12].

Сучасний стан рекультивації порушених земель на кар’єрах України є актуальною екологічною та соціально-економічною проблемою. В Україні площа порушених земель перевищує 265 тис. га, значна частина яких припадає на гірничодобувну діяльність.

У науковій літературі простежуються два основні підходи до рекультивації кар’єрів: технічний та біологічний. Гірничотехнічний етап охоплює формування рельєфу, створення схилів і терас, нанесення родючого шару ґрунту, а в окремих випадках – створення водойм. Біологічна рекультивація передбачає озеленення територій, висаджування дерев, чагарників і трав, здатних зміцнювати ґрунт і сприяти відновленню екосистеми [13].

В Україні вже накопичено певний позитивний досвід. У Львівській області на території Підгірцівського кар’єру у 2022 році було проведено рекультивацію 2,53 га, де здійснено пошарове нанесення ґрунту та підготовку до сільськогосподарського використання. У Криворізькому залізорудному басейні окремі кар’єри частково трансформуються у водойми або лісопаркові зони: наприклад, на Ганнівському кар’єрі висаджено понад тисячу саджанців дерев, які демонструють щорічний приріст до 0,6 м. У Львівсько-Волинському вугільному басейні значна частина відвалів була використана для створення лісопосадок і пасовищ, де на окремих ділянках товщина нанесеного родючого шару становить усього 0,5 – 1,1 м, однак навіть це дає можливість вирощувати багаторічні трави [14], [15].

Останніми роками у практиці спостерігаються позитивні тенденції. Зростає інтерес до рекреаційної рекультивації, яка передбачає перетворення колишніх кар’єрів на парки, водойми та зони відпочинку. У Поліських районах така практика визнана економічно вигідною: рентабельність рекреаційного використання може сягати 70% і вище, тоді як аграрна рекультивація вимагає значних витрат і довгострокових інвестицій. Такий підхід є менш витратним і водночас приносить соціальну користь, адже підвищує якість життя населення та сприяє розвитку місцевих громад [16]. Поступово з’являються спільні ініціативи підприємств та органів влади, що дає змогу реалізовувати більш масштабні проєкти озеленення та благоустрою.

Водночас значна частина кар’єрів та відвалів досі перебуває в занедбаному стані. Основними причинами цього є висока вартість технічних робіт, обмежене фінансування з боку держави та підприємств, а також застарілі технології, що

застосовуються у гірничодобувній промисловості. Часто проводяться лише мінімальні заходи – наприклад, часткове озеленення або часткове планування схилів, що не забезпечує комплексного відновлення земель [17], [18].

Основним завданням є перспективи рекультивації порушених земель в Україні, пов’язані з досягненням балансу між розвитком гірничодобувної промисловості та екологічною безпекою. В умовах постійного зростання площ деградованих територій важливим завданням стає впровадження нових технологій та моделей відновлення, які дають можливість не лише мінімізувати шкоду навколишньому середовищу, але й повернути землям економічну та соціальну цінність.

По-перше, перспективним напрямом є впровадження сучасних технологій рекультивації, зокрема використання біопрепаратів і швидкорослих рослин, здатних ефективно відновлювати ґрунтовий покрив навіть за умови мінімальної товщини родючого шару. Це дає змогу скоротити витрати на доставку ґрунту та прискорити процес біологічної стабілізації ділянки [19].

По-друге, значні можливості відкриває рекреаційна та багатофункціональна рекультивація. Частина відпрацьованих кар’єрів може бути перетворена на водойми, зони відпочинку, спортивні комплекси або парки. Такі рішення є економічно вигідними, оскільки не потребують масштабних земляних робіт і водночас приносять користь громадам, стимулюючи розвиток туризму та оздоровчої інфраструктури.

По-третє, перспективи рекультивації пов’язані з розширенням лісогосподарської діяльності. Висадка спеціально підібраних видів дерев і чагарників (акація, клен, тополя, сосна) дає змогу не лише зміцнювати нестійкі схили та відвали, а й створювати додатковий ресурс у вигляді деревини та зелених насаджень, які покращують мікроклімат [20].

Не менш важливим є й економіко-правовий аспект. Для підвищення ефективності відновлення земель необхідно розробити комплексну державну програму з чітким механізмом фінансування, системою контролю та залученням інвестицій, зокрема міжнародних.

Перспективним вважається й використання міжнародного досвіду. У країнах ЄС, зокрема в Німеччині та Польщі, значна частина колишніх кар'єрів перетворена на національні парки, водно-спортивні бази або ландшафтні заповідники. Адаптація таких практик до українських умов дасть можливість не лише вирішити проблему деградації земель, а й інтегрувати їх у соціально-економічний розвиток регіонів [21], [22].

Таким чином, перспективи рекультивації порушених земель в Україні полягають у поєднанні технологічних інновацій, рекреаційних та лісогосподарських підходів, законодавчих змін та інтеграції міжнародного досвіду. У разі реалізації комплексного підходу відпрацьовані кар'єри зможуть перетворитися з екологічної проблеми на ресурс для сталого розвитку, підвищення якості життя населення та відновлення природного потенціалу країни [23].

В Україні рекультивація порушених земель на кар'єрах є пріоритетом як з екологічної, так і з соціально-економічної точки зору, з акцентом на впровадження інновацій, сучасних технологій та законодавчу підтримку для сталого використання та відновлення земельних ресурсів країни.

Аналіз можливих напрямів використання відновлених земельних ділянок дає змогу підвищити ефективність проведення рекультиваційних робіт. Напрям відновлення може залежати від багатьох факторів, таких як розташування кар'єру щодо населених пунктів та об'єктів інфраструктури. Своєчасне планування ревіталізації до основного етапу експлуатації кар'єру дасть можливість у значно більшій мірі підвищити її ефективність. У початковому проєкті розробки кар'єру має бути враховано питання освоєння посттехногенних територій з урахуванням їх подальшого використання в економічній діяльності наступним землевласником. Проведений аналіз закордонного досвіду доводить принципову можливість і доцільність спільного вирішення питань доопрацювання кар'єру та подальшого використання його територій [24].

У зв'язку з цим найбільш перспективним напрямом ревіталізації порушених земель є оптимізація методів проєкту відвалів з урахуванням

найбільш пріоритетних напрямів використання посттехногенних територій у майбутньому. Проєкт та розташування цих відвалів залежатимуть головним чином від геологічних характеристик гірничого масиву, топографічних умов, об’ємів розкривних порід, майбутнього напряму використання, об’ємів інвестицій та інфраструктури прилеглих територій. Крім того, фізичні та просторові можливості проєктування повинні базуватися на вихідних параметрах гірничо-геологічних умов залягання родовища, з урахуванням запропонованих остаточних параметрів відвалу.

Одним із вдалих прикладів ревіталізації є реалізований у 2012 році проєкт рекультивації земель відпрацьованого кар’єру з видобутку бурого вугілля в Польщі. На поверхні відвалу буровугільного кар’єру Белхатув під назвою Гора Каменськ було створено спортивно-рекреаційний центр. Відповідно до завдань реалізованого проєкту виконано повний цикл створення інфраструктурного об’єкта від процесу купівлі землі, порушеної відкритими гірничими роботами, до створення на її території ландшафту для гірськолижного стадіону та продажу цієї ділянки новому землевласнику [12], [25].

1.2 Аналіз і вибір напрямів відновлення порушених земель при рекультивації залишкових вироблених просторів кар’єрів

Актуальність відновлення земель, порушених внаслідок відкритого видобутку, є особливо високою в країнах із багатими запасами корисних копалин, оскільки гірничодобувна промисловість залишила після себе тисячі ділянок порушених земель, відновлення яких не було проведено в повному обсязі [26].

Розробка родовищ корисних копалин безпосередньо впливає на порушення водоносних горизонтів і потребує постійного осушення вироблених просторів. Під час експлуатації кар’єру підтримувати гірничі виробки в стабільному стані дають змогу роботи з осушення, які здійснюються системою водознижувальних свердловин. Основні складнощі виникають після припинення гірничих робіт і ліквідації кар’єру. Оскільки на гірничому підприємстві на етапі

ліквідації припиняються роботи з водоосушення, залишковий вироблений простір починає заповнюватися ґрунтовими та поверхневими водами. Таким чином, за короткий час значна частина виробленого простору перетворюється на техногенне водоймище [27].

Затоплення вичерпаних просторів кар'єрів, як правило, є неконтрольованим процесом, що перешкоджає проведенню робіт з гірничо-технічної рекультивації, тому цей процес потребує детального вивчення з метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище [28]. Розглянемо основні напрями поводження з обводненими виробленими просторами:

– засипання виробленого простору кар'єру до рівня земної поверхні;

– самозатоплення кар'єру ґрунтовими та поверхневими водами;

– кероване затоплення виробленого простору.

Засипання виробленого простору кар'єру до рівня земної поверхні – складний і трудомісткий процес, що потребує ретельного планування та виконання. Під час засипки необхідно враховувати, що у виробленому просторі відбуватиметься підвищення рівня ґрунтових вод. У зв'язку з цим у нижню зону відвалу необхідно засипати породу з вищим кислотним потенціалом. Оскільки в цій зоні відсутнє повітря, процес окислення зупиняється. Також встановлено, що хімічно нейтральну гірську породу або породу з низьким окисленням безпечно засипати в ненасиченій зоні над рівнем ґрунтових вод [29], [30]. Це дає змогу зберегти якість верхніх водоносних горизонтів і використовувати цю воду місцевими споживачами.

Одним із найкращих прикладів є засипка відпрацьованого уранового кар'єру «Ліхтенберг» відвальними породи. Загальний об'єм рекультиваційних робіт склав понад 120 млн м³.

Другим напрямом є процес самозатоплення виробленого простору, при якому відпрацьований кар'єр заповнюється водою після завершення видобутку корисних копалин. Затоплення може відбуватися неконтрольовано за рахунок ґрунтових і поверхневих вод. Коли корисні копалини видобуваються, рівень води навколо кар'єру опускається нижче рівня ґрунтових вод за рахунок

водознижувальних свердловин. Після зупинки цього процесу ґрунтові води почнуть заповнювати кар’єр до того рівня, поки водяний тиск не стабілізується. Також на затоплення кар’єру впливає зміна гідрогеологічних умов розробки родовищ, підвищення рівня ґрунтових вод, збільшення інфільтрації, несправна дренажна система кар’єру, яка може призвести до накопичення води у виробленому просторі.

Під час експлуатації кар’єру, як правило, знижується рівень ґрунтових вод на прилеглих територіях. Це пов’язано з тим, що вода з навколишніх водоносних горизонтів відкачуватиметься з кар’єру та накопичуватиметься в технічних водоймах [31]. Також необхідно враховувати, що під час осушення кар’єру на водний баланс впливають сильні та тривалі опади. В результаті цих дій може відбутися накопичення води в кар’єрі та його самозатоплення. Найпоширенішим випадком є затоплення кар’єру лише атмосферними опадами, коли відсутній приплив поверхневих і підземних вод. Тобто баланс води визначається співвідношенням опадів до випаровування [32].

Одним із прикладів є самозатоплення кар’єру «Ювілейний», який був одним із найглибших кар’єрів у Європі (320 м). Видобуток залізної руди в кар’єрі розпочався в 1957 році і тривав до 2014 року, але після припинення гірничих робіт було прийнято рішення про його затоплення, яке розпочалося в 2015 році. Процес затоплення триватиме близько 20 років за рахунок надходження води з р. Інгулець та ґрунтових вод. На місці кар’єру з’явиться нове озеро, яке стане рекреаційною зоною, а також середовищем існування для багатьох видів рослин і тварин [33].

Серед варіантів рекультивації виробленого простору кар’єру важливу роль відіграє також контрольоване затоплення, яке може запобігти потраплянню шкідливих речовин із гірської породи в навколишнє середовище. Виконуються такі процеси контрольованого затоплення кар’єру:

– планування проводиться для ретельного дослідження з метою оцінки потенційних соціальних та екологічних наслідків затоплення;

– підготовка полягає в тому, що необхідно провести низку робіт, таких як: очищення кар’єру від забруднень, переміщення ґрунту та рослинності,

будівництво дамб та інших гідротехнічних споруд;

– після цього кар’єр поступово заповнюється водою, щоб дати можливість екосистемі адаптуватися до змін;

– далі необхідно проводити постійний моніторинг соціальних та екологічних показників, щоб оцінити ефективність рекультивації.

Залишкові вироблені простори характеризуються складними інженерно-геологічними умовами: крутими укосами, нестійкими бортами, відсутністю родючого шару ґрунту та підвищеним рівнем забруднення важкими металами. Водночас за умови раціонального підходу такі території можуть бути перетворені на об’єкти різного функціонального призначення [34].

Аналіз напрямів рекультивації залишкових вироблених просторів кар’єрів передбачає оцінку можливостей їх подальшого використання з урахуванням природних умов, ступеня деградації земель та потреб місцевого населення. Найбільш доцільними вважаються сільськогосподарський та лісогосподарський напрями, які дають можливість повернути території у виробничий оборот і водночас сприяють відновленню екологічних функцій. У випадках утворення великих кар’єрних западин перспективним є водогосподарський напрям, що передбачає створення штучних водойм для господарських або рекреаційних цілей [35]. Для територій, розташованих поблизу населених пунктів, перспективним є рекреаційний напрям, що сприяє розвитку туризму та підвищенню якості життя місцевого населення.

В Україні одним із поширених напрямів є сільськогосподарська рекультивація, прикладом якої є відновлені ділянки після видобутку бурого вугілля у Львівсько-Волинському басейні, де порушені землі використовуються для вирощування сільськогосподарських культур. Лісогосподарський напрям активно реалізується в Донецькій та Дніпропетровській областях: на відвалах і кар’єрах висаджуються соснові та акацієві насадження, які стабілізують ґрунти, зменшують ерозію та формують нові зелені зони. Водогосподарська рекультивація ефективна там, де після видобутку утворюються великі западини, наприклад, у Житомирській області значна частина кар’єрів після видобутку

гранітів перетворюється на штучні озера, які використовуються як рекреаційні об’єкти та місця відпочинку [16], [36].

У випадках, коли кар’єри розташовані поблизу населених пунктів, доцільно обрати рекреаційний напрям, як це було реалізовано в Кривому Розі, де частину вироблених кар’єрів облаштували для туризму та проведення спортивних заходів. Таким чином, вибір напряму рекультивації повинен ґрунтуватися на комплексній оцінці: екологічна доцільність, можливість отримання економічної вигоди та відповідність потребам місцевих громад [33].

Рекультивація залишкових вироблених просторів кар’єрів є складним процесом, що потребує інтеграції природоохоронних та економічних інтересів. Оптимальним є застосування комбінованого підходу, коли окремі ділянки використовуються для сільськогосподарських і лісогосподарських цілей, а найглибші частини кар’єру – для створення водойм або рекреаційних об’єктів. Такий підхід забезпечує не лише відновлення порушених земель, але й формування нової ландшафтної структури з підвищеною екологічною та соціально-економічною цінністю [37].

Отже, потрапляння води у вироблений простір кар’єру після заповнення виробки відбуватиметься в тому місці, де зовнішній контур має найнижчу відмітку.

1.3 Мета, задачі та методи дослідження

У зв’язку з цим обґрунтування вибору ефективної технологічної схеми рекультивації може бути досягнуто шляхом вирішення таких завдань: визначити вплив висоти обводненої зони кар’єру на техніко-економічні показники рекультивації під час формування насипу в обводненій зоні кар’єру; встановити вплив висоти необводненої частини борту кар’єру, порода з якої екскавується і переміщується за межі кар’єру при створенні пляжної зони заданих параметрів, на техніко-економічні показники рекультиваційних робіт; порівняти ефективність запропонованих технологічних схем рекультивації обводнених вироблених просторів кар’єрів нерудної сировини при створенні рекреаційних

зон та розробити рекомендації щодо вибору їх ефективних параметрів.

Мета досліджень полягає в обґрунтуванні методичних підходів до створення безпечних рекреаційних зон у вироблених просторах обводнених кар'єрів будівельної сировини.

Основна ідея роботи полягає у комплексному дослідженні впливу фізико-механічних властивостей порід, рівня обводнення та насипів на стійкість укосів рекреаційних зон з метою визначення безпечних параметрів формування берегових смуг та оптимізації обсягів рекультиваційних робіт, а також в обґрунтуванні технологічних схем рекультивації з урахуванням економічної доцільності та екологічної безпеки.

Відповідно до поставленої мети передбачено вирішити наступні завдання досліджень (рис. 1.2):

1. Проаналізувати існуючі підходи до рекультивації вироблених просторів кар'єрів та проблеми створення рекреаційних зон в обводнених умовах.

2. Розробити методику визначення об'ємів гірничих робіт для формування рекреаційних зон на бортах обводнених кар'єрів з урахуванням їх геометричних параметрів.

3. Встановити вплив рівня обводнення, фізико-механічних властивостей порід і геометрії насипів на стійкість укосів рекреаційних зон та визначити їх безпечні параметри.

4. Виконати техніко-економічну оцінку та порівняння запропонованих технологічних схем рекультивації при створенні берегової смуги.

5. Розробити рекомендації щодо вибору оптимальних параметрів та технологічних схем рекультивації при створенні рекреаційних зон в обводнених кар'єрах.

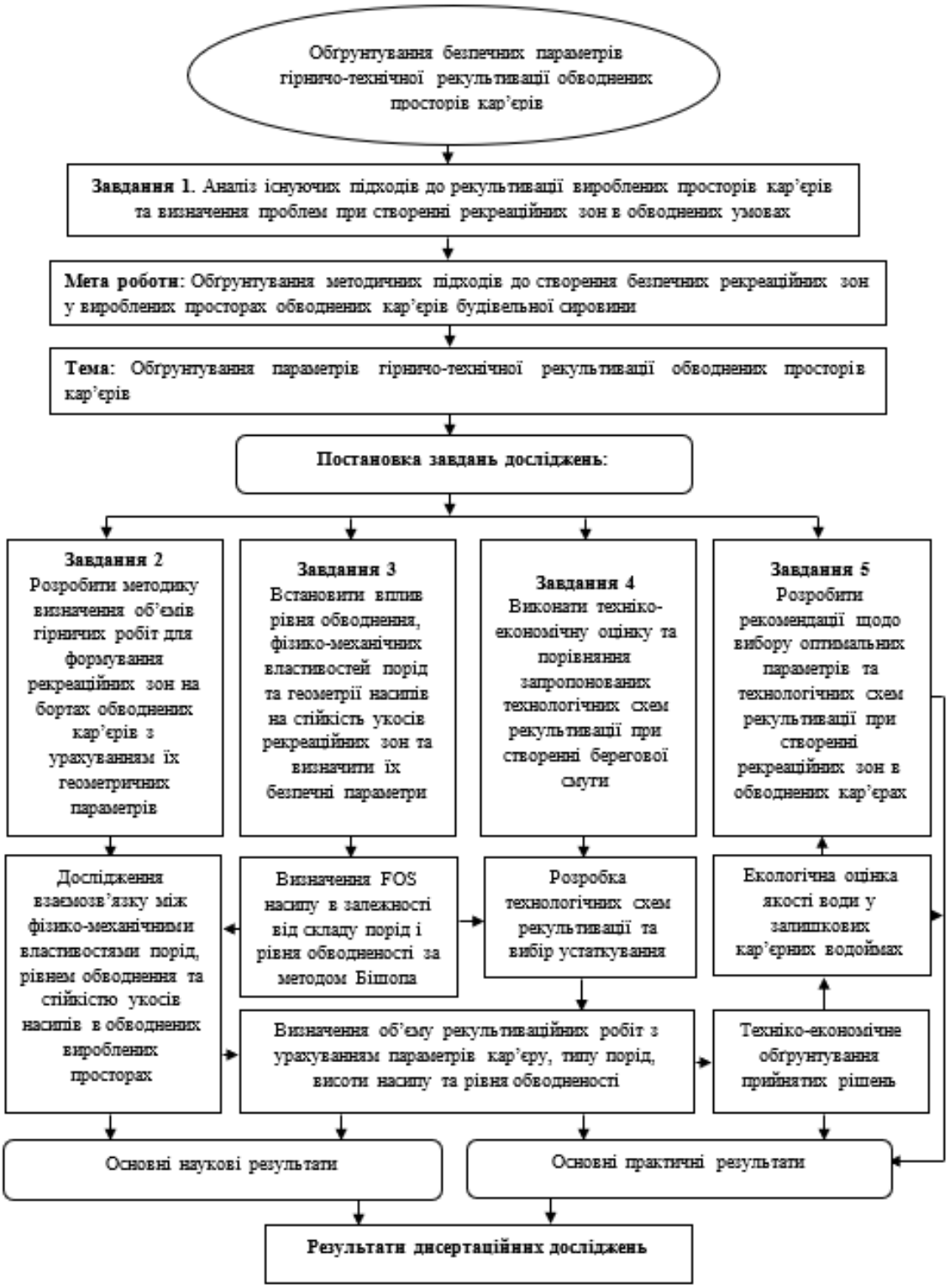


Рисунок 1.2 – Структурно-логічна схема досліджень

У рамках досліджень передбачається використання системного аналізу літературних джерел та нормативної документації, моделювання стійкості укосів методом Бішопа з використанням програмного комплексу K-MINE, розрахунок

фізико-механічних властивостей гірських порід, що впливають на стійкість: питома вага, кут внутрішнього тертя, зчеплення, аналіз залежності FOS від рівня обводненості насипу та кута укосу при різних висотах насипу для визначення безпечних параметрів укосів та висот формування рекреаційних зон, визначення об’єму рекультиваційних робіт та оцінка їх вартості з урахуванням типу порід, висоти насипу та рівня обводненості.

1.4 Висновки за розділом

1. У першому розділі дисертаційної роботи проведено комплексний аналіз наукових джерел, нормативної документації та світового досвіду щодо рекультивації вироблених просторів кар’єрів, зокрема в умовах їх обводнення. Встановлено, що в Україні нараховується понад 1500 покинутих кар’єрів, значна частина яких затоплена ґрунтовими водами та має потенціал для трансформації у рекреаційні об’єкти.

2. Аналіз сучасних тенденцій у сфері постмайнінгового використання кар’єрів показав, що рекультивація має не лише екологічне, а й соціально-економічне значення. Успішні приклади ревіталізації кар’єрів у Миколаївській області, Польщі, Китаї та м. Покров підтверджують можливість створення комфортних зон відпочинку, туристичних об’єктів та інфраструктури на базі техногенних ландшафтів.

3. Встановлено, що існуючі технології гірничо-технічної рекультивації в Україні є недостатньо ефективними для рекреаційного використання, що зумовлює необхідність розробки нових методичних підходів.

4. Обґрунтовано актуальність дослідження, яка полягає у визначенні безпечних параметрів берегових смуг, оптимізації обсягів ґрунтових робіт та техніко-економічній оцінці варіантів рекультивації.

РОЗДІЛ 2
ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ ДО ВИБОРУ БЕЗПЕЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ОБВОДНЕНИХ ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРІВ КАР'ЄРІВ

2.1 Аналіз нормативних вимог до рекультивації при засипанні залишкових вироблених просторів кар'єрів

При визначенні параметрів технологічних схем рекультивації під час часткового засипання залишкових вироблених просторів кар'єру враховуються вимоги чинних нормативних документів та інженерно-геологічні особливості ділянки [38]. Відповідно до ДБН В.2.4-2-2005 та ДБН А.2.1-1-2008, кут укосів бортів повинен забезпечувати їхню довготривалу стійкість і, як правило, становить 30 – 35° для стійких гірських порід та 25 – 30° для пухких ґрунтів. Товщина родючого шару ґрунту регламентується ДСТУ 7941:2015 і становить 0,3 – 0,5 м для сільськогосподарського використання та не менше 0,2 м для лісогосподарських потреб [39] – [41].

Глибина часткового засипання, згідно з галузевими рекомендаціями, не перевищує 50% від первинної глибини кар'єру, що дає можливість оптимально поєднувати технічні та економічні аспекти рекультивації. Матеріали, якими здійснюватиметься засипання, повинні відповідати ДСТУ Б В.2.7-32-95, тобто не містити токсичних домішок і забезпечувати безпечні умови формування нового рельєфу [42]. Крім того, відповідно до ДСТУ ISO 14001:2015, регулювання рівня підземних вод є важливим фактором екологічної безпеки: він повинен залишатися нижче дна вичерпаного простору, а в разі водогосподарського використання визначається проєктними умовами (табл. 2.1).

Таким чином, параметри технологічних схем рекультивації при частковому засипанні залишкових вироблених просторів кар'єру передбачають поетапний комплекс заходів, спрямованих на відновлення екологічної рівноваги та забезпечення безпечних умов для подальшого використання території.

Таблиця 2.1 – Параметри технологічних схем рекультивації за стандартом

Параметр	Значення / Вимога	Нормативний документ
Кут укосу бортів (стійкі породи)	30 – 35°	ДБН В.2.4-2-2005, ДБН А.2.1-1-2008
Кут укосу бортів (пухкі ґрунти)	25 – 30°	ДБН В.2.4-2-2005, ДБН А.2.1-1-2008
Товщина родючого шару (с/г призначення)	0,3 – 0,5 м	ДСТУ 7941:2015
Товщина родючого шару (лісогосподарське використання)	≥ 0,2 м	ДСТУ 7941:2015
Глибина часткового засипання	≤ 50% від первинної глибини кар’єру	Галузеві рекомендації
Вимоги до засипного матеріалу	Без токсичних домішок, безпечний для формування рельєфу	ДСТУ Б В.2.7-32-95
Рівень підземних вод	Нижче дна виробленого простору; при водогосподарському використанні – за проєктом	ДСТУ ISO 14001:2015

Перший етап полягає у формуванні стійких укосів. Укоси кар’єру проєктуються з кутом нахилу 18 – 22°, що є оптимальним для запобігання зсувам та обваленням. У ступінчастих кар’єрах між уступами облаштовують майданчики шириною до 5 м з ухилом приблизно 10° до неробочого борту, що забезпечує стабільність укосів і гарантує безпеку.

Наступним етапом є покриття укосів, міжуступних майданчиків та дна кар’єру шаром техногенної ґрунтової суміші товщиною до 0,3 м. Для її приготування використовують родючі ґрунти та пухкі четвертинні породи, що дає можливість відновити родючий шар [43].

Часткове засипання обводнених просторів здійснюється гірськими породами з відвалів або траншей, при цьому рівень ґрунтових вод повинен знаходитися не ближче 2 м від поверхні, щоб уникнути підтоплення та створити оптимальні умови для подальшої рекультивації. Особливе значення має екологічний контроль за відходами гірничодобувної промисловості [27], [44]. Відходи, що містять важкі метали або інші токсичні сполуки, потребують

ретельного вивчення хімічного складу.

Після завершення технічного етапу – формування рельєфу, планування поверхні та ущільнення насипних матеріалів, проводять біологічну рекультивацію шляхом посіву злаково-бобових культур для відновлення ґрунтового покриву та водного балансу [45].

При розробці технологічних схем також ретельно враховуються геометричні особливості кар'єру, об'єми порід, кліматичні та гідрогеологічні умови регіону. Це дає змогу адаптувати основні параметри рекультивації для досягнення максимальної ефективності [46].

Розглянемо сучасні тенденції, що охоплюють цифрові технології, принцип циркулярної економіки та посилення екологічної безпеки, щоб визначити кілька інноваційних параметрів і підходів, які можна запропонувати.

Параметри, засновані на цифровому моделюванні та BIM-технологіях, що дає можливість перейти від статичних проєктних параметрів до динамічних та оптимізованих:

– використання 3D-моделювання та дронів (БПЛА) для постійного моніторингу об'ємів засипки та фактичних кутів укосів, %;

– похибка контролю об'єму (до 1%), що дає змогу мінімізувати перевитрату матеріалу та забезпечує точність формування проєктного профілю поверхні;

– використання GPS-трекерів на транспорті та спеціалізованого ПЗ для розрахунку найкоротших маршрутів і мінімізації часу простою;

– коефіцієнт ефективності транспортного циклу (збільшення продуктивності на 15 – 20% порівняно з традиційними схемами) [47], [48].

Параметри, засновані на принципах циркулярної економіки (Вторинне використання):

– використання відходів будівництва та знесення (ВБЗ), золошлаків ТЕЦ або муніципальних осадів стічних вод (після знезараження) як наповнювача або компонента ґрунтової суміші;

– частка вторинних матеріалів у засипці (до 30%), що зменшує навантаження на існуючі відвали та є економічно вигідним;

– «Штучна ґрунтова конструкція» (Конструювання техногенних ґрунтів): замість простого нанесення шару техногенної суміші пропонується використовувати спеціально розроблені суміші з додаванням біовугілля (biochar) або органічних добрив для прискореного відновлення родючості [49];

– швидкість відновлення біологічної активності ґрунту (наприклад, досягнення 70% активності природного ґрунту за 3 роки);

– приділення особливої уваги нейтралізації кислотних дренажних вод (КДВ), які можуть утворюватися у відвалах;

– використання геосинтетичних матеріалів (геомембран/геотекстилю) для ізоляції токсичних порід або підвищення стійкості укосів;

– визначення успіху рекультивації не лише за товщиною ґрунту, але й за відновленням природних екосистем [50].

Ці інноваційні параметри дають змогу перейти від простого формування рельєфу до створення стійких, функціональних та екологічно безпечних техногенних ландшафтів.

2.2 Інвентаризація обводнених вироблених просторів кар’єрів будівельної сировини та визначення вихідних даних для досліджень

Найпоширенішою практикою рекультивації є повернення порушених земель до первісного використання. Однак не всі кар’єрні об’єкти та залишкові гірничі виробки можуть бути відновлені для первісного напряму використання через складність новоутвореного рельєфу, що призводить до необхідності обирати інший тип використання, який відповідає існуючим потребам (рекреаційним, соціально-культурним та економічним) [51].

Крім відновлення порушених земель до первісного стану, рекультивація передбачає створення необхідної форми рельєфу із запланованими параметрами, що дає змогу після видобутку корисних копалин використовувати новоутворені

поверхні як для вирощування рослинності, так і для будівництва туристичних інфраструктурних об’єктів та зон відпочинку [52]. Від якості планування рекультиваційних робіт залежить подальша доля техногенного ландшафту, що залишається після видобутку корисних копалин.

Світовий досвід підтверджує, що грамотно сплановані техногенні ландшафти на місці колишніх кар’єрів дають змогу створити нові локації, які приваблюють тисячі туристів для розваг та відпочинку [53]. Заздалегідь спроєктовані геометричні параметри вироблених просторів кар’єрів з частковим заповненням водою є ідеальним місцем для облаштування центрів водних видів спорту, будівництва котеджів, баз відпочинку, пляжних зон [27], [31].

У результаті аналізу літературних джерел та узагальнення рекомендацій закордонних і вітчизняних вчених було проведено інвентаризацію [54] затоплених кар’єрів Дніпропетровської, Житомирської та Запорізької областей (див. табл. 2.2).

У таблиці наведено дані про затоплені кар’єри у трьох областях України: Дніпропетровській, Житомирській та Запорізькій. У Дніпропетровській області переважають кар’єри середніх розмірів (Старокодацький, Новомиколаївський, Таромський), які наразі використовуються як озера для відпочинку, риболовлі та дайвінгу. Найбільшим із них є Новомиколаївський затоплений кар’єр, площа якого становить близько 12 га.

Житомирська область вирізняється найглибшими кар’єрами в країні – Силікатним і Соколовським (понад 100 м), які активно використовуються для дайвінгу, тоді як Коростишівський став туристичним об’єктом і популярним місцем для фотозйомки.

У Запорізькій області найбільш відомі Наталівський та Передаточнинський кар’єри. Перший вирізняється бірюзовою водою та глибиною до 82 м, другий сягає близько 80 м і славиться мальовничими краєвидами [55].

Таблиця 2.2 – Інвентаризація затоплених кар’єрів Дніпропетровської, Житомирської та Запорізької областей

Область	Назва кар’єру	Глибина, м	Довжина, м	Ширина, м	Стан кар’єру
Дніпропетровська область	Старокодацький	~40	~500	~140	Затоплений, мальовниче озеро, популярне серед туристів
	Новомиколаївський	~50	~400	~200	Затоплений, площа ~12 га, використовується для дайвінгу та риболовлі
	Малий кар’єр	~10-15	~ 200	~100	Затоплений, утворене невелике озеро
	Таромський кар’єр (Західний)	~10–15	400	140	Затоплений, утворене озеро
	Таромський кар’єр (Східний)	~10–15	180	150	Затоплений, утворене озеро
Житомирська область	Коростишівський	~20	~ 200	~100	Туристичний об’єкт «каньйон», рекреація, фотозйомки
	Силікатний	~110	~ 600	~ 300	Затоплений, популярний серед дайверів
	Богунський	~20	~ 230	~150	Затоплений, використовується для купання та тренувань дайверів
	Соколовський	~110	~700	~350	Затоплений близько 25 років, активно використовується для дайвінгу
Запорізька область	Наталівський	~27–82	~500	~300	Затоплений, бірюзова вода, популярне місце відпочинку
	Передаточнинський	~80	~400	~150	Затоплений, мальовниче озеро, відоме серед місцевих жителів

Отже, ця таблиця показує, як колишні промислові об’єкти перетворилися на рекреаційні та туристичні локації, що пропонують такі види відпочинку, як купання, риболовля, професійний дайвінг та фототуризм.

2.3 Розробка методичних підходів до визначення параметрів гірничо-технічної рекультивації обводнених вироблених просторів кар'єрів будівельної сировини

Для визначення об'ємів гірничих робіт під час створення рекреаційних зон у виробленому просторі кар'єру необхідно вдосконалити методичні підходи, які спрямовані на створення рекреаційних зон у вироблених просторах кар'єрів.

Науково-технічні роботи, присвячені відновленню техногенних ландшафтів, сформованих у результаті видобутку корисних копалин, та поверненню їх у користування, підтверджують, що значна частина досліджень спрямована на підвищення продуктивних властивостей територій. Водночас останні дослідження в галузі відновлення земель, порушених гірничими виробками, показують, що перспективними для впровадження є способи відновлення техногенних ландшафтів у напрямі рекреаційного використання.

У роботах [56], [57] пропонується розглядати основний напрям відновлення земель з урахуванням змін в екосистемі та вибір ефективного напряму перепрофілювання техногенного ландшафту, що сформувався в результаті гірничодобувної діяльності. Однак у роботі не розглянуто технологічні аспекти перепрофілювання техногенного рельєфу з метою розширення територій, які можуть бути використані в рекреаційних цілях.

Дослідження, проведені в роботі [58], спрямовані на проєктування берегової зони штучних водойм у вироблених просторах кар'єрів. Визначено можливі параметри техногенних рельєфів, що сформувалися в результаті освоєння корисних копалин. Встановлено вплив параметрів обводнених гірничих виробок на рекреаційний потенціал та можливості проведення гірничо-технічної рекультивації. Однак у роботі не розглянуто механізми збільшення рекреаційного потенціалу залишкових вироблених просторів кар'єрів з урахуванням зміни параметрів результуючих укосів бортів кар'єрів та створення додаткових рекреаційних зон.

Автори роботи [59] досліджували питання альтернативних напрямів рекультивації порушених земель, які передбачають, окрім лісовідновлення або

відновлення водних ресурсів, перетворення техногенних територій на геотуристичні об’єкти з розширеним переліком рекреаційних функцій. У статті наведено приклад методики вибору оптимальних місць розташування інфраструктурних об’єктів для потреб курортних закладів та геотуризму. Запропоновані в роботі рішення ґрунтуються на вже сформованому техногенному рельєфі та не передбачають розширення площ рекреаційних об’єктів із використанням гірничо-технічної рекультивації

Результати досліджень, представлені в роботі [19], дають змогу об’єднати основні концепції рекультивації земель колишніх кар’єрів з урахуванням питань охорони навколишнього середовища та сталого розвитку регіону. Запропоновано інноваційну матрицю рекультиваційних робіт для існуючих типів порушень техногенних рельєфів. У дослідженнях запропоновано систематизацію методичних підходів до гірських рельєфів різної форми та небезпеки, які можуть бути використані в рекреаційній діяльності. Незважаючи на комплексний підхід до вирішення проблеми рекультивації відпрацьованих просторів кар’єрів, не розглянуті питання збільшення площ постгірничопромислових територій для рекреаційного напряму відновлення.

Результати досліджень, отримані в роботі [60], дають змогу обґрунтувати інноваційний підхід до землеустрою техногенних ландшафтів у межах вироблених просторів кар’єрів. Відновлені території пропонується використовувати в туристичних цілях шляхом приведення до безпечних параметрів гірничих виробок занедбаних кар’єрів з обводненими виробленими просторами (озерами). Запропоновані технологічні рішення дали можливість створити «туристичний район» з двома штучними озерами, на якому працюють різні туристичні підприємства.

Аналіз науково-дослідних робіт за темою досліджень дав змогу визначити основні вимоги до функціонування безпечних зон відпочинку в межах залишкових вироблених просторів кар’єрів. Роботи з відновлення техногенних територій повинні охоплювати приведення ґрунтів у безпечний хімічний стан для забезпечення безперешкодного розвитку рослинності та підвищення

біорізноманіття [61].

Нові рельєфи, які будуть створені в межах вичерпаних просторів кар'єрів та відвалів [62], повинні зберігати геологічні особливості та створювати середовище для розвитку дикої природи та зростання різноманітних рослин.

Роботи з поліпшення візуальних та екологічних характеристик техногенного ландшафту постгірничопромислових територій повинні ґрунтуватися на стійкості гірничого масиву навколо кар'єру, що створить умови для безпечного життя [63]. Таким чином, виникає необхідність розробки нових підходів до рекультивації з метою створення у вироблених просторах кар'єрів місць з рекреаційним потенціалом.

У ході дослідження питань ефективності відновлення земель, порушених у результаті відкритої розробки, з метою їх подальшого використання в рекреаційних цілях було встановлено, що в наявних працях недостатньо уваги приділяється збільшенню площ зон відпочинку під час відновлення обводнених залишкових вироблених просторів кар'єрів [64]. Особливу актуальність ці питання набувають при розташуванні кар'єрів на невеликих відстанях від місць інтенсивного проживання людей, оскільки з часом такі об'єкти стають зонами хаотичного відпочинку за відсутності достатніх площ, що відповідають умовам безпеки [65].

У зв'язку з цим сформульовано мету дослідження, яка полягає у збільшенні площі зон рекреації та відпочинку в процесі рекультивації з урахуванням затоплення водою залишкового виробленого простору кар'єру.

Для досягнення поставленої мети аналітичний метод досліджень застосовувався при встановленні залежності об'ємів гірничих робіт зі створення рекреаційної зони на борту кар'єру від його глибини та кута нахилу бортів. Метод імітаційного моделювання використовувався для визначення об'ємів гірничих робіт при створенні пляжної зони в межах виробленого простору кар'єру.

У ході проведення досліджень вирішувалися такі завдання: визначити вплив кута нахилу борту кар'єру на об'єми гірничих робіт під час створення

рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру; розробити методику розрахунку об’ємів гірничих робіт з урахуванням параметрів пляжної зони, що створюється на борту кар’єру.

Вироблені простори кар’єрів будівельної сировини після завершення видобутку, як правило, заповнюються ґрунтовими водами і являють собою техногенні водойми [66]. Якість води в таких водоймах залежить від хімічного складу гірських порід, що утворили дно резервуара, і найчастіше не становить прямої загрози для оточуючих. Тому такі місця стають привабливими для відвідування влітку місцевими жителями (рис. 2.1). Однак суттєвою загрозою для їхнього відпочинку є вкрай крута берегова лінія та значна глибина водойми [67]. Вирішення цієї проблеми полягає у створенні нових рекреаційних зон із безпечними параметрами, які забезпечать доступ відпочивальників до води.

Рисунок 2.1 – Залишковий вироблений простір
Кодацького гранітного кар’єру (м. Дніпро)

Перетворення залишків вироблених просторів кар’єрів на функціональні та естетично привабливі ландшафти після видобутку корисних копалин дасть можливість забезпечити сталий розвиток гірничопромислових регіонів. Окрім створення безпечних територій, різноманітні форми рельєфу гірничих виробок дають змогу залучати туристів і відпочивальників, на відміну від степового

ландшафту, який існував до початку ведення гірничих робіт [68]. Завдяки різноманітності кінцевого рельєфу новоутворені ландшафти можуть поєднувати в собі водні об’єкти, лісонасадження та землі з різними типами рослинності.

Найефективнішим способом створення привабливих ландшафтів на території залишкових вироблених просторів кар’єрів є адаптація існуючої на підприємстві схеми рекультивації до заданого напряму використання після гірничих робіт [69]. У цьому випадку видобуток корисних копалин та утворення відвалів відбуватиметься за заздалегідь визначеною технологією, яка передбачає рекультивацію майбутнього ландшафту. Найбільшою перевагою такого рішення буде мінімізація майбутніх витрат на гірничо-технічну рекультивацію з переміщенням великих об’ємів гірничої маси під час спорудження безпечних зон рекреації. Однак на практиці вкрай складно передбачити такий сценарій, оскільки експлуатація кар’єрів має тривалий термін, що не дає можливості визначити, який напрям рекультивації після гірничих робіт на цих територіях буде реалізовано. Тому найчастіше схеми рекультивації порушених земель обираються за принципом мінімізації витрат, що охоплюють планування поверхні техногенного рельєфу та нанесення продуктивного шару ґрунту.

Методики визначення об’ємів гірничих робіт на вироблених просторах кар’єрів розробляються з різними цілями: від забезпечення комплексного перетворення техногенних ландшафтів на безпечні та функціональні рекреаційні території до проведення техніко-економічного аналізу запропонованих рішень. Параметри, що враховуються в методиках, повинні забезпечувати безпеку населення, адже круті схили та значна глибина водойм у залишкових кар’єрах становлять реальну загрозу для відпочивальників, економічну ефективність, оскільки точні розрахунки об’ємів робіт дають змогу мінімізувати витрати на переміщення гірничої маси та оптимізувати використання ресурсів, екологічну стабільність, що охоплює відновлення ґрунтів, розвиток рослинності та формування середовища існування для дикої природи, соціально-культурний розвиток регіонів, адже рекультивовані кар’єри можуть стати туристичними об’єктами, зонами відпочинку, геопарками або навіть курортними комплексами.

У майбутньому вони будуть використовуватися в державних програмах рекультивації, муніципальних проєктах благоустрою, приватних інвестиційних проєктах у сфері туризму та геопарків, а також у науково-технічних розробках, спрямованих на інтеграцію постгірничих територій у систему сталого розвитку. Таким чином, це дасть змогу не лише мінімізувати витрати на переміщення гірничої маси, а й створити безпечні, естетично привабливі та економічно вигідні рекреаційні простори, що поєднують водні об'єкти, зелені насадження, туристичні маршрути та інші форми відновленого ландшафту.

Для розрахунку об'ємів робіт з гірничо-технічної рекультивації під час створення берегової смуги в обводненому виробленому просторі кар'єру пропонується розглянути схему облаштування зони відпочинку (рис. 2.2) шириною *Wb*, яка може бути сформована в результаті відсипання необхідного об'єму ґрунтів у вироблений простір кар'єру під безпечним кутом β.

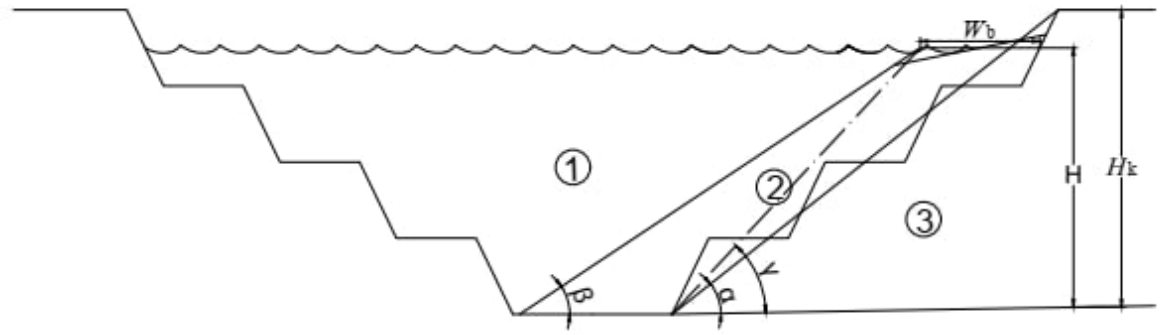


Рисунок 2.2 – Схема розташування безпечної зони відпочинку в межах виробленого простору кар'єру: 1 – водойма; 2 – ділянка насипного ґрунту; 3 – борт кар'єру; W_b – ширина берегової смуги; H – висота насипу; H_k – глибина кар'єру; α – результуючий кут нахилу борта кар'єру; β – безпечний кут нахилу гірничих порід при відсипанні в обводнений простір; γ – кут нахилу площини, що з'єднує верхній край насипного майданчика і нижній борт кар'єру

Вартість робіт з облаштування зони відпочинку у виробленому просторі кар'єру значною мірою залежатиме від постійного рівня води у водоймі, глибини кар'єру, висоти насипу та ширини берегової смуги.

Також на об’єм робіт з облаштування цієї смуги суттєво впливатимуть кути нахилу бортів кар’єру, оскільки при збільшенні кута α об’єм гірничих робіт зростатиме. Зміна результуючого кута укосу борту кар’єру також впливатиме на вибір методики розрахунку об’ємів гірничих робіт, оскільки при різному співвідношенні ширини берегової смуги W_b до горизонтальної проєкції $H/tg\alpha$ об’єм геометричної форми ґрунтового насипу розраховуватиметься різними способами. У зв’язку з цим було встановлено вплив висоти насипу на величину горизонтальної проєкції $H/tg\alpha$ з урахуванням результуючого кута нахилу борту кар’єру 40º, 60º і 80º на рис. 2.3.

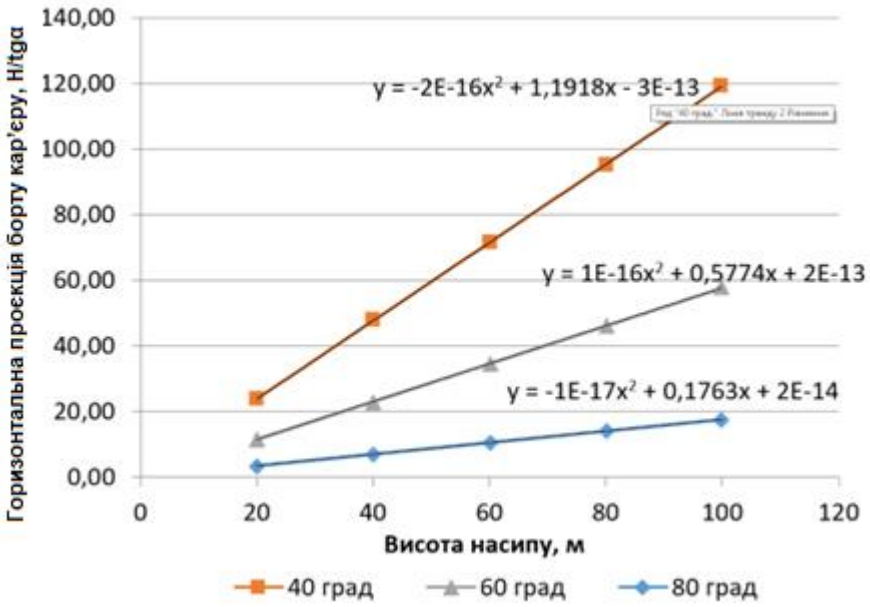


Рисунок 2.3 – Вплив глибини кар’єру на горизонтальну проєкцію його борту з урахуванням результуючого кута нахилу

Методика розрахунку об’ємів гірничих робіт при створенні рекреаційних зон у виробленому просторі кар’єру ґрунтується на геометричних схемах насипу ґрунту вздовж борту кар’єру. Алгоритм розрахунку полягає в наступному:

1. Визначаються ширина ділянки насипу ґрунту W_b, висота насипу H, коефіцієнти нахилу борту кар’єру α (результуючий кут нахилу борту) та безпечний кут нахилу гірських порід β (при насипанні в обводнений простір).

2. Визначають горизонтальну проєкцію борту $H/tg\alpha$.

3. Залежно від співвідношення W_b до $H/tg\alpha$ застосовують різні формули розрахунку об'єму гірничих робіт:

– якщо ширина берегової смуги має бути меншою за горизонтальну проєкцію борту кар'єру ($W_b < H/tg\alpha$), то така смуга називатиметься **вузькою**, а обсяг насипних робіт розраховуватиметься за формулами (2.1) і (2.2);

– якщо ширина берегової смуги дорівнюватиме горизонтальній проєкції борту кар'єру $W_b = H/tg\alpha$, то така смуга називатиметься **нормальною**, і в цьому випадку використовується формула (2.3);

– якщо ширина берегової смуги перевищує горизонтальну проєкцію борту кар'єру ($W_b > H/tg\alpha$), то така смуга називатиметься **широкою.** При розрахунках повинен бути врахований додатковий об'єм насипу трапецієподібної форми, і розрахунок виконується за більш складною формулою, яка додає об'єм додаткової насипної смуги з урахуванням перевищення ширини W_b над $H/tg\alpha$.

4. На практиці для різних варіантів кута нахилу борту кар'єру (40°, 60°, 80°) та висоти насипу (від 20 до 100 м) проводяться розрахунки з метою визначення об'єму гірничих робіт, необхідних для створення безпечної рекреаційної зони.

5. При плануванні зони відпочинку враховуються довжина насипної ділянки L_b, ширина берегової смуги W_b, глибина кар'єру H_k та кути нахилу.

6. Для більш складних конфігурацій (наприклад, широких насипів) застосовується імітаційне моделювання для перевірки розрахункових даних.

Таким чином, ці методи базуються на аналітичних формулах, що враховують геометрію насипу та безпечні кути нахилу укосів для створення рекреаційних зон на заповнених водою ділянках кар'єру.

Ці підходи застосовувалися в дослідженнях для аналізу та визначення об'ємів робіт при створенні пляжних і рекреаційних зон на кар'єрах з урахуванням їхньої глибини, кута нахилу та параметрів насипної смуги.

7. Після визначення геометричних параметрів насипу оцінюється вплив рівня затоплення виробленого простору кар'єру на стійкість насипу з різних

типів гірських порід; при створенні рекреаційної зони використовується спрощений метод Бішопа (Bishop Simplified Method). Цей метод базується на граничній рівновазі гірничого масиву і полягає у поділі досліджуваної ділянки на вертикальні відсіки з подальшим аналізом рівноваги моментів і вертикальних сил. Це дає змогу врахувати вплив рівня води (затоплення) на стійкість насипів з піску, суглинків та подрібнених скельних порід.

Основні кроки:

– моделювання стійкості підтоплених порід обводненого масиву в програмному комплексі K-MINE з урахуванням мінімального та максимального рівнів ґрунтових вод на укосі;

– визначення поверхні ковзання у гірничому масиві та чутливість коефіцієнта запасу стійкості (FOS) до змін рівня води у виробленому просторі;

– розрахунок фізико-механічних властивостей гірських порід, що впливають на стійкість: питома вага, кут внутрішнього тертя, зчеплення;

– аналіз залежності FOS від рівня обводненості насипу та кута укосу при різних висотах насипу для визначення безпечних параметрів укосів та висот формування рекреаційних зон;

– визначення об’єму гірничих робіт та оцінка їх вартості з урахуванням типу порід, висоти насипу та рівня зволоженості.

Таким чином, основним застосованим методом є спрощений метод Бішопа для розрахунку стійкості укосів насипів у граничному стані, а також інженерне моделювання впливу рівня обводнення виробленого простору за допомогою програмного продукту K-MINE. Далі результати використовуються для визначення безпечних кутів нахилу відкосів та техніко-економічної оцінки рекультиваційних робіт.

8. Останнім етапом у розробці методичних підходів до визначення параметрів гірничо-технічної рекультивації обводнених вироблених просторів кар’єрів будівельної сировини є узагальнення гірничо-технологічних параметрів, що впливають на розрахунок техніко-економічних показників і визначають вибір раціональної технологічної схеми.

2.4 Розробка методики визначення об’ємів гірничих робіт при створенні рекреаційних зон у виробленому просторі кар’єру

Аналіз параметрів техногенного рельєфу, що формується в результаті розробки типового кар’єру будівельної сировини (див. рис. 2.2), дав можливість визначити основні технологічні рішення для збільшення площі рекреаційних ділянок у межах обводнених залишкових вироблених просторів.

Оскільки кути нахилу бортів кар’єрів, що розробляють нерудну сировину, занадто круті й можуть сягати $70 – 80^{\circ}$, для створення рекреаційних зон із береговою смугою у виробленому просторі потрібні значні об’єми гірничих робіт з облаштування відповідних насипів.

Виявлені залежності (див. рис. 2.3) дають змогу визначити показник горизонтальної проєкції $H/\mathrm{tg}\alpha$ за різних значень висоти насипу та результуючого кута укосу борту кар’єру α.

2.4.1 Методика розрахунку об’єму гірничих робіт при спорудженні вузької берегової зони відпочинку ($W_b < H/tg\alpha$)

У разі, якщо ширина берегової смуги W_b буде меншою за показник $H/tg\alpha$, розрахунок об’єму гірничих робіт зі спорудження безпечної зони відпочинку проводитиметься відповідно до схеми (див. рис. 2.4), де L_b – довжина насипного майданчика.

Визначення об’єму гірничих робіт за умови $W_b < H/tg\alpha$ пропонується виконувати за формулою (2.1):

$$V_1 = H \cdot L_b(0{,}5 \cdot H(ctg\beta - ctg\alpha) + W_b) + \\ + \frac{L_b \cdot W_b \cdot H \cdot \sin\gamma}{6tg\beta} + \frac{H^2 \sin\gamma}{6tg\beta}\left(\frac{H}{tg\beta} - \frac{H}{tg\gamma}\right), \text{ м}^3, \quad (2.1)$$

де $$\gamma = arctg\left(\frac{H}{\frac{H}{tg\alpha} - W_b}\right), \text{ град.} \quad (2.2)$$

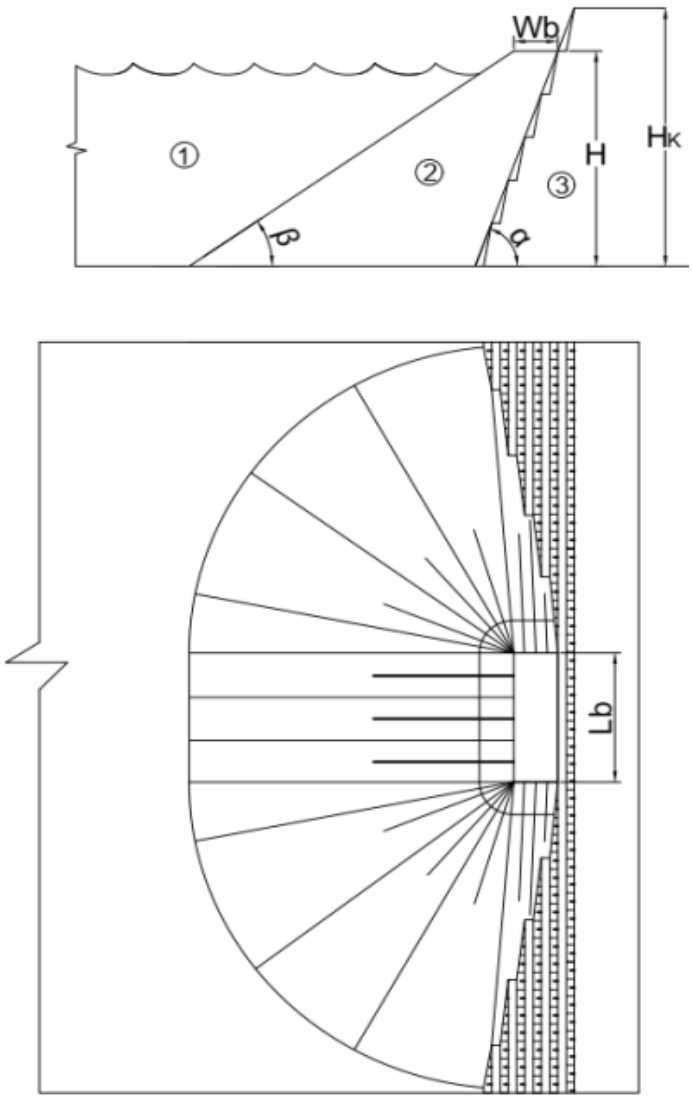


Рисунок 2.4 – Схема для розрахунку об’єму гірничих робіт при спорудженні безпечної зони відпочинку за умови $W_b < H/tg\alpha$

Відповідно до виразу (2.1) визначаємо вплив результуючого кута нахилу борту на об’єм гірничих робіт під час спорудження безпечної зони відпочинку в межах виробленого простору кар’єру. При проведенні досліджень висота ґрунтового насипу прийнята рівною 80 м, при цьому довжина берегової смуги L_b дорівнює 50 м, а ширина 10 м, що відповідає умові $W_b < H/tg\alpha$. Безпечний кут нахилу гірських порід при відсипанні в обводнене середовище прийнятий рівним 35º. Кут нахилу борту кар’єру розглядається в діапазоні від 40º до 80º. Встановлені залежності об’єму гірничих робіт і довжини горизонтальної проєкції борту кар’єру від його кута нахилу наведені на рис. 2.5.

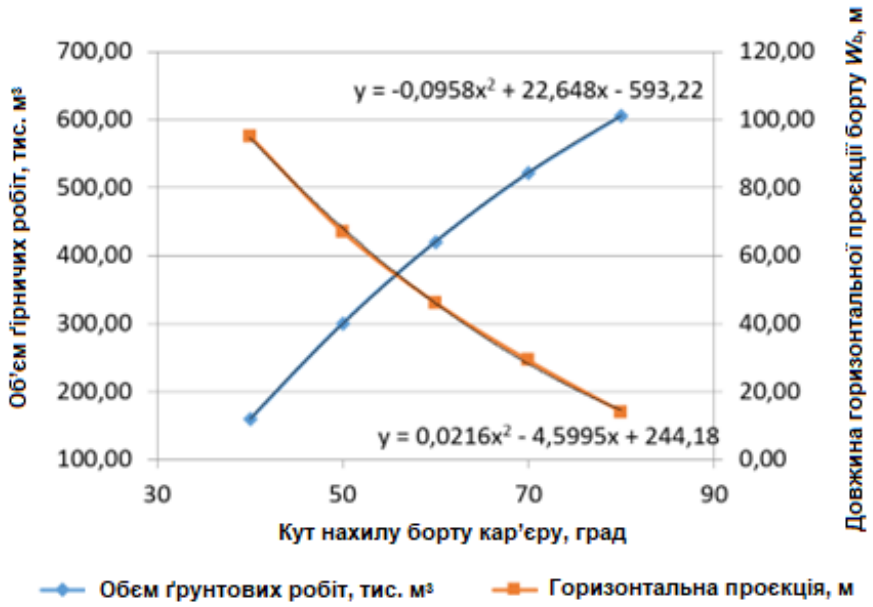


Рисунок 2.5 – Залежність об’єму гірничих робіт при створенні берегової смуги в кар’єрі від результуючого кута нахилу його борту при висоті насипу 80 м

Залежності, наведені на рис. 2.5, дають можливість визначити, що при збільшенні кута нахилу борту кар’єру з 40 до 80⁰ об’єм гірничих робіт зі спорудження безпечної зони відпочинку із заданими параметрами в межах виробленого простору кар’єру збільшується в 3,81 раза – з 158, 9 до 605,8 тис. м³ при висоті насипу 80 м. Водночас довжина горизонтальної проєкції зменшується в 6,8 раза – з 95,3 до 14,1 м. Таким чином, спорудження безпечної зони відпочинку на борту кар’єру є найбільш ефективним при найменшому результуючому куті нахилу борту кар’єру.

2.4.2 Методика розрахунку об’єму гірничих робіт при спорудженні нормальної берегової зони відпочинку ($W_b = H/tg\alpha$)

У разі, коли ширина берегової смуги W_b дорівнює горизонтальній проєкції $H/tg\alpha$, розрахунок об’ємів гірничих робіт виконується відповідно до схеми, наведеної на рис. 2.6.

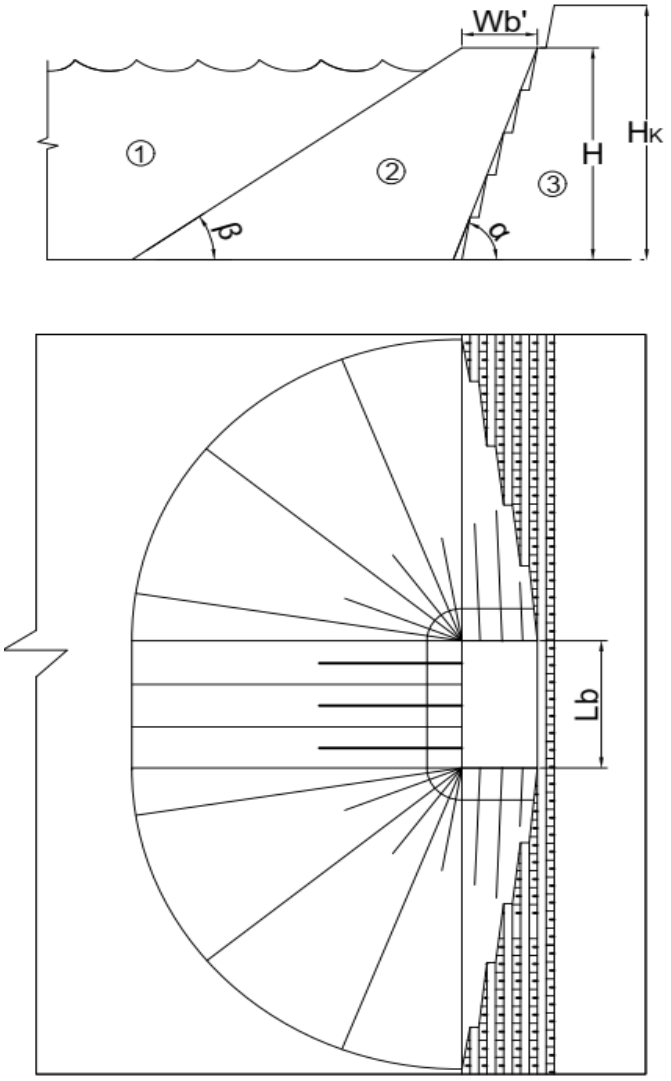


Рисунок 2.6 – Схема для розрахунку об’єму гірничих робіт при спорудженні зони відпочинку за умови $W_b = H/tg\alpha$

Розрахунок об’ємів гірничих робіт під час спорудження безпечної зони відпочинку на борту кар’єру за умови $W_b = H/tg\alpha$ виконується згідно з виразом (2.3):

$$V_2 = H \cdot L_b(0{,}5 \cdot H(ctg\beta - ctg\alpha) + W_b') + \frac{\pi \cdot H^3 ctg^2\beta}{6} + \frac{H^2 \cdot W_b'}{3tg\beta}, \text{ м}^3, \qquad (2.3)$$

де W_b' – ширина берегової смуги за умови $W_b = H/tg\alpha$.

Визначення параметрів об’ємів гірничих робіт за умови $W_b = H/tg\alpha$ з використанням запропонованого виразу (2.3) дає змогу дослідити вплив глибини кар’єру на параметри рекультиваційних робіт з урахуванням довжини берегової

смуги. При проведенні досліджень висота ґрунтового насипу приймалася в діапазоні від 20 до 100 м, при цьому розглядалися три варіанти довжини берегової смуги L_b = 50 м, 100 м і 150 м. Ширина берегової смуги змінювалася відповідно до висоти насипу $W_b = H/tg\alpha$. Кут нахилу борту кар'єру приймався постійним 70º, а кут нахилу укосу насипу становив 35º. Встановлені залежності об’єму гірничих робіт і довжини горизонтальної проєкції борту кар’єру від його кута нахилу наведені на рис. 2.7.

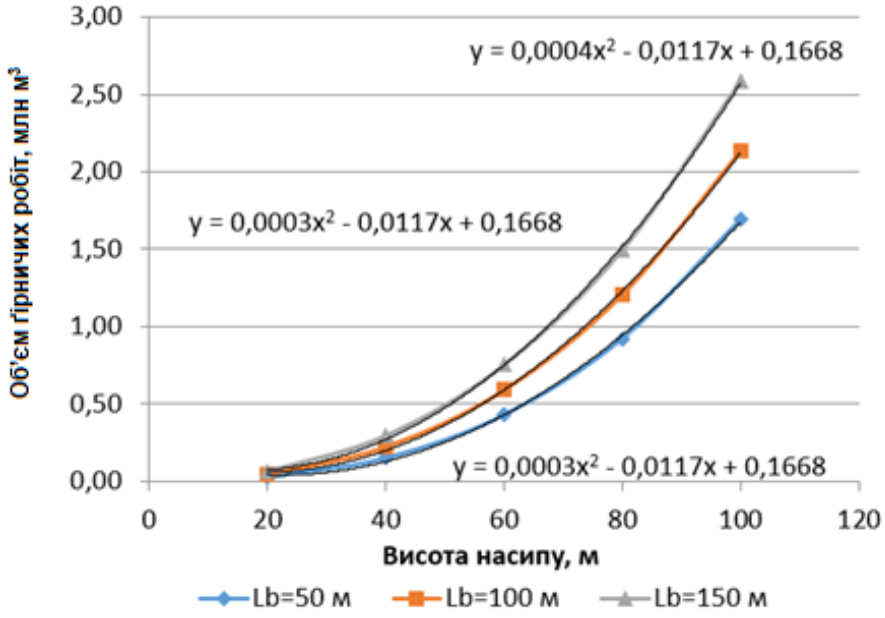


Рисунок 2.7 – Вплив висоти насипу на об’єм гірничих робіт при створенні пляжу довжиною L_b за умови $W_b = H/tg\alpha$

Аналіз залежностей, наведений на рис. 2.7, дає змогу встановити, що при збільшенні висоти насипу в 5 разів – з 20 до 100 м, об’єм гірничих робіт зі спорудження зони відпочинку в межах виробленого простору збільшується від 40 до 60 разів залежно від довжини пляжної лінії.

Найбільша динаміка збільшення спостерігається при найменшій довжині пляжної лінії, що становить 50 м. У даному випадку при збільшенні висоти насипу в 5 разів об’єм гірничих робіт збільшується з 30 тис. м^3 до 1,69 млн м^3. Відповідно до встановлених залежностей, найбільш ефективним є створення рекреаційних зон значної протяжності при відносно незначній ширині.

2.4.2 Методика розрахунку об’єму гірничих робіт при спорудженні широкої берегової зони відпочинку ($W_b > H/tg\alpha$)

Окрім двох попередніх схем, існує також варіант спорудження насипу для створення берегової смуги шириною W_b, що перевищує довжину горизонтальної проєкції $H/tg\alpha$. У цьому випадку розрахунок об’ємів гірничих робіт пропонується виконувати відповідно до схеми, наведеної на рис. 2.8.

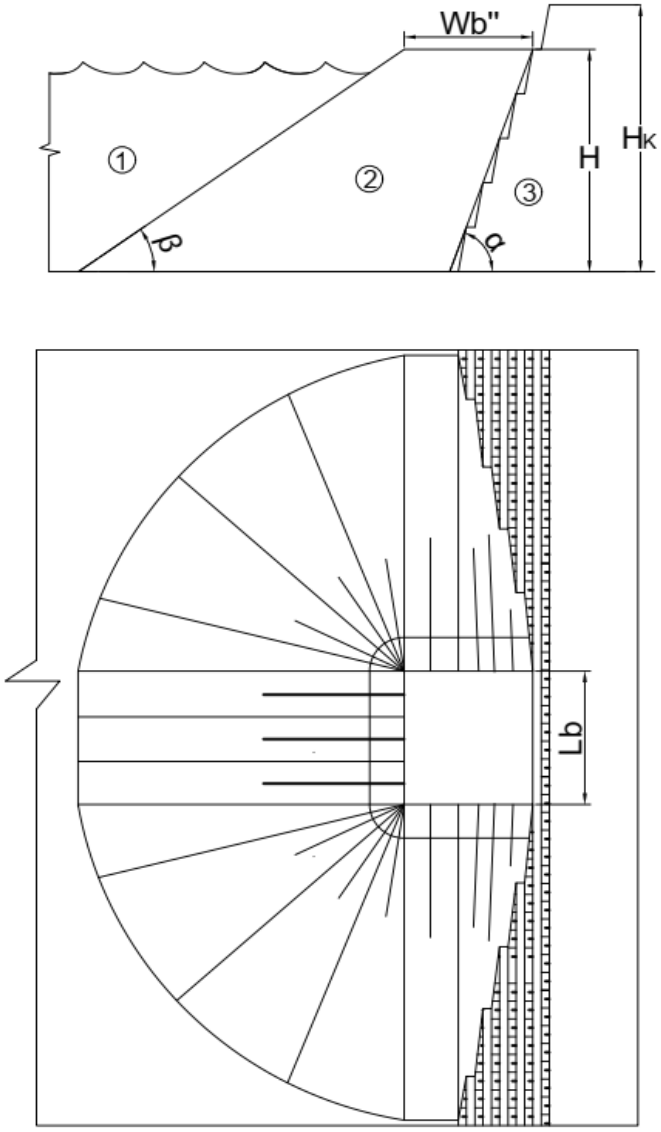


Рисунок 2.8 – Схема для розрахунку об’єму гірничих робіт при створенні пляжу за умови $W_b'' > H/tg\alpha$

Схема створення рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру, за якої W_b значно перевищуватиме $H/tg\alpha$, може застосовуватися у тому випадку, коли

необхідно створити довгу насипну смугу в бік обводненого простору кар'єру. Ця смуга може використовуватися для спорудження ділянок під забудову, створення гребних каналів або причалів для плавальних засобів.

Для розрахунку об'ємів гірничих робіт з метою спорудження безпечної зони відпочинку за умови $W_b > H/tg\alpha$ пропонується використовувати вираз (2.4):

$$V_3 = H \cdot L_B(0{,}5 \cdot H(ctg\beta - ctg\alpha) + W_b'') + \frac{\pi \cdot H^3 ctg^2\beta}{6} + \\ + \frac{H^2 \cdot W_B''}{3tg\beta} H \cdot (L_b + H \cdot ctg\beta) \cdot (W_b'' - H \cdot ctg\alpha), \text{ м}^3, \quad (2.4)$$

де W_b'' – ширина берегової смуги за умови $W_b > H/tg\alpha$.

Різниця між виразами (2.3) і (2.4) полягає в тому, що геометрична форма насипу за умови $W_b > H/tg\alpha$ міститиме ті самі елементи, що й за умови $W_b = H/tg\alpha$; основною відмінністю буде додавання до схеми (див. рис. 2.8) насипу трапецієподібної форми довжиною $W_b'' - H/tg\alpha$.

При дослідженні впливу глибини кар'єру на об'єми гірничих робіт зі спорудження берегової смуги на борту кар'єру за умови $W_b > H/tg\alpha$ застосовувався вираз (2.4). При цьому, як і в попередньому варіанті, висота ґрунтового насипу прийнята в діапазоні від 20 до 100 м, відмінність полягає в тому, що довжина берегової смуги L_b прийнята постійною 100 м. Водночас ширина берегової смуги W_b'' прийнята рівною 50 м, 100 м, 150 м. У ході досліджень кут нахилу борту кар'єру, як і в попередньому варіанті, приймався постійним 70º, а кут нахилу відкосу насипу – 35º. Встановлені залежності об'єму гірничих робіт від глибини кар'єру з урахуванням ширини насипного майданчика W_b'' наведені на рис. 2.9.

Ці залежності дають змогу визначити, що у випадку, коли $W_b > H/tg\alpha$, збільшення висоти насипу з 20 до 100 м призведе до збільшення об'ємів гірничих робіт зі спорудження берегової смуги в кар'єрі в 9 – 11 разів залежно від ширини пляжної лінії.

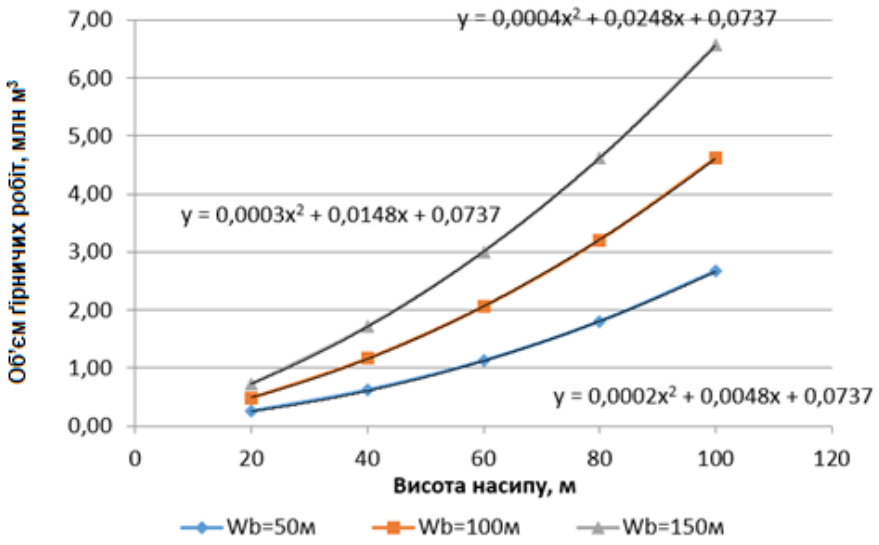


Рисунок 2.9 – Залежність об’єму гірничих робіт від висоти насипу при створенні берегової смуги в кар’єрі довжиною L_b за умови $W_b > H/tg\alpha$

При цьому найбільша динаміка збільшення об’ємів гірничих робіт спостерігається за найменшої ширини пляжної лінії, що становить 50 м. За такої ширини збільшення висоти насипу з 20 до 100 м призведе до зростання обсягу гірничих робіт з 250 тис. м^3 до 2,67 млн м^3. Також встановлено, що при збільшенні ширини берегової смуги в 3 рази з 50 до 150 м об’єм гірничих робіт збільшиться в 2,4 – 2,9 раза при зменшенні висоти насипу зі 100 до 20 м відповідно.

2.5 Висновки за розділом

1. Розроблено методичні рекомендації щодо визначення об’ємів гірничих робіт при спорудженні зони відпочинку в межах виробленого простору обводненого кар’єру

2. Встановлено, що ширина ділянки насипу ґрунту на борту впливає на вибір методики розрахунку об’ємів гірничих робіт залежно від кута нахилу борту кар’єру та висоти насипу, що формується.

3. Запропоновано схему розташування безпечної зони відпочинку в межах виробленого простору кар’єру, яка дає змогу визначити необхідні параметри елементів системи розробки кар’єру, що впливають на об’єми гірничих робіт під

час спорудження насипів.

4. Встановлено, що за умови, коли ширина насипу $W_b < H/tg\alpha$, при збільшенні кута нахилу борту кар'єру у 2 рази – з 40 до 80º об'єм гірничих робіт зі спорудження безпечної зони відпочинку збільшується у 3,81 раза з 158,9 до 605,8 тис. м³ при висоті насипу 80 м.

5. Встановлено, що у випадку, коли $W_b = H/tg\alpha$, збільшення висоти насипу в 5 разів – з 20 до 100 м призведе до збільшення об'єму гірничих робіт у 60 разів – з 30 тис. м^3 до 1,69 млн м³ за умови, що довжина насипної зони відпочинку становить 50 м.

6. Встановлена залежність об'єму гірничих робіт від висоти насипу під час створення берегової смуги в кар'єрі за умови $W_b > H/tg\alpha$ дозволяє стверджувати, що при збільшенні висоти насипу з 20 до 100 м об'єм гірничих робіт збільшується в 11 разів – з 250 тис. м^3 до 2,67 млн м^3 при ширині насипу 50 м.

РОЗДІЛ 3
ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАСИПІВ В ОБВОДНЕНИХ ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРАХ КАР'ЄРІВ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЙМ

3.1 Аналіз впливу фізико-механічних показників відвальних порід на стійкість обводнених насипів у вироблених просторах кар'єрів

Формування безпечних рекреаційних зон в обводнених просторах кар'єрів є багатофакторною задачею, вирішення якої має в першу чергу дозволити створити берегові смуги вздовж крутих укосів бортів кар'єрів після експлуатації. Основною вимогою до таких об'єктів є стійкість до зсувних процесів, оскільки від неї буде залежати безпека відпочиваючих і туристів [70, 71].

Головний чинник, що впливає на подальшу стабільність порід після завершення рекультивації порушених земель є вода. Її вплив може бути корисним для формування ґрунтового покриву та розвитку рослинності, але водночас вона здатна спричиняти серйозні геотехнічні проблеми такі як спричинення обвалень, просідань, зсувів та ерозійних процесів [72]. Проникнення води у товщу порід змінює їхні фізико-механічні властивості, розчиняє мінерали та створює порожнини, що знижує стійкість геологічного середовища.

Одним із найпоширеніших наслідків є обвалення. Обвалення після рекультивації можуть проявлятися у різних формах і залежать від типу порід та умов середовища [73]. У кар'єрах, де укоси формуються з глинистих або піщано-глинистих порід, вода після дощів чи танення снігу проникає у тріщини, розшаровує породи та знижує їхню міцність. Особливо небезпечні обвали після сильних опадів або весняного танення снігу. Подібні випадки спостерігалися у вугільних териконах Донбасу через розмокання глинистих прошарків (рис. 3.1) [74], [75].

Рисунок 3.1 – Обвалення техногенних масивів
на вугільних підприємствах Донбасу

Іншим небезпечним проявом є просідання, що виникає внаслідок вимивання дрібних частинок і утворення пустот у товщі порід. Особливо вразливими є ділянки, де залягають соляні або карбонатні породи, які легко розчиняються водою [76]. Подібне явище зафіксовано поблизу м. Калуш (Івано-Франківська область), де у зоні рекультивованих хвостосховищ калійного виробництва після інтенсивних дощів утворилися тріщини та провали, пов’язані з розчиненням карбонатних порід (рис. 3.2) [77].

Значне поширення серед типових порушень стійкості порід після рекультивації мають зсуви. Вони виникають на схилах відвалів і кар’єрів внаслідок гідрологічного навантаження знижуючи сили тертя та сприяючи їх зміщенню. У Марганцеворудному кар’єрі (Дніпропетровська область) після рекультивації схилів із марганцевих порід, що мають низьку зв’язність, весняне водонасищення спричинило зсуви на глибину до 5 м. Відбувалося зміщення порід з утворенням нових мікроформ рельєфу (рис. 3.3) [78], [79].

Рисунок 3.2 – Просідання ґрунту в зоні рекультивованих хвостосховищ калійного виробництва поблизу м. Калуш

Рисунок 3.3 – Зсув техногенного масиву в Марганцеворудному кар’єрі

Однак ще одним проявом негативного впливу води є ерозія та розмиви**,** що особливо активно проявляються на відкритих ділянках. Поверхневі стоки формують яри, балки, розмивають схили та руйнують рекультивовані землі. На південному узбережжі Херсонщини, де масиви з м’яких порід без укріплення берегової лінії піддаються впливу хвиль з водойм та атмосферним опадам, зазнають розмивів схилів і втрату частини рекультивованої площі (рис. 3.4) [80].

Рисунок 3.4 – Розмив схилів на південному узбережжі Херсонщини

Таким чином, вода є ключовим фактором ризику для стійкості порід після рекультивації. Її неконтрольований вплив може призвести до серйозних геотехнічних проблем, які знижують ефективність рекультиваційних заходів і створюють небезпеку для населення та інфраструктури. Тому під час планування рекультивації необхідно враховувати гідрогеологічні умови, укріплення укосів та регулярний моніторинг стану порід. Це дозволить мінімізувати негативний вплив води та забезпечити довготривалу стабільність відновлених територій.

3.2 Моделювання безпечних параметрів обводнених рекреаційних зон у вироблених просторах кар'єрів

Проведення рекультиваційних робіт обводнення вироблених просторів кар'єрів є складним завданням, оскільки вода впливає на стійкість укосів насипних порід, що використовуються для виположування бортів кар'єру [8].

Обводнення вироблених просторів кар'єрів виникає в результаті потрапляння води в кар'єри з ґрунтових джерел або поверхневих вод і чинить негативний вплив на виробничий процес, безпеку праці та навколишнє середовище [81], [82]. Серед основних причин обводнення [37] вироблених просторів виділяють гідрогеологічні умови, оскільки підземні води можуть проникати через пористі гірські породи або тріщини, що утворюються в гірничому масиві бортів кар'єру під час видобутку, з подальшим накопиченням

води в залишковому просторі кар’єру.

Також обводнення кар’єру [30] виникає під час неправильного використання водопонижуючих свердловин під час гірничих робіт. До обводнення виробленого простору кар’єру після завершення гірничих робіт можуть призвести недостатні заходи безпеки, такі як неправильне ущільнення вироблених просторів [34] чи недостатнє використання гідроізоляційних матеріалів під час рекультивації.

Світовий досвід захисту вироблених просторів від обводнення [43] показує, що для мінімізації впливу ґрунтових вод на виробничі процеси застосовуються такі заходи: впроваджуються дренажні системи, що дають можливість відводити накопичену воду з вироблених просторів і допомагають керувати процесами затоплення; застосовуються захисні конструкції, в яких використовуються гідроізоляційні матеріали та заходи щодо ущільнення поверхонь вироблених просторів; розробка та впровадження технологій керування обводненням вироблених просторів, що забезпечує зменшення або збільшення кінцевого рівня води у виробленому просторі [3].

Зменшення об’ємів обводнення вироблених просторів кар’єру потребує внутрішнього контролю, правильного планування та ретельного виконання безпечних та ефективних методів керування ґрунтовими водами.

Оскільки процес затоплення вироблених просторів кар’єрів будівельних матеріалів у більшості випадків є незворотнім, виникає необхідність максимального контролю за ним, що дасть змогу створити привабливі рекреаційні зони [83] для місцевого населення і розвитку туристичного потенціалу регіону.

Досвід розвинених країн [21], [84] підтверджує доцільність створення зон відпочинку на території вироблених кар’єрів після завершення видобутку корисних копалин. Основними напрямами рекреаційного відновлення є створення природних та рекреаційних об’єктів [85], до яких належать водойми, парки, заповідники, гірсько-лісові курорти або ботанічні сади.

Під час створення водойм [23] вироблені простори кар’єрів можуть перетворюватися на об’єкти, що використовуються для відпочинку та розваг [86]. Це можуть бути як озера, так і ставки, де люди можуть рибалити або займатися водними видами спорту.

Для перетворення залишкових вироблених просторів кар’єрів на рекреаційні парки необхідно в ході рекультиваційних робіт передбачити спеціальне благоустрій зон для прогулянок, велосипедних доріжок, пішохідних доріжок або майданчиків для занять спортом та розваг.

За наявності великих площ рекультивованих земель, призначених для рекреаційних цілей, на території колишніх кар’єрів можуть бути створені природні заповідники. Для цього на вироблених просторах кар’єрів створюються спеціальні природні заповідники, де зберігаються місцеві екосистеми, а також флора і фауна. Природні об’єкти таких заповідників дають можливість відвідувачам організовувати відпочинок і спостерігати за дикою природою.

Аналіз напрямів відновлення порушених земель дає змогу встановити, що ділянки кар’єру [70] з пересіченим рельєфом можна використовувати для створення гірсько-лісових курортів. У такому випадку вироблені простори кар’єрів можуть слугувати майданчиками для створення гірськолижних трас, які будуються у поєднанні з готельними комплексами та розважальними об’єктами.

За наявності вільних територій зі сприятливими умовами для різних видів рослинності на території вироблених просторів кар’єрів можна створити ботанічні сади з метою формування освітніх об’єктів для проведення екскурсій та навчання.

Наведені приклади доводять, що вироблені простори кар’єрів у більшості випадків сприятливі для створення рекреаційних зон, які розширюють можливості для відпочинку та розваг, сприяють збереженню природного середовища та придатні для освітніх заходів і дозвілля.

Відповідно до актуальності проблеми відновлення територій порушених гірничими роботами, постає нагальне завдання з обґрунтування безпечних параметрів бортів кар’єрів і стійкості внутрішніх відвалів, що формуються у

обводненому просторі кар’єру під час рекультивації.

Створення рекреаційної зони в межах обводненого виробленого простору кар’єру здійснюється в рамках етапу гірничо-технічної рекультивації з використанням гірничо-транспортної техніки. Для часткового засипання остаточних вироблених просторів можуть використовуватися різні типи порід, що знаходяться у зовнішніх відвалах або на складах некондиційних корисних копалин [44]. Найпоширенішими видами розкривних порід, які можуть застосовуватися при гірничо-технічній рекультивації, є: піски, суглинки, глини та подрібнена скельна гірнича маса.

Оскільки ці породи мають відмінні фізико-механічні властивості, вплив обводнення на них також буде відбуватися по різному. Тому при обґрунтуванні параметрів рекреаційних зон у вироблених просторах кар’єрів необхідно встановити залежності безпечних кутів укосів відвалів [87] від висоти насипу і рівня затоплення виробок з урахуванням фізико-механічних властивостей порід.

Розглянемо вплив рівня обводненості залишкового виробленого простору кар’єру на стійкість внутрішнього відвалу, який буде в подальшому використовуватися як майданчик для створення рекреаційної зони (див. рис. 3.5).

Відповідно до технологічної схеми розташування рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру (рис. 3.5) застосовують наступні параметри: W_b – ширина берегової смуги; L_b – довжина берегової смуги; H_b – висота насипу; H_k – глибина кар’єру; H_w – рівень води у виробленому просторі кар’єру; α – результуючий кут нахилу борта кар’єру; β – безпечний кут нахилу гірничих порід при відсипанні у обводнений простір.

З метою визначення стійкого укосу насипу β у виробленому просторі кар’єру виконувалося моделювання підтоплення обводненого масиву в програмному комплексі K-MINE. Під час проведення досліджень використовувалися інженерні методи розрахунку стійкості, що засновані на граничній рівновазі гірничого масиву.

Для різних конфігурацій укосу встановлювався мінімальний і максимальний рівень ґрунтових вод, що впливає на породи обводненого масиву,

що дозволило визначити середнє значення поверхні ґрунтових вод. Під час моделювання приймалась основна умова, що мінімальний рівень ґрунтових вод відповідає нижній бровці укосу, а максимальний – верхній бровці укосу.

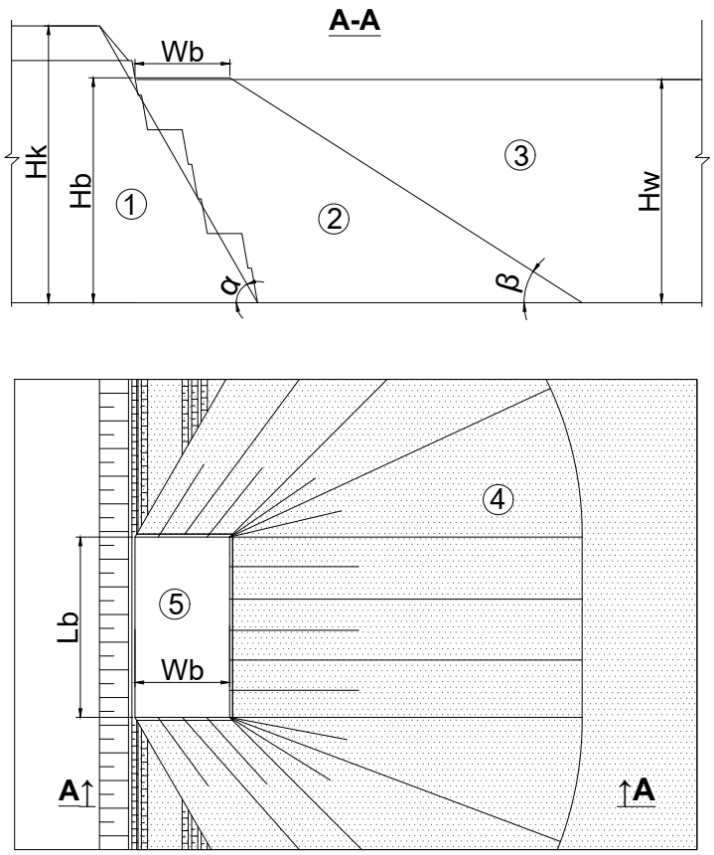


Рисунок 3.5 – Схема розташування рекреаційної зони у виробленому просторі обводненого кар'єру: 1 – борт кар'єру; 2 – насип для створення рекреаційної зони; 3 – обводнений простір кар'єру; 4 – поверхня води; 5 – поверхня рекреаційної зони

З метою отримання поверхні ковзання проводився аналіз чутливості зміни коефіцієнту запасу до зміни рівня води H_w у виробленому просторі. Зазначені дослідження виконувалися шляхом моделювання з урахуванням фізико-механічних властивостей гірничих порід, що є найбільш поширеними до застосування під час рекультиваційних робіт. До таких порід відносяться піски і суглинки, які є найбільш поширеними у верхніх шарах розкриву, а також подрібнені скельні розкривні породи, які розмішуються у зовнішніх відвалах при

розробці нерудних кар’єрів.

Під час визначення впливу обводненості залишкового виробленого простору кар’єру на стійкість укосів внутрішніх відвалів враховувалися основні фізико-механічні властивості порід, від яких залежить стійкість обводненого масиву: питома вага гірських порід, кут внутрішнього тертя та зчеплення.

У табл. 3.1 приводяться прийняті до розрахунку фізико-механічні властивості піску, суглинку і подрібнених скельних порід.

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні властивості порід,
що впливають на стійкість обводнених насипів

Порода	Питома вага, кН/м^3	Кут внутрішнього тертя, град	Зчеплення, кПа
Пісок	14,1	25	2,0
Суглинок	18,6	27	34,4
Щебінь	18,8	30	20,0

Як відомо з практики відкритих гірничих робіт, стійкість відвалу залежить від його висоти та кута укосу, однак при формуванні насипу в обводненому просторі кар’єру значну роль буде відігравати рівень води в залишковій виробці кар’єру. При встановлені впливу рівня обводненості залишкового виробленого простору на стійкість порід розглядався насип з піщаних, суглинистих і щебеневих порід висотою H_b від 20 до 80 м, при цьому рівень обводнення приймався від 0 до 100%.

Для проведення досліджень з метою визначення впливу обводнення виробленого простору кар’єру на стійкість насипу при створенні рекреаційної зони застосовувався спрощений метод Бішопа. В основі методу лежить принцип поділу досліджуваної ділянки на вертикальні відсіки з подальшим аналізом граничної рівноваги. Оскільки зазначений метод базується на рівновазі моментів і вертикальних сил, він дає змогу аналізувати різні середовища гірських порід, у тому числі з урахуванням впливу обводненості.

Результати визначення впливу рівня обводненості виробленого простору на коефіцієнт запасу стійкості (FOS) при створенні рекреаційної зони з піщаних порід наведено на рис. 3.6.

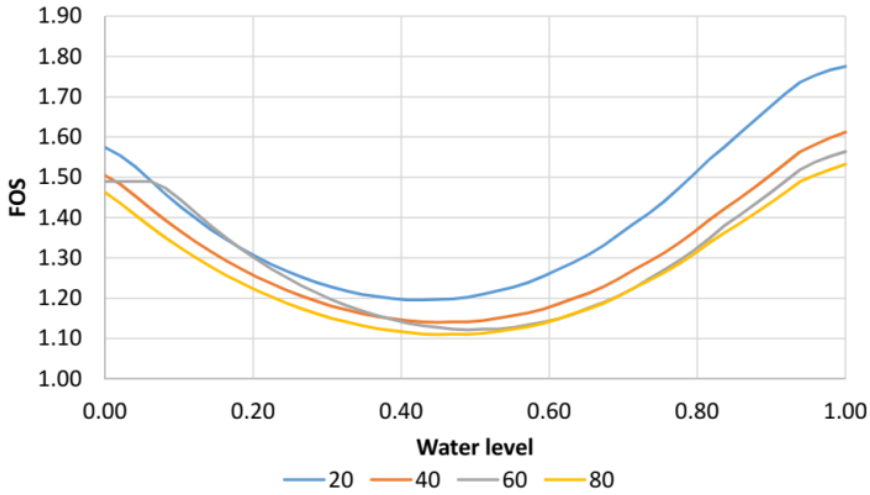


Рисунок 3.6 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості (FOS) обводненого відвалу з піщаних порід від рівня заповнення залишкового простору водою при куті укосу насипу 20°

Відповідно до наведених залежностей (рис. 3.6) встановлено, що обводнення видобутого простору має суттєвий вплив на стійкість відвальних піщаних порід, з яких формуватиметься рекреаційна зона висотою від 20 до 80 м. Найменш стійкі властивості зафіксовано при обводненні насипу до 40 – 50% по висоті, що підтверджується зниженням показника коефіцієнта безпеки до 1,1 – 1,2 залежно від висоти насипу. Однак при піднятті рівня води до 95% від висоти піщаного насипу показник FOS збільшується до 1,5 – 1,78 залежно від висоти насипу, що свідчить про стабільний стан. Таким чином, формування піщаного насипу з кутом відкосу 20° при висоті від 20 до 80 м є безпечним за умови рівня обводненості не менше 95% висоти насипу.

Подальші дослідження дали можливість встановити вплив обводненості піщаного насипу на коефіцієнт запасу стійкості при куті укосу 30° (рис. 3.7).

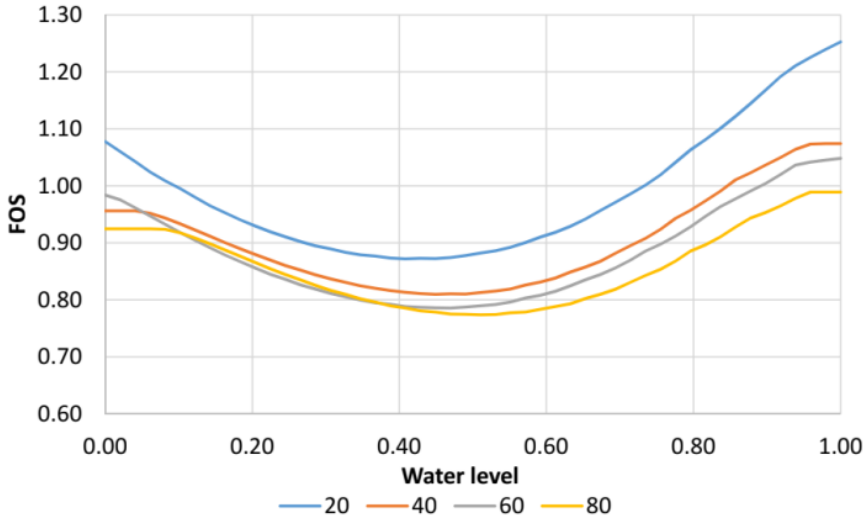


Рисунок 3.7 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості (FOS) обводненого відвалу з піщаних порід від рівня заповнення залишкового простору водою при куті укосу насипу 30°

З огляду на встановлений вплив рівня води у виробленому просторі на стійкість піщаного насипу з кутом відкосу 30° (рис. 3.7) можна констатувати, що за всіх можливих варіантів затоплення коефіцієнт FOS не перевищуватиме 1,5, тобто створення рекреаційної зони з піщаних порід буде пов’язане з небезпекою. Аналогічна небезпека виявлена при формуванні рекреаційної зони з кутом укосу 40° з піщаних порід (див. рис. 3.8). При формуванні рекреаційної зони з піщаних порід з кутом укосу 40°, при будь-якій обводненості гірських порід FOS не перевищуватиме 0,93, що означає значну небезпеку та відсутність стійкості насипу.

Аналогічна небезпека виявлена при формуванні рекреаційної зони з кутом укосу 40° з піщаних порід (див. рис. 3.8). При формуванні рекреаційної зони з піщаних порід з кутом укосу 40°, при будь-якій обводненості гірських порід FOS не перевищуватиме 0,93, що означає значну небезпеку та відсутність стійкості насипу.

Таким чином, використання піщаних порід при формуванні насипу, стійкого до зсувів, у затоплений частині кар’єру можливе лише за умови кута укосу відвалу 20°. Це стосується діапазону висоти насипу від 20 до 60 м. При

формуванні насипу висотою 80 м кут укосу має бути зменшений. Для порівняння ефективності застосування піщаних порід при формуванні насипу в подальших дослідженнях визначено показники FOS для суглинків і скельних розпушених порід.

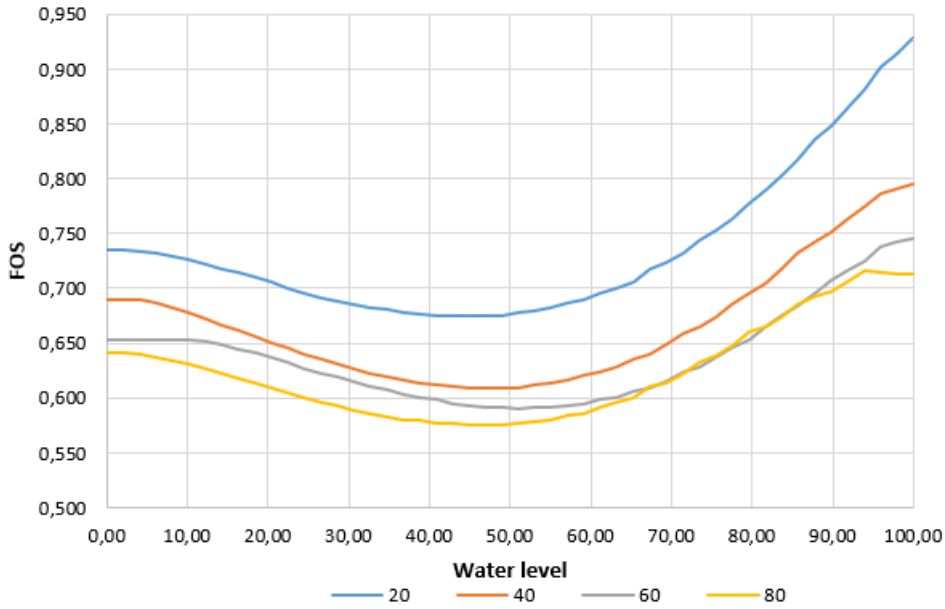


Рисунок 3.8 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості (FOS) обводненого відвалу з піщаних порід від рівня заповнення залишкового простору водою при куті укосу насипу 40°

На рис. 3.9 наведено залежність FOS від рівня обводненості насипу при використанні суглинистих порід при куті укосу насипу 20°.

Згідно з встановленими залежностями (див. рис. 3.9), суглинисті породи мають вищу стійкість до зсувних процесів під час формування насипів в обводнених умовах. Найвищий показник фактора безпеки FOS зафіксовано при висоті насипу 20 м. Він варіюється від 2,3 до 3,5 залежно від рівня обводненості виробленого простору, при цьому слід зазначити, що FOS для суглинистих порід збільшується при підйомі рівня води. Найменший показник фактора безпеки відповідає найбільшій висоті насипу, що становить 80 м, і варіюється від 1,7 до 2,2. Усі ці значення є безпечними при формуванні насипу для створення рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру.

Оскільки суглинисті породи мають більш стійкі показники при формуванні насипу у виробленому просторі кар'єру ніж піщані, виникає можливість збільшити кут укосу насипу до 30°. За умови збереження показника фактора безпеки FOS на рівні не менше 1,5, виникає можливість формування насипу необхідної висоти з використанням меншого об'єму матеріалу, що позитивно позначиться на техніко-економічних показниках рекультивації.

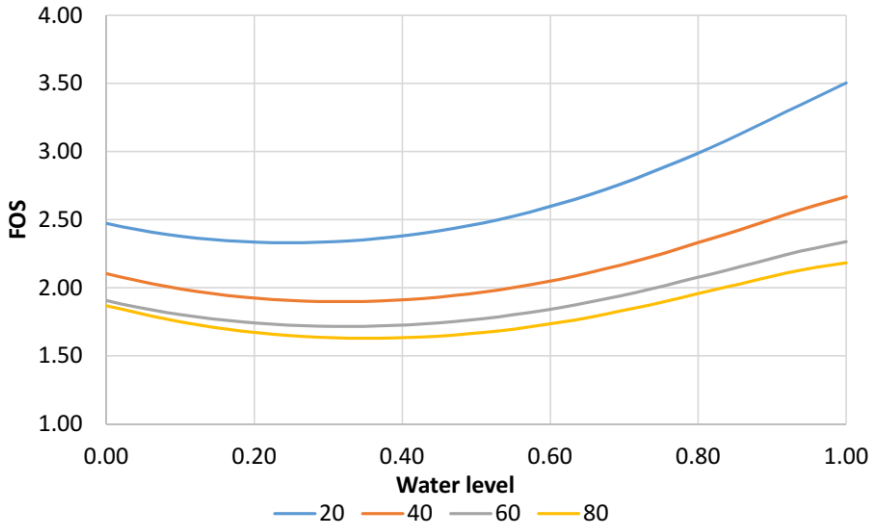


Рисунок 3.9 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості (FOS) обводненого відвалу з суглинистих порід від рівня заповнення залишкового простору водою при куті укосу насипу 20°

Залежність FOS від рівня обводненості насипу при використанні суглинистих порід та куті нахилу насипу 30° наведено на рис. 3.10.

Визначені залежності (рис. 3.10) дають можливість встановити, що найбезпечнішим буде насип висотою 20 м, оскільки за цих умов при будь-якому рівні обводненості FOS перебуватиме в діапазоні 1,8 – 2,7. При збільшенні висоти насипу від 40 до 80 м забезпечення стійкості обводнених порід досягається за рахунок виробленого простору кар'єру на відмітку від 50 до 95% від висоти насипу.

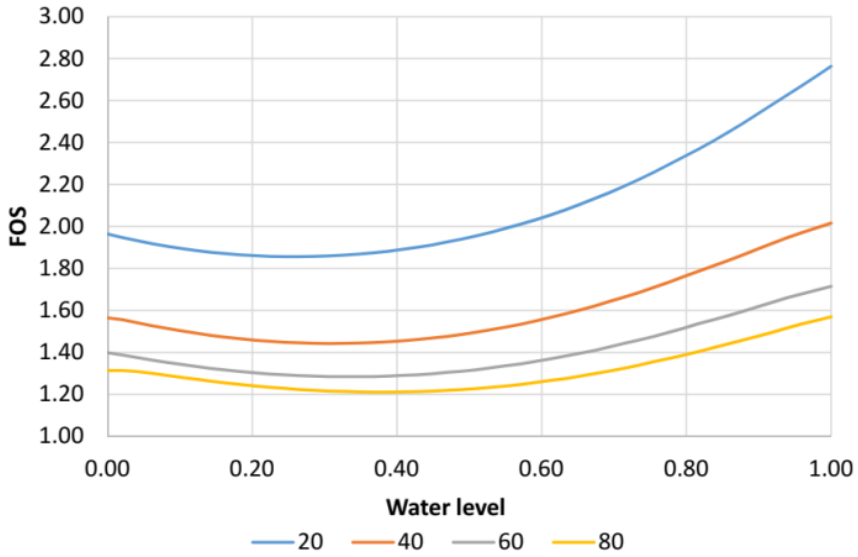


Рисунок 3.10 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості (FOS) обводненого відвалу з суглинистих порід від рівня заповнення залишкового простору водою при куті укосу насипу 30°

Проведені дослідження дали змогу встановити, що суглинні породи, на відміну від піску, можуть залишатися стійкими в обводненому стані навіть під час формування укосу насипу під кутом 40°. На практиці це дасть змогу скоротити об’єми гірничо-технічної рекультивації під час створення рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру (рис. 3.11).

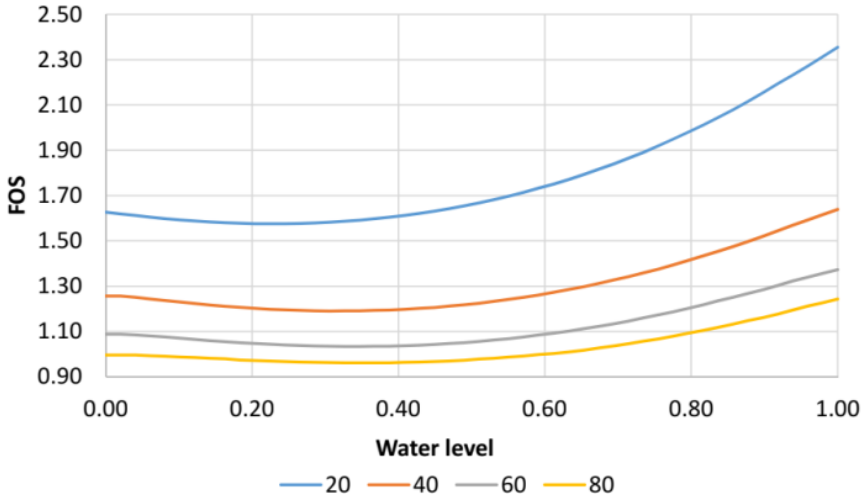


Рисунок 3.11 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості (FOS) обводненого відвалу з суглинистих порід від рівня заповнення залишкового простору водою при куті укосу насипу 40°

Відповідно до встановленого впливу рівня обводненості насипу на коефіцієнт запасу стійкості (рис. 3.11) при використанні суглинистих порід формування рекреаційної зони висотою 20 м у затопленому просторі кар'єру можливе при куті укосу насипу 40°, за будь-якого рівня обводнення. При подальшому збільшенні висоти насипу безпечний кут укосу може бути також досягнутий при висоті 40 м, за умови обводнення насипу на 95% по висоті. Також встановлено, що створення рекреаційної зони висотою 60 – 80 м є небезпечним при куті укосу насипу 40° при будь-якому рівні обводнення через низький показник фактора безпеки FOS у межах 1,0 – 1,4.

Окрім піщаних і суглинистих порід, у дослідженні також розглядалися подрібнені скельні породи, оскільки вони можуть знаходитися у зовнішніх відвалах кар'єрів нерудних матеріалів і є доступним матеріалом для заповнення обводненого виробленого простору.

Залежність FOS від рівня обводненості насипу зі скельних подрібнених порід при куті укосу насипу 20° наведено на рис. 3.12.

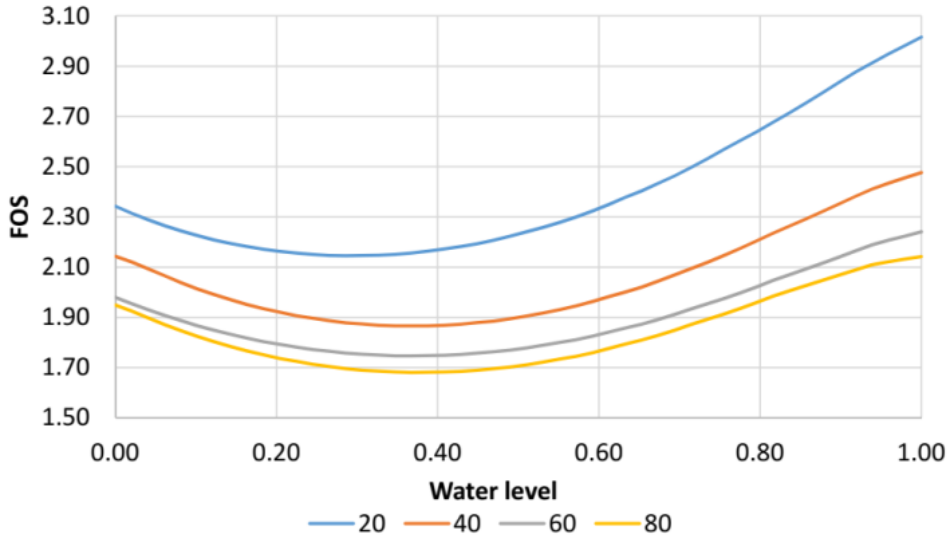


Рисунок 3.12 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості (FOS) обводненого відвалу зі скельних порід від рівня заповнення залишкового простору водою при куті укосу насипу 20°

Визначений вплив рівня обводненості насипу зі скельних порід на коефіцієнт запасу стійкості (рис. 3.12) дає змогу встановити, що при куті укосу насипу 20° будь-яка висота рекреаційної зони в діапазоні 20 – 80 м буде безпечною. Найбільший коефіцієнт запасу стійкості досягається при повному обводненні насипу при його висоті 20 м і становить 3,0. Водночас найменший FOS становитиме 1,7 при висоті насипу 80 м за умови його часткового обводнення на 40%.

Залежність FOS від рівня затоплення насипу зі скельних порід при куті укосу 30° наведено на рис. 3.13.

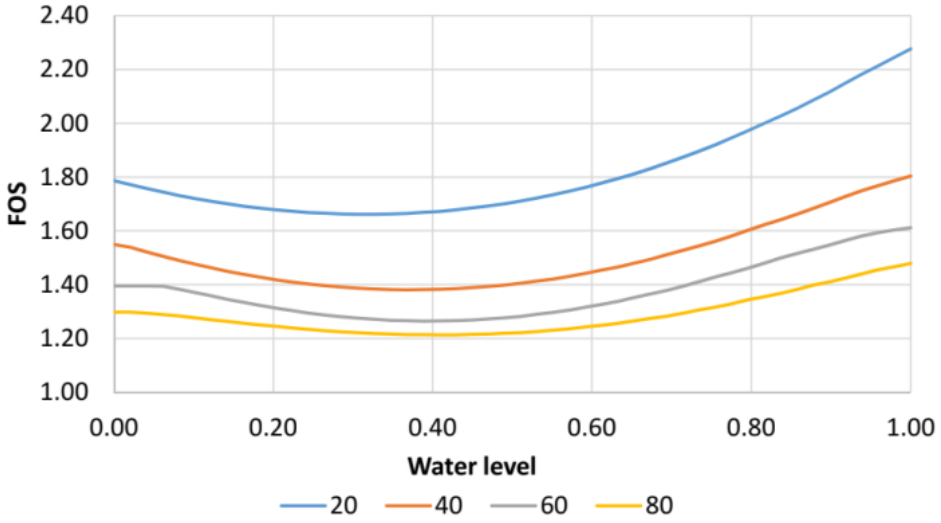


Рисунок 3.13 – Залежність коефіцієнта запасу стійкості (FOS) обводненого відвалу зі скельних порід від рівня заповнення залишкового простору водою при куті укосу насипу 30°

Відповідно до встановлених залежностей FOS від рівня обводнення щебеневого насипу (рис. 3.13), формування насипу висотою 20 м є безпечним за будь-якого рівня обводнення. За умови обводнення щебеневого насипу більш ніж на 95% по висоті, його можна сформувати висотою до 60 м, оскільки в цьому випадку FOS становитиме 1,58. Формування насипу висотою 80 м при будь-якому рівні обводнення є небезпечним, оскільки FOS знаходиться в діапазоні 1,21 – 1,44.

У ході досліджень впливу рівня обводненості щебеневого насипу на коефіцієнт запасу стійкості було розглянуто кут укосу насипу 40° (рис. 3.14).

Згідно із залежностями, наведеними на графіку (рис. 3.14), безпечне формування щебеневого насипу можливе лише при висоті 20 м при куті укосу насипу 40°. У цьому випадку діапазон показників коефіцієнта безпеки FOS знаходиться в межах 2,2 – 3,0. При збільшенні висоти насипу до 40 м значення FOS знижується до 1,4, що не може гарантувати безпеку створення рекреаційної зони. Найменший показник FOS становить 0,9 і досягається при збільшенні висоти насипу до 80 м за умови його зволоження на 40%.

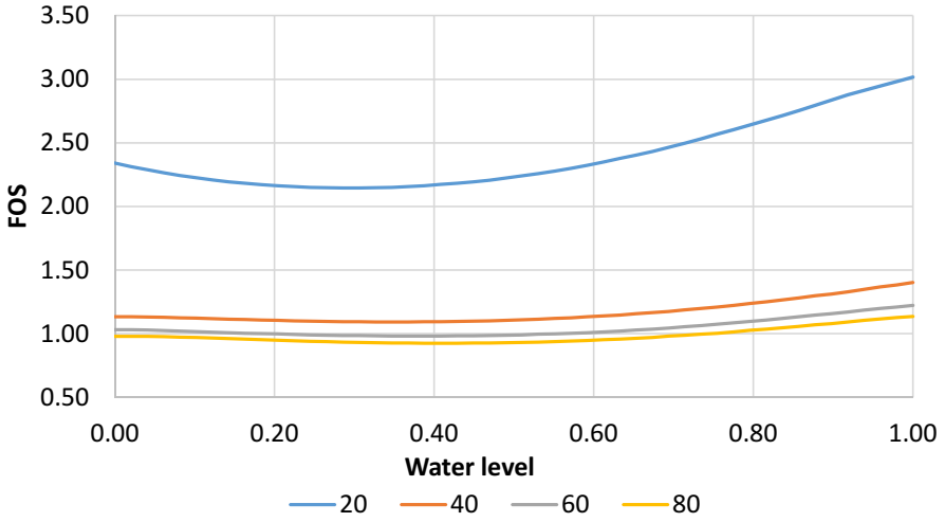


Рисунок 3.14 – Залежність коефіцієнту запасу стійкості (FOS) обводненого відвалу зі скельних порід від рівня заповнення залишкового простору водою при куті укосу насипу 40°

Проведені дослідження дають змогу перейти до узагальнення параметрів безпеки насипів в обводненому виробленому просторі кар'єру для створення рекреаційної зони, що в подальшому дасть можливість визначити об'єми гірничо-технічної рекультивації.

3.3 Обґрунтування безпечних параметрів рекреаційних зон при рекультивації обводнених вироблених просторів кар'єрів

На основі проведених досліджень отримано графіки залежності коефіцієнта запасу від рівня води в укосі під час засипання залишкового видобутого простору. Відповідно до встановлених залежностей виявлено, що при частковому підтопленні гірничого масиву на 45 – 50% для піщаних, суглинистих і скельних порід коефіцієнт запасу може знижуватися в 1,4 – 1,5 раза, що підтверджує негативний вплив води на стійкість укосу.

Аналіз отриманих залежностей дає змогу встановити, що зі збільшенням коефіцієнта запасу мінімум функції зміщується вліво, тобто критична висота води в підтопленому масиві стає нижчою. Таким чином, для запобігання зазначених ризиків обвалення насипів на практиці, при формуванні рекреаційної зони у виробленому просторі кар'єру, необхідно, щоб рівень води в ньому був трохи нижчим за висоту майданчика новоствореної поверхні (рекреаційної зони).

Відповідно до отриманих результатів досліджень розглянемо ділянку рекультивації під час створення рекреаційної зони в затопленій частині кар'єру за умови формування горизонтального майданчику, рівень якого незначно перевищує рівень води у водоймі. У такому випадку розглянемо сценарій, за якого рівень води буде максимально наближений до поверхні насипу. У ході досліджень приймаємо найбільш безпечний рівень обводнення насипу 95%.

Результати, отримані під час визначення коефіцієнта безпеки FOS для трьох розглянутих раніше типів гірських порід з висотою насипу від 20 до 80 м та рівнем обводнення 95 %, наведено в табл. 3.2.

Відповідно до встановлених показників фактора безпеки FOS при зміні висоти та кута укосу насипу (табл. 3.2) для порід з різними фізико-механічними властивостями у подальших дослідженнях визначаються безпечні параметри рекреаційної зони під час рекультивації. Для розробки рекомендацій щодо вибору безпечних параметрів насипу з урахуванням фізико-механічних властивостей порід приймається умова, що значення показника фактора безпеки FOS має бути не менше 1,5.

Таблиця 3.2 – Показники фактора безпеки FOS для різних типів гірських порід, що використовуються під час рекультивації обводненого виробленого простору кар'єру при рівні обводнення насипу на 95%

Висота насипу, м	Кут укосу насипу, град	Коефіцієнт запасу стійкості (FOS) для різних типів гірських порід при рівні обводнення насипу на 95%		
		пісок	суглинок	Щебінь
20	20	1,74	3,34	2,91
	30	1,21	2,63	2,18
	40	0,88	2,23	2,91
40	20	1,56	2,57	2,41
	30	1,06	1,95	1,75
	40	0,78	1,57	1,35
60	20	1,52	2,27	2,19
	30	1,04	1,66	1,58
	40	0,94	1,32	1,19
80	20	1,49	2,13	2,11
	30	0,98	1,52	1,44
	40	0,72	1,19	1,10

Таким чином, при менших значеннях коефіцієнта безпеки FOS стабільність стану гірських порід протягом тривалого часу вважатиметься недостатньою. Отримані показники безпечних кутів укосу насипу з піщаних, суглинистих і скельних порід при їх обводненні на 95% за висотою наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Показники безпечних кутів укосів насипів з піщаних, суглинистих і скельних порід при обводненні гірничого масиву на 95%

Тип порід	Висота насипу, м			
	20	40	60	80
Пісок	23	21	20	19
Суглинок	43	37	32	28
Щебінь	46	35	29	26

Встановлені безпечні кути нахилу укосів насипу дозволяють перейти до розв'язання наступної задачі з визначення об'ємів робіт з гірничо-технічної

рекультивації при спорудженні рекреаційної зони з різних типів порід у виробленому просторі обводненого кар’єру.

3.4 Визначення екологічної безпеки води в залишкових вироблених просторах кар’єрів Дніпровського району

Дослідження спрямовано на визначення гігієнічної та екологічної безпеки води у кар’єрних водоймах Дніпровського району за критерієм їх придатності для рекреаційного відновлення з подальшою оцінкою їх привабливості для використання [88].

Для проведення дослідження було обрано вісім відпрацьованих кар’єрів, розташованих у м. Дніпро та його околицях [89]. Вибір об’єктів зумовлений наявністю водойм на вироблених просторах та їх використанням місцевим населенням як рекреаційних зон [90]. Усі зазначені водойми утворилися після завершення видобувної діяльності в результаті природного або штучного затоплення. У зв’язку з цим безпечне використання зазначених об’єктів у рекреаційних цілях вимагає не лише обґрунтування безпечних параметрів берегової смуги, а й додаткового вивчення екологічного стану води [91], [92].

Відповідно до поставленого завдання було проведено відбір та оцінку восьми затоплених вироблених просторів кар’єрів Дніпровського району, які використовуються населенням у рекреаційних цілях (рис. 3.15).

Точка 1 – Малий кар’єр, розташований у с. Зоряне Дніпропетровської обл. У ході досліджень щодо визначення стану води та порівняння її якості з іншими водоймами було відібрано проби як з кар’єру, так і з розташованої поблизу р. Дніпро. Вода в кар’єрі чиста, прозора, без ознак цвітіння, має природний запах.

Прозорі водойми з низьким рівнем каламутності високо цінуються з рекреаційної точки зору, оскільки вони є більш естетичними та сприятливими для відпочинку [93]. Візуально не виявлено піни, водоростей або замулення. Радіаційний фон становить 0,18 мкЗв/год, що знаходиться в межах норми. Наявна берегова лінія, що дає можливість безпечно заходити у воду. Результати дослідження наведено в табл. 3.4.

Рисунок 3.15 – Схема розташування відпрацьованих кар’єрів на мапі:
1 – Малий кар’єр (с. Зоряне); 2 – Кар’єр Старі Кодаки; 3 – Новомиколаївський кар’єр; 4 – Таромський кар’єр (Західний); 5 – Таромський кар’єр (Східний); 6 – Кар’єр біля меморіалу «Безіменна висота»; 7 – Кар’єр на Червоному Камені; 8 – Озеро «Котлован»

Таблиця 3.4 – Результати аналізу проб води на точці 1 у Малому кар’єрі та р. Дніпро (с. Зоряне)

Показник	Точка 1 Малий кар’єр с. Зоряне	р. Дніпро 1	Гранично допустимі концентрації		
			Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм³	0,4	0,45	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм³	20	25	45	45	45
Солі гідрокарбонату (тимчасова жорсткість)	80	56	–	–	–
Жорсткість, мг/дм³	250	300	–	700	–
Водневий показник pH	7,6	7,2	6,5 – 8,5	6,5 – 9,5	7 – 10,5
Загальна лужність, мг/дм³	120	85	–	–	–

Продовження таблиці 3.4

Показник	Точка 1 Малий кар'єр с. Зоряне	р. Дніпро 1	Гранично допустимі концентрації		
			Україна	ЄС	Канада
Каламутність	1	6	–	–	1 – 3 NTU
Мінералізація, мг/дм³	691	209	1000	1000	-
Рівень розчиненого кисню, мг/дм³	9	8	–	–	–
Окисно-відновний потенціал, мВ	20	30	–	–	–

Аналіз показує, що переважна більшість хімічних показників у воді зазначеного кар'єру знаходиться в межах допустимих значень. Залізо у пробі відсутнє. Нітрати (20 мг/дм³) та нітрити (0,4 мг/дм³) не перевищують відповідних нормативів.

Оцінка рівня розчиненого кисню (9 мг/дм³) вказує на достатню насиченість води, а показник окисно-відновного потенціалу (ОВП) становить 20 мВ, що відповідає типовим умовам для природних водойм. При цьому невисокий показник ОВП вказує на те, що вода слабо здатна до самостійного самоочищення у разі бактеріального забруднення [94].

Під час обстеження водойми було встановлено (за органолептичними ознаками), що вода має природний зелено-блакитний відтінок, прозора, без запаху, без піни та видимих слідів цвітіння. Візуальні характеристики дають підстави припустити високу якість води з низьким рівнем органічного забруднення.

На підставі зазначених результатів можна зробити висновок, що вода в Малому кар'єрі за основними фізико-хімічними та токсикологічними параметрами відповідає встановленим нормам. Це дозволяє вважати її безпечною для рекреаційного використання, зокрема для купання, за умови відсутності мікробіологічних ризиків, які не досліджувалися в рамках даного аналізу.

Водночас варто зазначити, що вода в кар'єрі за показником каламутності (1 NTU) набагато чистіша, ніж вода в р. Дніпро (6 NTU). Це пояснюється

меншим рівнем цвітіння водоростей у водоймі кар’єру, що робить її привабливішою для відпочивальників порівняно з річковою водою.

Точка 2 – кар’єр розташований у межах с. Старі Кодаки, неподалік від Дніпра. Вода візуально чиста, але має зеленуватий відтінок. Піни та запаху немає. Водоростей небагато, що може свідчити про відносно стабільну екосистему та низький рівень евтрофікації.

Радіаційний фон 0,15 мкЗв/год – у межах природної норми. Можливо, зелений колір зумовлений природними факторами – відбитком рослин або наявністю мінералів, а не надмірною кількістю органіки. Берегова лінія, що дає можливість безпечно заходити у воду, присутня.

Результати лабораторного аналізу наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати аналізу проб води на точці 2 у кар’єрі Старі Кодаки

Показник	Точка 2 Кар’єр Старі Кодаки	р. Дніпро 2	Гранично допустимі концентрації		
			Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм³	0,35	0,45	0,5	0,35	0,45
Нітрати (NO_3^-), мг/дм³	30	38	45	30	38
Солі гідрокарбонату (тимчасова жорсткість)	96	75	–	96	75
Жорсткість, мг/дм³	264	279	-	264	279
Водневий показник pH	8,4	6,8	6,5–8,5	8,4	6,8
Загальна лужність, мг/дм³	103	81	–	103	81
Каламутність	3	7	–	3	7
Мінералізація, мг/дм³	604	234	1000	604	234
Рівень розчиненого кисню, мг/дм³	8	4	–	8	4
Окисно-відновний потенціал, мВ	6	23	–	6	23

Результати показують, що такі речовини, як ртуть, мідь, свинець, хром-6, залізо, ціаніди, вільний хлор, вільний бром та загальний хлор, у пробі відсутні або знаходяться за межею виявлення. Рівень нітритів (0,35 мг/дм³) нижчий за основну українську ГДК (0,5 мг/дм³), а нітрати (30 мг/дм³) також не

перевищують межі 45 мг/дм³ за всіма нормативами.

Рівень розчиненого кисню у воді кар'єру становив 8 мг/дм³, що свідчить про достатній кисневий режим. Окисно-відновний потенціал (ОВП) у цій точці – 6 мВ, що вказує на слабку здатність води до самоочищення, зокрема за умови мікробного навантаження. Для порівняння, у пробі з р. Дніпро ОВП становив 23 мВ, що дещо вище, однак також недостатньо для ефективного природного очищення. Зниження ОВП може свідчити про наявність органічного забруднення або застійної циркуляції води.

Результати аналізу води в кар'єрі за показником каламутності (3 NTU) знаходяться в межах допустимих значень, при цьому каламутність води в р. Дніпро поруч із кар'єром становить (7 NTU), що перевищує гранично допустимі концентрації [95]. Тому, як і в попередньому випадку, чистіша вода, на відміну від р. Дніпро, приваблює сотні місцевих відпочивальників у теплий сезон.

Точка 3 – Новомиколаївський кар'єр розташований у селищі Новомиколаївці, поруч із р. Мокра Сура. Отримані результати відібраних проб дають підстави стверджувати, що вода має нормальний природний вигляд, без вираженого запаху, піни чи видимих забруднень. Радіаційний фон становив 0,07 мкЗв/год – у межах природного. Водне середовище не виявляє ознак надмірної евтрофікації або застою. Результати лабораторного аналізу наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати аналізу проб води на точці 3
у Новомиколаївському кар'єрі

Показник	Точка 3 Кар'єр Ново-миколаївський	р. Мала Сура	Гранично допустимі концентрації		
			Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм³	0,31	0,33	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм³	30	35	45	45	45
Солі гідрокарбонату (тимчасова жорсткість)	35	40	–	–	–
Жорсткість, мг/дм³	251	241	–	700	–

Продовження таблиці 3.6

Показник	Точка 3 Кар'єр Ново-миколаївський	р. Мала Сура	Гранично допустимі концентрації		
			Україна	ЄС	Канада
Водневий показник pH	7,6	7,2	6,5 – 8,5	6,5 –9,5	7 – 10,5
Загальна лужність, мг/дм³	65	70	–	–	-
Каламутність	3	13	–	–	1 – 3 NTU
Мінералізація, мг/дм³	947	762	1000	1000	–
Рівень розчиненого кисню, мг/дм³	7	2	–	–	–
Окисно-відновний потенціал, мВ	64	57	–	–	–

Аналіз показує, що вода в кар'єрі не містить значної кількості токсикологічно небезпечних елементів. Такі сполуки, як ртуть, мідь, свинець, хром-6, залізо, ціаніди, вільний хлор, загальний хлор і вільний бром, не були виявлені або присутні в концентраціях, нижчих за межу виявлення. Рівень нітритів (0,31 мг/дм³) нижчий за допустиму норму в Україні (0,5 мг/дм³), аналогічно і рівень нітратів (30 мг/дм³), який не перевищує ГДК у 45 мг/дм³ [96]. Концентрація фторидів відсутня.

Рівень розчиненого кисню у воді кар'єру становив 7 мг/дм³, що свідчить про помірно сприятливі умови для водної біоти. Окисно-відновний потенціал (ОВП) становить 64 мВ – це найвищий показник серед усіх трьох досліджених точок на даний момент, і він свідчить про дещо кращу здатність води до самоочищення. Для порівняння, у пробі з р. Мала Сура ОВП становив 57 мВ, що також є прийнятним, однак нижчим показником. Це може свідчити про незначну евтрофікацію або застійність у річковій воді порівняно з кар'єрною.

Як і в попередніх випадках, порівняння води в кар'єрі з р. Мала Сура дає змогу стверджувати, що в штучній водоймі вона має значно меншу каламутність (3 NTU), що значно менше, ніж у природній (13 NTU).

Окрім зазначених факторів, варто відзначити значний потенціал Новомиколаївського кар'єру в рекреаційному напрямі відновлення, оскільки він має велику площу порівняно з іншими кар'єрами, що дає змогу облаштувати зони активного відпочинку для великої кількості бажаючих.

Точки 4 і 5 – Таромські кар’єри, розташовані поблизу Таромського району. На сьогодні вони мають різний рівень рекреаційного навантаження: в одному активно купаються (західний, точка 4), в іншому – ні (східна точка 5). Вода в обох прозора, без піни, без неприємного запаху. Радіаційний фон варіюється від 0,07 до 0,10 мкЗв/год, що відповідає нормі. Візуально обидва кар’єри перебувають у задовільному стані: немає надмірної рослинності або сторонніх забруднень. Результати лабораторного аналізу наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати аналізу проб води на точках 4 і 5 у Таромських кар’єрах

Показник	Таромські кар’єри		р. Дніпро 4	Гранично допустимі концентрації		
	точка 4	точка 5		Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм³	0,4	0,4	0,9	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм³	31	31	39	45	45	45
Солі гідрокарбонату (тимчасова жорсткість)	80	85	41	–	–	–
Жорсткість, мг/дм³	240	245	245	–	700	–
Водневий показник pH	7,8	7,8	6,8	6,5 – 8,5	6,5 – 9,5	7 – 10,5
Загальна лужність, мг/дм³	110	111	65	–	–	–
Каламутність	4	4	12	–	–	1 – 3 NTU
Мінералізація, мг/дм³	503	507	254	1000	1000	–
Рівень розчиненого кисню, мг/дм³	5	5	3	–	–	–
Окисно-відновний потенціал, мВ	57	64	46	–	–	–

За результатами аналізу встановлено, що всі три проби (обидва кар’єри та річка) мають прийнятні показники за основними токсикологічними та гігієнічними параметрами. У жодній із точок не виявлено ртуті, міді, свинцю, хрому-6, заліза, ціанідів, вільного хлору, загального хлору та вільного брому. Рівень нітритів становив 0,4 мг/дм³ у точці 4, 0,4 мг/дм³ у точці 5 та 0,9 мг/дм³ у р. Дніпро. Нітрати у всіх точках також не перевищують ГДК (значення: 31 – 39 мг/дм³ при нормі 45 мг/дм³). Показник pH у точках 4 і 5 становить 7,8, що

свідчить про нейтральне середовище. У р. Дніпро цей показник становив 6,8, що ближче до нижньої межі нормативного діапазону.

Жорсткість води однакова у всіх трьох точках і становить 240–245 мг/дм³, що свідчить про стабільний мінеральний склад. Мінералізація в річці дещо нижча – 254 мг/дм³, тоді як у кар'єрах – понад 500 мг/дм³, однак усі значення знаходяться в межах допустимих 1000 мг/дм³. Каламутність у річці вища (12 NTU), що перевищує рекомендовану межу Канади (1 – 3 NTU), тоді як у кар'єрах цей показник наближається до допустимих значень (4 NTU).

Рівень розчиненого кисню в обох кар'єрах становить 5 мг/дм³, у р. Дніпро – 3 мг/дм³. Це свідчить про більш сприятливі умови для аерації в кар'єрах порівняно з річкою. Показники окисно-відновного потенціалу (ОВП) становили 64 мВ (точка 4), 57 мВ (точка 5) і 46 мВ (річка), що свідчить про помірну здатність води до природного самоочищення. Найнижче значення ОВП у річці може свідчити про застій або накопичення органічного навантаження.

Таким чином, розглянуті кар'єри майже повністю придатні для рекреаційного напряму відновлення, однак перешкодою виступає показник каламутності, який трохи перевищує допустимі норми. З іншого боку, вода в цих кар'єрах чистіша, ніж вода в р. Дніпро, що протікає поруч, тому ці водойми є більш привабливими для сезонних відпочивальників.

Точка 6 – Кар'єр біля меморіалу «Безіменна висота», розташований у Новокодацькому районі неподалік від вул. Лірницької. Вода виробленому просторі має звичний природний вигляд, тут мешкають качки, що побічно свідчить про екологічну безпеку водойми. При цьому є ознаки певного рівня евтрофікації, який може стати шкідливим за високих температур та активного впливу сонця. Ознак плівки, піни або цвітіння не виявлено. Радіаційний фон в межах природного рівня для України і становить 0,14 мкЗв/год. Результати дослідження наведено в табл. 3.8.

Аналіз показав, що вода не містить небезпечних домішок. Нітрити (0,35 мг/дм³) та нітрати (20 мг/дм³) не перевищують нормативні значення, встановлені всіма трьома системами стандартів (ГДК: 0,5 мг/дм³ для нітритів та

45 мг/дм³ для нітратів). Рівень pH становить 7,8, що цілком прийнятно і відповідає межам 6,5 – 8,5 за українським стандартом.

Таблиця 3.8 – Результати аналізу проб води на точці 6 у кар'єрі біля меморіалу «Безіменна висота» (Новокодацький район біля вул. Лірницька)

Показник	Точка 6 Кар'єр біля меморіалу «Безіменна висота»	Гранично допустимі концентрації		
		Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм³	0,35	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм³	20	45	45	45
Солі гідрокарбонату (тимчасова жорсткість)	95	–	–	–
Жорсткість, мг/дм³	402	–	700	
Водневий показник pH	7,8	6,5 – 8,5	6,5 – 9,5	7 – 10,5
Загальна лужність, мг/дм³	120	–	–	–
Каламутність	12,1	–	–	1 – 3 NTU
Мінералізація, мг/дм³	1270	1000	1000	–
Рівень розчиненого кисню, мг/дм³	3	–	–	–
Окисно-відновний потенціал, мВ	45	–	–	–

Каламутність води становила 12,1 NTU, що значно перевищує рекомендовані межі (1 – 3 NTU для води згідно з канадськими нормами). Це може свідчити про наявність частинок природного або антропогенного походження. Мінералізація становить 1270 мг/дм³, що також значно перевищує гранично допустимі норми. Рівень розчиненого кисню становить всього 3 мг/дм³ [97]. Це відносно низький показник, що може свідчити про знижене надходження кисню у воду, зменшення аерації та, відповідно, знижену здатність водойми до самоочищення.

Варто зазначити, що цей кар'єр має невеликі розміри і не приваблює відпочивальників, що, можливо, пов'язано з високою каламутністю води [98]. Отже, створення рекреаційної зони в цьому місці можна реалізувати після зниження каламутності води.

Точка 7 – кар’єр на Червоному Камені, розташований в однойменному районі м. Дніпра. Це єдиний з обстежених кар’єрів, де візуально спостерігалася піна та жовтуватий колір води, що викликає сумніви щодо її якості. Водойма має неестетичний вигляд, а також, порівняно з іншими, менш приємний запах. Радіаційний фон становить 0,12 мкЗв/год, що не перевищує нормативу, але вимагає особливої уваги. Можливе надходження забруднень антропогенного походження. Результати дослідження наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Результати аналізу проб води на точці 7 у кар’єрі на Червоному Камені

Показник	Точка 7 Кар’єр на Червоному Камені	Гранично допустимі концентрації		
		Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм³	0,25	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм³	26	45	45	45
Солі гідрокарбонату (тимчасова жорсткість)	61	–	–	–
Жорсткість, мг/дм³	550	–	700	
Водневий показник pH	7	6,5 – 8,5	6,5 – 9,5	7 – 10,5
Загальна лужність, мг/дм³	42	–	–	–
Каламутність	13,4	–	–	1 – 3 NTU
Мінералізація, мг/дм³	761	1000	1000	-
Рівень розчиненого кисню, мг/дм³	4	–	–	–
Окисно-відновний потенціал, мВ	15	–	–	–

Усі токсичні елементи, зокрема ртуть, мідь, свинець, хром-6, залізо, ціаніди, а також вільний хлор, загальний хлор і вільний бром у воді були відсутні або їх концентрація була нижчою за межу виявлення. Концентрація нітритів становила 0,25 мг/дм³, що не перевищує допустиму межу 0,5 мг/дм³. Вміст нітратів – 26 мг/дм³, що також не перевищує норму в 45 мг/дм³. Таким чином, рівень азотовмісних сполук знаходиться в межах допустимих норм за всіма системами стандартів.

Жорсткість води становить 550 мг/дм³ при граничному значенні 700 мг/дм³, що свідчить про високий вміст солей кальцію та магнію, але в межах норми. Значення pH дорівнює 7, що є типовим для нейтрального середовища та відповідає нормам (6,5 – 8,5). Загальна лужність становила 42 мг/дм³.

Мінералізація води в кар'єрі становить 761 мг/дм³, що нижче гранично допустимого значення 1000 мг/дм³. Таким чином, можна стверджувати, що вміст розчинених солей є помірним. Каламутність води становить 13,4 NTU, що значно перевищує норму для води (1 – NTU), що обумовлено наявністю зважених частинок, органічних залишків або водоростей.

Мінералізація води в кар'єрі становить 761 мг/дм³, що нижче гранично допустимого значення 1000 мг/дм³. Отже, можна стверджувати, що вміст розчинених солей є помірним. Каламутність води становить 13,4 NTU, а це значно перевищує норму для води (1–3 NTU), що обумовлено наявністю зважених частинок, органічних залишків або водоростей.

Окисно-відновний потенціал (ОВП) становить всього 15 мВ, що вказує на дуже низьку здатність води до природного самоочищення, зокрема при бактеріальному або органічному навантаженні.

Точка 8 – Озеро «Котлован», що утворилося на місці виробленого простору кар'єру. Воно розташоване на лівому березі р. Дніпро, в районі активного рекреаційного використання – влітку тут можна побачити багато купальників. Вода має світло-зелений відтінок, однак піни чи активного цвітіння не виявлено. На берегах присутня рослинність, яка може впливати на візуальне сприйняття кольору води. Радіаційний фон становить 0,06 мкЗв/год і є найнижчим серед усіх точок, що вказує на екологічну стабільність ділянки. Результати дослідження наведено в табл. 3.10.

Такі показники, як фториди (Fluorides), ртуть (Mercury), мідь (Copper), свинець (Lead), хром-6 (Chromium VI), залізо (Iron), вільний бром (Free Bromine), вільний хлор (Free Chlorine), загальний хлор (Total Chlorine) та ціаніди, у всіх досліджених пробах показали результат 0 або були нижче межі виявлення, що свідчить про відсутність перевищення або вмісту, яке не фіксується використовуваними методами аналізу.

Однак слід зазначити, що pH води становить 6,2, що нижче допустимої норми та вказує на кисле середовище. Отже, на даний момент не можна рекомендувати водойму для рекреаційного використання без підвищення pH.

Таблиця 3.10 – Результати аналізу проб води на точці 8

Озеро «Котлован»

Показник	Точка 8 Озеро «Котлован»	Гранично допустимі концентрації		
		Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм³	0,27	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм³	28	45	45	45
Солі гідрокарбонату (тимчасова жорсткість)	41	-	-	-
Жорсткість, мг/дм³	503	-	700	-
Водневий показник pH	6,2	6,5–8,5	6,5–9,5	7-10,5
Загальна лужність, мг/дм³	21	-	-	-
Каламутність	11	-	-	1–3 NTU
Мінералізація, мг/дм³	514	1000	1000	-
Рівень розчиненого кисню, мг/дм³	5	-	-	-
Окисно-відновний потенціал, мВ	32	-	-	-

Це приклад кислих кар’єрних озер, які, незважаючи на використання для купання, мають підвищені концентрації металів і низький pH, що може становити ризик для здоров’я [99] – [101].

3.5 Висновки за розділом

1. Результати досліджень щодо встановлення безпечних параметрів рекреаційних зон, що створюються у виробленому просторі кар’єру з урахуванням фізико-механічних властивостей відвальних порід, дали змогу визначити вплив рівня обводненості на стійкість насипів із піску, суглинків та подрібнених скельних порід. Отримані результати необхідні для виконання проєктних робіт з розробки технологічних схем рекультивації вироблених просторів кар’єрів під рекреаційний напрям постмайнінгу.

2. Встановлено, що використання суглинистих порід для формування рекреаційної зони висотою 20 – 40 м можливе під кутом укосу насипу 40°, незалежно від рівня обводнення. Подальше збільшення висоти насипу до 80 м є небезпечним при даному куті укосу через низький показник коефіцієнта запасу міцності FOS у межах 1,0 – 1,4.

3. Доведено, що формування щебеневого насипу висотою від 20 до 80 м можливе за умови зменшення кута нахилу укосу з 46 до 26° відповідно. Це пояснюється тим, що при збільшенні висоти насипу до 40 м, значення FOS знижується до 1,4, що не може гарантувати безпеку формування рекреаційної зони. Найменший показник FOS становить 0,9 і досягається при збільшенні висоти насипу до 80 м за умови його обводнення на 40%.

4. Встановлено, що при частковому затопленні гірничого масиву на 45 – 50% для піщаних, суглинистих і скельних порід відбувається значне зниження коефіцієнта запасу стійкості до 1,4 – 1,5, що підтверджує негативний вплив саме часткового обводнення гірських насипів на стійкість їх укосів.

5. Встановлено, що при формуванні насипу висотою 20 м із суглинистих порід об’єм гірничих робіт буде у 1,34 раза меншим порівняно з піщаними породами, але в 1,02 раза більшим порівняно зі скельними породами. При збільшенні висоти насипу до 80 м, об’єм гірничих робіт збільшиться в 1,87 раза при використанні піщаних порід і в 1,12 раза при використанні скельних порід, відповідно.

6. Найкращі результати за всіма параметрами були зафіксовані в точках 1, 2 і 3, які характеризуються помірною мінералізацією, хорошим кисневим режимом і стабільним хімічним складом. Навпаки, найгірші показники каламутності, жорсткості та кисневого балансу спостерігались у точках 6, 7 і 8, що може свідчити про зниження якості води внаслідок природних або антропогенних факторів.

7. Загальні результати досліджень показують, що жодна з проб не перевищує гранично допустимих концентрацій небезпечних хімічних речовин (важкі метали, нітрити, нітрати тощо), однак в деяких точках відзначається

перевищення каламутності (точка 6 – 12,1 NTU, точка 7 - 13,4 NTU, точка 8 - 11 NTU) та знижені значення окисно-відновного потенціалу (<40 мВ у точках 1, 2, 7, 8), що свідчить про слабку здатність води до самоочищення. Рівень pH озера «Котлован» становить 6,2, що не відповідає жодним вимогам до рівня кислотно-лужного балансу води.

8. Отримані результати дають змогу скласти карту екологічної безпеки водойм, визначити пріоритетні напрями подальших досліджень та розробити рекомендації щодо рекреаційного використання кожного з об’єктів.

РОЗДІЛ 4
ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРІВ КАР'ЄРІВ ПРИ СТВОРЕННІ РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН

4.1 Оцінка впливу соціального фактору на вибір напряму рекультивації виробленого простору кар'єру

Території, які після видобутку корисних копалин не були відновлені і доведені до стану екологічної та техногенної безпеки, вважаються нерекультивованими. Такі ділянки становлять підвищений ризик як для населення, так і для тваринного світу, що мешкає поблизу [102]. Основна проблема полягає в тому, що укоси кар'єрів із часом втрачають стійкість і можуть обвалюватися, створюючи ризик травмування місцевого населення. Крім того, у багатьох вироблених кар'єрах утворюються водойми, які часто бувають дуже глибокими та непридатними для безпечного купання. Діти або тварини, які знаходяться поблизу, не завжди усвідомлюють небезпеку і можуть випадково опинитися у воді [103], [104].

Ще однією суттєвою загрозою є наявність у кар'єрах хімічних речовин або мінералів, що можуть потрапляти в ґрунт і воду, спричиняючи їх забруднення та завдаючи шкоди навколишньому середовищу. Масштаби видобутку, переробки та переміщення гірничої маси ускладнюють прогнозування природних процесів самовідновлення порушених територій, що зумовлює необхідність розробки цілеспрямованих рекультиваційних заходів [105]. Важливо враховувати, що відходи гірничодобувної промисловості характеризуються значними об'ємами та тривалим терміном зберігання у відвалах. Особливої уваги потребує гірнича маса, яка містить сполуки важких металів, адже вони чинять довготривалий токсичний вплив на навколишнє середовище. Оптимізація керування відходами передбачає проведення достовірного аналізу їхнього хімічного складу та потенційної екологічної небезпеки [106].

Окрім екологічних аспектів, процес закриття гірничих підприємств має соціально-економічні наслідки. Припинення діяльності зумовлює необхідність реалізації програм підтримки працівників, які втрачають робочі місця. До таких заходів належать: надання вихідної допомоги, забезпечення медичним страхуванням, організація перекваліфікації, сприяння у працевлаштуванні, а також надання інформаційних та юридичних послуг [107].

Соціальний фактор є одним із ключових при виборі напрямів рекультивації вироблених просторів кар'єрів, оскільки він взаємопов'язаний з екологічними та економічними умовами розвитку регіону (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Оцінка впливу соціального фактору на напрям рекультивації

Соціальний фактор	Потенційний напрям рекультивації	Очікуваний ефект для громади
Дефіцит сільськогосподарських угідь	Сільськогосподарське використання	Продовольча безпека, робочі місця
Урбанізоване середовище	Рекреаційні зони, парки, водойми	Підвищення якості життя, туризм
Високий рівень безробіття	Промислове чи енергетичне використання	Нові робочі місця, інвестиції
Культурні ініціативи громади	Туристичні та культурні об'єкти	Соціальна згуртованість, нова ідентичність
Ризики безпеки	Лісонасадження, технічна рекультивація	Зменшення небезпеки, екологічна стабільність

Місцева громада має право впливати на подальше використання виробленого простору – перетворення його на рекреаційну зону, парк або промисловий майданчик. Крім того, рекультивація повинна враховувати мінімізацію негативних факторів, таких як пилове та шумове забруднення, погіршення якості атмосферного повітря [108]. У деяких випадках вироблений простір може набувати й культурної цінності для громади, тому під час рекультивації слід зберігати ці особливості.

Кар'єри, які не використовуються за призначенням, становлять реальну загрозу розосередження житлової та громадської забудови міста. Створення зон відпочинку на місці відпрацьованих кар'єрів може бути складним завданням, але

воно може принести багато користі для громади та навколишнього середовища. Разом з тим, за умови раціонального планування та належних інвестицій, вони можуть бути інтегровані в міський та регіональний простір у вигляді зон відпочинку та рекреації [109]. Створення умов для пішохідних та велосипедних маршрутів, риболовлі, організації пікніків та інших форм дозвілля сприяє підвищенню якості життя населення. Крім того, розвиток рекреаційних територій здатен стимулювати туристичну діяльність, забезпечувати створення нових робочих місць т генерувати додаткові економічні надходження для місцевих громад.

Соціальний фактор є визначальним критерієм при виборі напряму рекультивації. Він формує баланс між економічною доцільністю, екологічною безпекою та потребами місцевої громади. Успішні проєкти рекультивації – це ті, в яких враховано думку місцевого населення та створено простір, що відповідає його соціальним і культурним очікуванням.

4.2 Визначення вплину фізико-механічних властивостей порід на техніко-економічні показники рекультивації обводнених просторів кар'єрів

Створення рекреаційної зони у виробленому просторі кар'єру вважається надзвичайно витратним напрямом гірничо-технічної рекультивації, який може бути обраний лише за умови наявності запиту з боку місцевих громад та туристичного потенціалу відповідної місцевості.

Спорудження зазначеної зони під час рекультивації дає можливість створити додаткові площі з пологими укосами у вигляді берегової смуги, що дає можливість забезпечити вільний і безпечний доступ відпочивальників до води.

Проведені раніше дослідження [56] дали змогу розробити методичні підходи до визначення об'ємів гірничо-технічної рекультивації при створенні рекреаційної зони на борту обводненого кар'єру з урахуванням параметрів результуючого борту кар'єру.

4.2.1 Встановлення впливу фізико-механічних властивостей відвальних порід на об’єми рекультиваційних робіт при створенні рекреаційної зони

Відповідно до розроблених рекомендацій для розрахунку об’ємів робіт з гірничо-технічної рекультивації беруться такі вихідні дані: результуючий кут борту кар’єру нерудних матеріалів, на якому здійснюється рекультивація – 60°; довжина пляжу рекреаційної зони – 100 м; площа горизонтального майданчика рекреаційної зони над обводненою поверхнею – 0,5 га; ширина пляжу рекреаційної зони 50 м; висота насипу від 20 до 80 м; тип порід для формування насипу – пісок, суглинок, щебінь; рівень обводнення порід насипу по його висоті – 95%; кути безпечних нахилів укосів насипів відповідно до табл. 3.3.

Результати отриманих досліджень зі встановлення впливу висоти насипу на безпечний кут його нахилу та об’єм гірничих робіт з урахуванням обводнення гірничого масиву на 95% наведено на рис. 4.1.

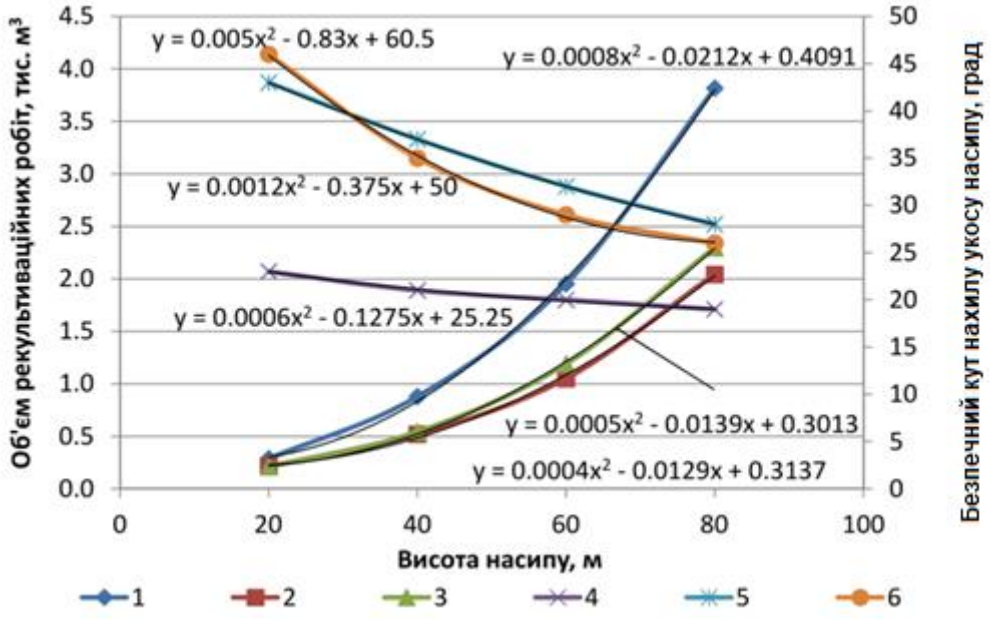


Рисунок 4.1 – Залежність об’єму гірничих робіт при створенні рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру (1 – пісок; 2 – суглинок; 3 – щебінь) та безпечного кута укосу порід насипу (4 – пісок; 5 – суглинок; 6 – щебінь) від його висоти при площі рекреаційної зони 0,5 га

Результати розрахунків (рис. 4.1) дають змогу встановити вплив висоти насипу на об’єм робіт з гірничо-технічної рекультивації при спорудженні рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру з урахуванням фізико-механічних властивостей порід. Відповідно до встановлених залежностей при зростанні висоти насипу в 4 рази з 20 до 80 м безпечний кут укосу нахилу зменшується в 1,21 рази при використані піщаних, 1,54 – суглинистих і 1,77 – скельних подрібнених порід.

Залежності, наведені на рис. 4.1, дають підстави стверджувати, що при невеликих висотах насипу до 35 м щебеневі породи мають більш стійкий кут укосу відвалу порівняно з суглинистими, однак при подальшому збільшенні висоти насипу до 80 м кут стійкості щебеневих порід буде меншим ніж у суглинків.

Водночас для всіх видів порід збільшення висоти насипу з 20 до 80 м, призводить до суттєвого збільшення об’ємів гірничих робіт при сталому показнику площі рекреаційної зони, що споруджується над поверхнею води. Під час виконання досліджень було розглянуто можливість створення рекреаційної зони площею 0,5 га, що потребує від 0,21 до 3,82 млн м^3 гірських порід.

Формування насипу з піщаних порід при збільшенні його висоти в 4 рази призведе до необхідності використання в 13,2 раза більшої кількості матеріалів, оскільки об’єм засипки збільшиться з 0,29 до 3,82 млн м^3. При використанні щебеневих порід об’єм гірничих робіт збільшиться в 10,9 раза з 0,21 до 2,3 млн м^3. Мінімальне збільшення об’єму гірничих робіт при збільшенні висоти насипу з 20 до 80 м серед досліджуваних порід спостерігається у суглинків. У цьому випадку збільшення об’ємів робіт становитиме 9,5 раза – з 0,22 до 2,04 млн м^3.

4.2.2 Визначення техніко-економічних показників при створенні рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру

Відповідно до встановлених залежностей, найбільш ефективними для використання є суглинисті породи, оскільки їх застосування потребує найменших об’ємів гірничих робіт. Також можливе застосування щебеневих

порід за наявності зовнішніх відвалах кар’єру або при близькому розташуванні сусідніх кар’єрів, яким необхідно розміщувати розкривні породи під час видобування основної сировини.

Насамперед це пов’язано з високою вартістю подрібнених скельних порід порівняно з піском та суглинками. У зв’язку з цим при розробці рекомендацій щодо вибору ефективних матеріалів для формування рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру необхідно враховувати наявність доступних матеріалів або, за їх відсутності, обґрунтувати техніко-економічну доцільність залучення розкривних порід з інших кар’єрів.

Для прогнозування ефективності використання матеріалів для засипки, таких як корисні копалини з інших кар’єрів, було проведено розрахунок відповідно до ринкової вартості піску, суглинку та щебеню з доставкою. Згідно з відкритими джерелами інформації, оптова вартість піщаних порід становить – 150 грн/м^3, суглинків – 80 грн/м^3, щебеневих порід – 270 грн/м^3.

Результати розрахунків щодо встановлення витрат на закупівлю матеріалів при створенні рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру залежно від типу порід, висоти насипу та з урахуванням його обводнення на 95% наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Параметри насипів в обводненому просторі кар’єру під час виконання рекультиваційних робіт із засипання виробленого простору

Висота насипу, м	Тип гірських порід								
	Пісок			Суглинок			Щебінь		
	кут стійкості, град	об’єм рекульти-ваційних робіт, м^3	вартість матеріалів, млн грн	кут стійкості, град	об’єм рекульти-ваційних робіт, м^3	вартість матеріалів, млн грн	кут стійкості, град	об’єм рекульти-ваційних робіт, м^3	вартість матеріалів, млн грн
20	23	0,29	43,15	43	0,22	17,22	46	0,21	56,67
40	21	0,88	131,83	37	0,52	41,53	35	0,54	146,77
60	20	1,95	292,99	32	1,05	84,04	29	1,19	321,04
80	19	3,82	572,53	28	2,04	163,39	26	2,30	620,33

Відповідно до встановленої ринкової вартості матеріалів, необхідних для створення рекреаційної зони у виробленому просторі кар’єру, за будь-якої

висоти насипу в діапазоні 20 – 80 м, найбільш ефективним є використання суглинистих порід (рис. 4.2).

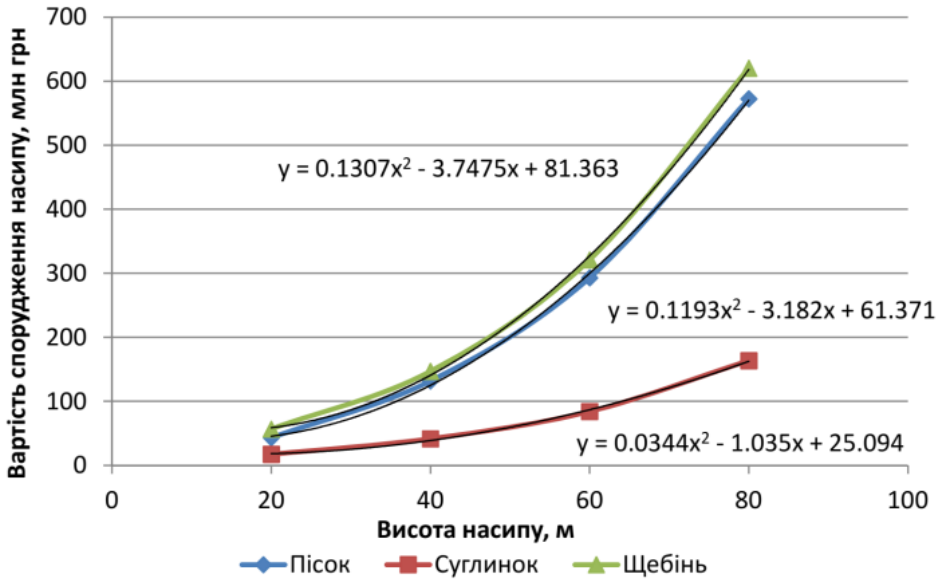


Рисунок 4.2 – Встановлення впливу висоти насипу при створенні рекреаційної зони у виробленому просторі кар'єру на вартість рекультиваційних робіт з урахуванням фізико-механічних властивостей порід при площі рекреаційної зони 0,5 га

Встановлені залежності показують, що при формуванні насипу висотою 20 м із суглинистих порід його вартість буде в 2,5 раза меншою порівняно з піщаними породами та в 3,2 раза – зі скельними. При висоті насипу 80 м ці значення зростуть до 3,5 і 3,8 разів, відповідно. Це свідчить про те, що використання піщаних і щебеневих порід має приблизно однакову ефективність при збільшенні висоти насипу.

Таким чином, для створення відносно невисоких насипів (до 20 м), піщані та скельні породи можуть розглядатися як альтернативний варіант, однак при збільшенні висоти насипу та об'ємів гірничих робіт низька вартість суглинків дає змогу суттєво скоротити витрати.

4.3 Порівняння техніко-економічних показників технологічних схем рекультивації при засипанні або розробці обводнених бортів кар'єрів

Рекультивація обводнених просторів кар'єрів будівельної сировини має велике значення для розвитку громад [110], [111], оскільки такі місця є потенційним ресурсом для створення рекреаційних зон для відпочинку та спорту [14]. Оскільки хімічний склад води на кар'єрах будівельної сировини [85] у більшості випадків не становить небезпеки для людей, ці водойми мають широкий потенціал для рекреаційного використання [112].

Історично склалося так, що вироблені простори кар'єрів будівельної сировини [113] в подальшому затоплюються ґрунтовими водами і перетворюються на штучні озера з прісною водою [114]. Тому влітку ці місця відвідує велика кількість людей, особливо коли в регіоні є обмежений доступ до водних ресурсів [115].

Для спорудження якісної та безпечної зони відпочинку [70] біля водойми, яку зможе відвідувати велика кількість людей, необхідно визначити ефективні параметри гірничо-технічної рекультивації [116] з урахуванням параметрів бортів кар'єру в період завершення гірничих робіт [87].

Оскільки вироблений простір кар'єру заповнюється ґрунтовими водами лише частково [117], а не на всю глибину, виникає ситуація, за якої ми маємо озеро [118], до якого необхідно спускатися вниз гірничими виробками з поверхні кар'єру [119]. При цьому рівень води у водоймі залежатиме від потужності підземних водних горизонтів [56] і корегуватиметься поверхневими водами протягом року [120].

Дістатися до кар'єрного озера можна лише траншеями [121], [122], які раніше використовувалися як кар'єрні дороги [123] для виїзду самоскидів і вивезення гірничої маси з кар'єру на поверхню [124]. Після того, як кар'єр припинив своє існування [28], рух цими дорогами припиняється, тому люди використовують їх для пересування до води [125].

Не зважаючи на наявність доріг, якими можна дістатися до водойми [126] існує чимало проблем. Наприклад, коли водойма розташована на значній відстані від поверхні землі [127], до неї можемо дістатися існуючою траншеєю [128], але виникає нестача вільного простору для облаштування пляжної зони [46]. Це зумовлено незначною шириною транспортних берм в кар’єрі [129], яка може становити 10 м, що вкрай недостатньо для розміщення навіть невеликої групи людей [130].

Незначна ширина берми зумовлює основну проблему, яка не дає змоги забезпечити доступ до водойми великої кількості відпочивальників [131], [132]. У зв’язку з цим виникає необхідність облаштування безпечної берегової смуги в межах прилягання поверхні водойми до борту нерудного кар'єру.

Аналіз досліджень, проведених у роботі [19] дав змогу визначити загальні напрями повторного використання кар’єрів з метою поєднання основних концепцій рекультивації кар’єрів з урахуванням екологічних проблем та сталого розвитку. У дослідженнях запропоновано інноваційну матрицю для класифікації технологічних схем рекультивації, яка може використовуватися як інструмент для вдосконалення підходів до практичного застосування. Однак у статті недостатньо уваги приділено питанням використання водних ресурсів відпрацьованих кар’єрів для рекреаційних потребах громад.

Дослідження, проведенні в роботі [14], присвячені рекультивації вироблених просторів кар’єрів з метою створення водосховищ за допомогою різних методів. Представлено методичні підходи до формування прибережної зони на створених штучних водосховищах на вироблених просторах кар’єрів. Проаналізовано параметри кар'єрів, придатних для купання та відпочинку, шляхом спорудження берегової зони. Однак у статті не розглядається техніко-економічне порівняння технологічних схем рекультивації, що не дає змоги визначити вплив параметрів кар’єрів на необхідність часткового засипання виробленого простору або розробки необводненої частину борту кар’єру при створенні берегової смуги.

У дослідженнях [112] розглянуті питання повторного використання кар’єрів із застосуванням двоетапної методології з оцінкою ділянки і перевірки території на можливість до використання. Запропонований метод може бути застосований при повторному використанні покинутих кар’єрів з урахуванням соціального фактору і потреб мегаполісів. Недоліком роботи є неврахування фізико-механічних характеристик гірничих масивів кар’єрів, вироблені простори яких надалі використовуватимуться в рекреаційному напрямі.

У статті [113] визначено нові стратегії повторного використання та відновлення кар’єрних ландшафтів. Визначено процеси, які необхідно оцінювати для встановлення можливих змін у ландшафтах, відповідно до архітектурної, історичної та культурної цінності порушених територій [133]. Однак у роботі не розглянуто прикладні питання, які дають змогу визначити безпечні параметри рекреаційних зон, які утворюються на місці обводнених вироблених просторів кар’єрів.

Дослідження [114], [134] присвячені вивченню гідрологічної рекультивації покинутих кар’єрів. Такий підхід дає змогу створити нове водне середовище існування для різних видів рослин і тварин. У представленій статті також вивчається досвід впливу гідрологічної рекультивації на навколишнє середовище з екологічної та соціально-економічної точки зору. Однак наведені в роботі методичні підходи можуть бути застосовані лише до кар’єрів з м’якими розкривними породам, оскільки розглядаються умови розробки буровугільних кар’єрів.

У роботі [115] основну увагу приділено створенню кар’єрних озер з урахуванням якості води, стабільності укосів та безпеки. Актуальність статті пов’язана з великою кількістю занедбаних ділянок, перепрофілювання яких дасть змогу створити рекреаційні зони для активного відпочинку, охорони природи, а також для освітніх цілей та досліджень. Також розроблено рекомендації на всіх етапах планування закриття кар’єрів для успішного кінцевого використанням.

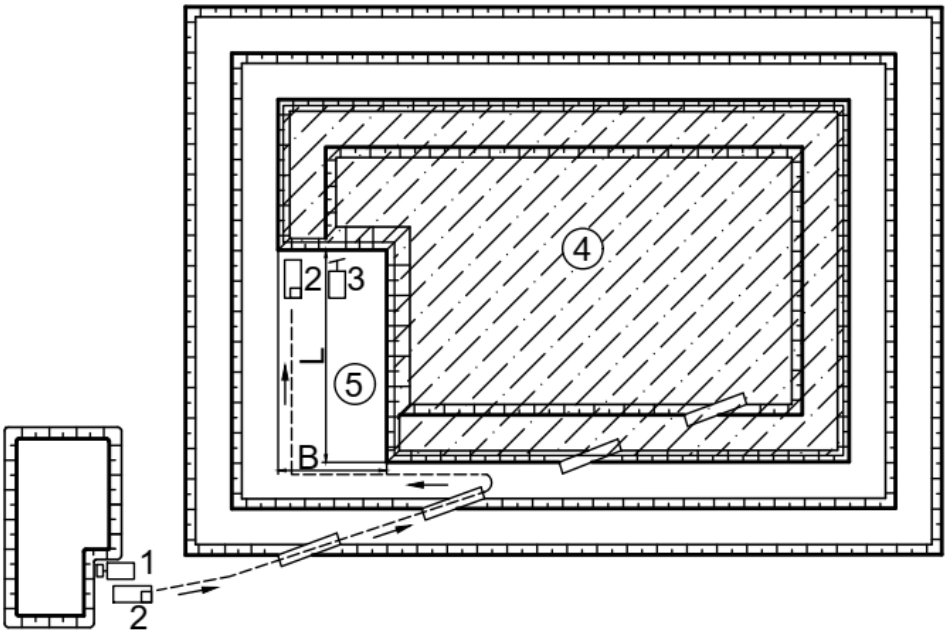
Архітектурний підхід до реабілітації покинутих кар’єрів та ландшафтів розглянуто в роботі [124]. Розроблена методологія повторного використання покинутих кар’єрів спрямована на вивчення інноваційних рішень для відновлення територій кар’єрів. Запропоновані рішення дають змогу відновити занедбані території, що в подальшому вплине на місцеву економіку та управління земельними ресурсами. Такий підхід просуває концепцію циркулярної економіки шляхом реанімації занедбаних компонентів ландшафту.

Під час рекультивації вироблених просторів кар’єрів будівельної сировини для створення берегової смуги можуть бути застосовані дві найпоширеніші технологічні схеми. У першому випадку берегова смуга створюється шляхом засипання твердими породами частини обводненого простору кар’єру з урахуванням сталого рівня води у водоймі (див. рис. 4.3, *а*). Друга технологічна схема передбачає екскавацію гірських порід з обраного борту кар’єру до сталого рівня води у водоймі (див. рис. 4.3, *б*). Таким чином створюється ніша з визначеними параметрами в борту кар’єру, яка матиме горизонтальну поверхню і надалі використовуватиметься як берегова смуга.

Основною перешкодою для застосування розглянутих технологічних схем рекультивації на практиці є необхідність надзвичайно високих витрат на екскаваційні та транспортні роботи, а в разі розробки порід борту кар’єру до цього додається буропідривна підготовка до виймання. Загальні витрати залежатимуть від об’єму гірничих робіт, який визначатиме термін залучення гірничо-транспортної техніки.

Перевага першої або другої технологічної схеми рекультивації на практиці визначатиметься мінімальним рівнем економічних витрат, обумовлених загальним об’ємом гірничо-транспортних та допоміжних робіт. Об’єми гірничих робіт для кожної схеми залежатимуть від сталого рівня води у виробленому просторі відносно глибини кар’єру (див. рис. 4.4).

а



б

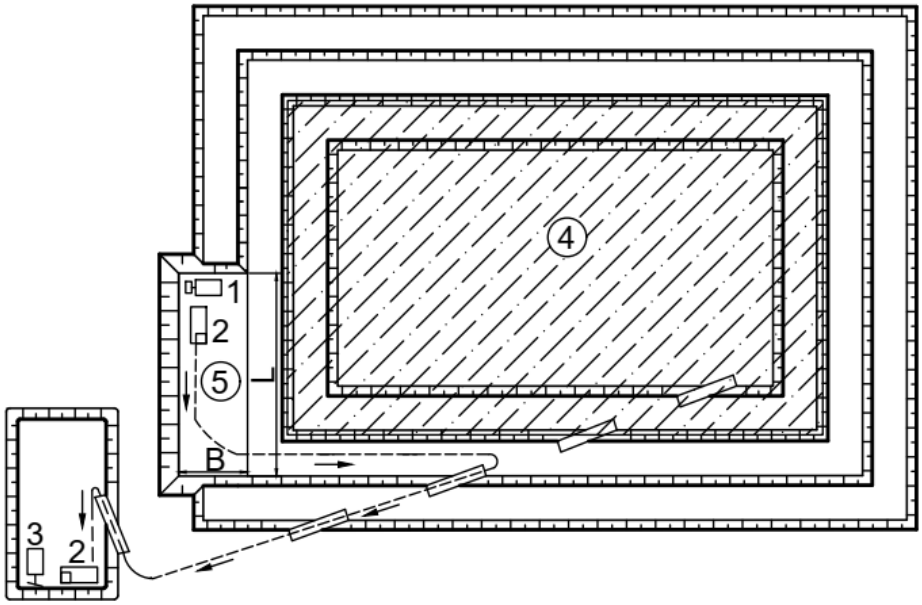


Рисунок 4.3 – Типові схеми рекультивації вироблених просторів кар’єрів при створенні рекреаційної зони з береговою смугою: *а* – з частковим засипанням виробленого простору; *б* – з розробкою порід борту кар’єру; 1 – екскаватор; 2 – автосамоскид; 3 – бульдозер; 4 – обводнений простір кар’єру; 5 – новоутворена берегова смуга

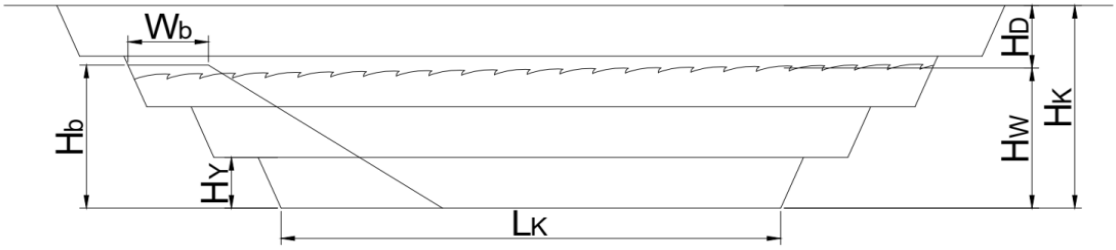


Рисунок 4.4 – Схема обводненого виробленого простору кар'єру для визначення об'єму гірничих робіт при створенні рекреаційної зони з береговою смугою: H_K – глибина кар'єру; L_K – довжина кар'єру; H_W – рівень води в обводненому просторі; H_D – висота необводненої частини кар'єру; H_b – висота насипу; W_b – ширина насипу при створенні берегової смуги; H_Y – висота уступу

Для визначення вихідних умов проєктування, при яких економічно доцільно застосувати першу схему рекультивацію зі створенням насипу в обводненому виробленому просторі кар'єру, попередньо були встановлено безпечні параметри обводнених насипів [81]. Встановлені залежності дають підставу стверджувати, що об'єм гірничих робіт залежатиме від розмірів пляжної зони, фізико-механічних властивостей порід, з яких формується насип, а також рівня води в обводненому просторі кар'єру H_W.

При порівнянні двох технологічних схем недостатньо визначити об'єм відвальних робіт під час засипання обводненого простору або об'єм робіт зі створення берегової смуги шляхом розробки надводної частини борту затопленого кар'єру, оскільки у другій схемі передбачені буропідривні роботи для підготовки гірничої маси до виймання. Тому їх порівняння має здійснюватися шляхом техніко-економічного обґрунтування з урахуванням параметрів обводненого виробленого простору кар'єру та рекреаційної зони з береговою смугою.

Застосування технологічної схеми рекультивації з частковим засипанням виробленого простору має забезпечуватися наявністю вільного матеріалу для створення рекреаційної зони, а також витратами на екскаваційні та транспортні

роботи. При застосуванні другої технологічної схеми повинні бути враховані витрати на буропідривні, екскавації та транспортні роботи для того, щоб перевести цей матеріал з борту кар'єру на його поверхню у зовнішній відвал або в обводнений вироблений простір. У цьому випадку може бути досягнуто скорочення витрат на рекультиваційні роботи, оскільки зменшиться відстань транспортування матеріалу до місця розвантаження.

Під час проведення досліджень враховуються такі вихідні дані: глибина кар'єру – до 90 м; рівень води в обводненому виробленому просторі – від 0 до 60 м; розмір ділянки рекреаційної зони з береговою смугою, ширина – від 50 до 100 м, довжина – 100 м; породи для засипки обводненого простору – пісок, суглинок, скельні відвальні породи.

Для розрахунку об'ємів робіт з гірничо-технічної рекультивації використовувалася методика розрахунку [56] та параметри стійких укосів відвалів в обводненому середовищі [81]. В першу чергу розглядалася перша технологічна схема рекультивації, яка передбачає часткове засипання виробленого простору (див. рис. 4.3, *а*). Відповідно до вихідних даних розглядалася можливість формування рекреаційної зони з береговою смугою в обводненому просторі кар'єру шляхом відсипання внутрішнього відвалу. При цьому діапазон рівня води в обводненому просторі може становити від 10 до 60 м, що відповідає висоті внутрішнього відвалу на поверхні якого буде розташована рекреаційна зона.

Результати розрахунку об'ємів гірничих під час створення рекреаційної зони з береговою смугою довжиною 100 м і шириною 50 м при висоті насипу 0 – 60 м з піщаних, суглинистих і скельних порід наведено на рис. 4.5.

Відповідно до встановлених залежностей (рис. 4.5), при формуванні берегової смуги розміром 50 на 100 м збільшення висоти насипу у 3 рази з 20 до 60 м призведе до збільшення об'єму гірничих робіт у 5,4 – 7,3 раза до 2,20 млн $м^3$ залежно від типу гірських порід, з яких формується насип. Згідно з отриманими результатами, для заданих вихідних параметрів найбільш ефективним матеріалом, з якого формуватиметься насип, є суглинки та скельні

породи, що мають кращі стійкісні характеристики в обводненому стані порівняно з піщаними породами. Завдяки підвищеним стійкісним характеристикам порід досягається збільшення безпечних кутів нахилу обводнених уступів, що дає змогу зменшити об’єми необхідних матеріалів для засипки при створенні рекреаційної зони однакової площі.

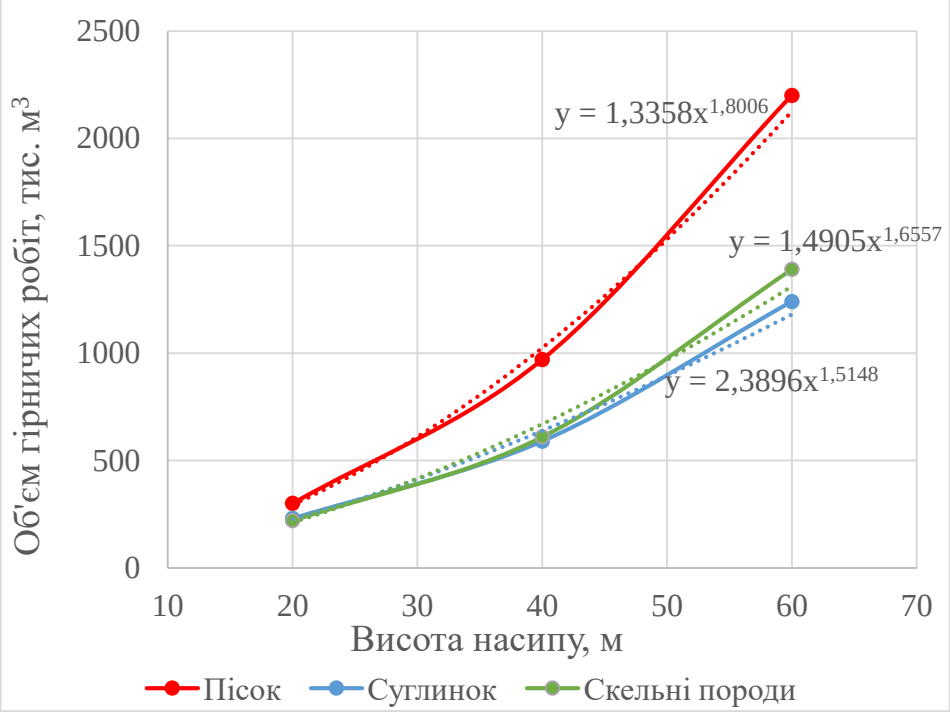


Рисунок 4.5 – Вплив висоти насипу на об’єм гірничих робіт при створенні берегової смуги з піщаних, суглинистих і скельних порід площею 0,5 га

У разі необхідності збільшення площі рекреаційної зони з береговою смугою у обводненому просторі кар’єру також розглянуто ділянку довжиною 100 м і шириною 100 м, що дає змогу створити пляж площею до 1,0 га. Для визначення об’ємів гірничотехнічних властивостей використовувалися методики розрахунку, аналогічні попереднім. Результати визначення впливу висоти насипу площею 1,0 га на об’єми гірничих робіт при його спорудженні в обводненому виробленому просторі кар’єру з використанням піщаних, суглинистих і скельних порід наведено на рис. 4.6.

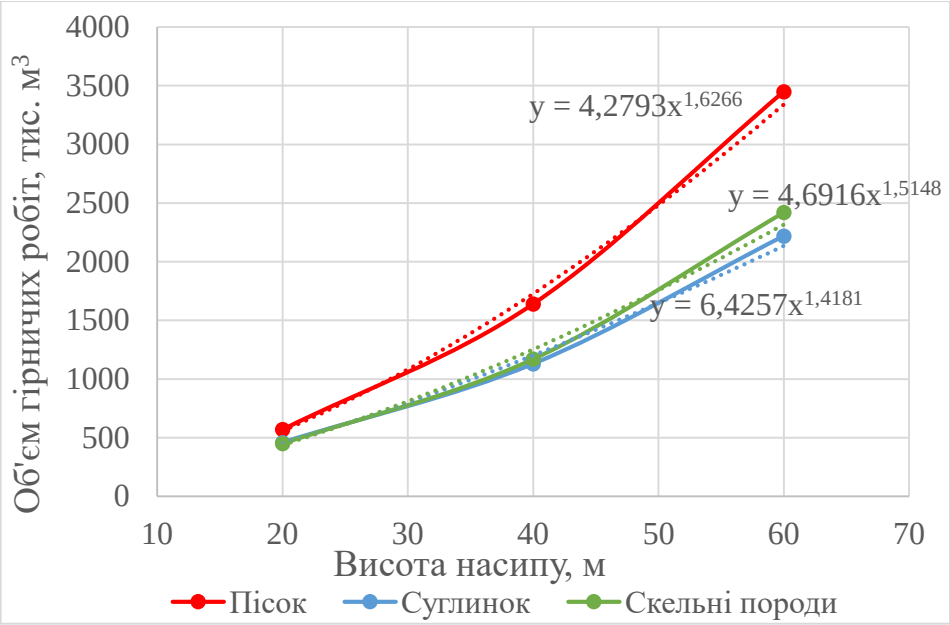


Рисунок 4.6 – Вплив висоти насипу на об’єм гірничих робіт при створенні берегової смуги з піщаних, суглинистих і скельних порід площею 1,0 га

Встановлені залежності, які наведено на рис. 4.6, дають підстави стверджувати, що збільшення площі берегової смуги з 0,5 до 1 га призводить до суттєвого збільшення об’ємів гірничих робіт. При цьому найбільше зростання у 2,04 раза спостерігається при формуванні насипу висотою 20 м і сягає 450 тис. м^3. При формуванні піщаного насипу висотою 60 м збільшення площі берегової смуги з 0,5 до 1 га призводить до збільшення об’ємів гірничих робіт у 1,56 раза до 3,45 млн м^3. Це свідчить про ефективність збільшення площі рекреаційної зони при використанні піщаних порід як матеріалу для формування відвальної зони.

Виявлений вплив висоти насипу на об’єм гірничих робіт підтверджує, що збільшення висоти насипу з 20 до 60 м призведе до збільшення його об’єму в 4,8 – 6,1 раза залежності від матеріалу засипки. Найменше зростання об’єму робіт до 2,22 млн м^3 спостерігається при використанні суглинистих відвальних порід, що становить 4,8 раза. Це свідчить про ефективність використання зазначеного матеріалу при створені насипів в обводнених гірничих виробках. Використання щебеневих порід потребує залучення від 450 тис. м^3 до 2,42 млн м^3 матеріалу для створення насипу рекреаційної зони висотою від 20 до 60 м. Це підтверджує високу економічність використання даного матеріалу порівняно з

об’ємами піщаних порід, однак через дефіцит у відвалах, значну вартість подрібненої скельної сировини і залучення їх до гірничо-технічної рекультивації може супроводжуватися низкою складнощів.

Отримані залежності підтверджують, що збільшення висоти насипу в обводненому просторі кар’єру, пов’язане з рівнем ґрунтових вод, призводить до суттєвого зростання об’ємів гірничих робіт та вартості створення рекреаційної зони. При подальшому збільшенні показника рівня води в обводненому просторі кар’єру виникає нагальна проблема пошуку альтернативних варіантів створення рекреаційної зони визначеної площі для зменшення витрат на відновлювальні роботи.

У зв’язку з цим постає необхідність розглянути гірничотехнічні показники другої технологічної схеми з розробкою порід борту кар’єру (див. рис. 4.3, *б*). Перевага цієї схеми полягає в її ефективності під час рекультивації кар’єрів з високим рівнем обводнення виробленого простору. Під час виконання досліджень розглянуто діапазон відстані між поверхнею кар’єру та рівнем води в обводненому виробленому просторі H_D від 0 до 30 м. Як і в попередніх дослідженнях, розглядалися три типи розкривних порід, з яких сформовано необводнений борт кар’єру. Визначення об’ємів гірничих робіт при зміні висоти необводненого борту кар’єру H_D при створенні рекреаційної зони наведено на рис. 4.7.

Відповідно до встановлених залежностей (рис. 4.7) об’єм гірничих робіт має нелінійну залежність від висоти необводненої частини борту кар’єру, породи якої мають бути екскавовані. Об’єми гірничих робіт мають нелінійну залежність при збільшенні висоти необводненої частини борту кар’єру з 10 до 30 м. Найбільший об’єм екскаваційних робіт за другою технологічною схемою рекультивації спостерігається при розробці необводненого борту кар’єру, що складається з піщаних порід. При використанні піску для створення рекреаційної зони площею 0,5 га буде потрібно від 59 до 248 тис. м^3 залежно від висоти необводненої частини борту кар’єру. Тобто при збільшенні висоти необводненої частини борту кар’єру в 3 рази до 30 м об’єм гірничих робіт збільшиться у 4,22

раза. Найменший об’єм екскаваційних робіт у заданому діапазоні висоти необводнених уступів спостерігається при розробці борту, що складається зі скельних порід. При збільшенні висоти уступів у 3 рази до 30 м об’єм екскаваційних робіт збільшиться у 3,7 раза і сягатиме 196 тис. м^3.

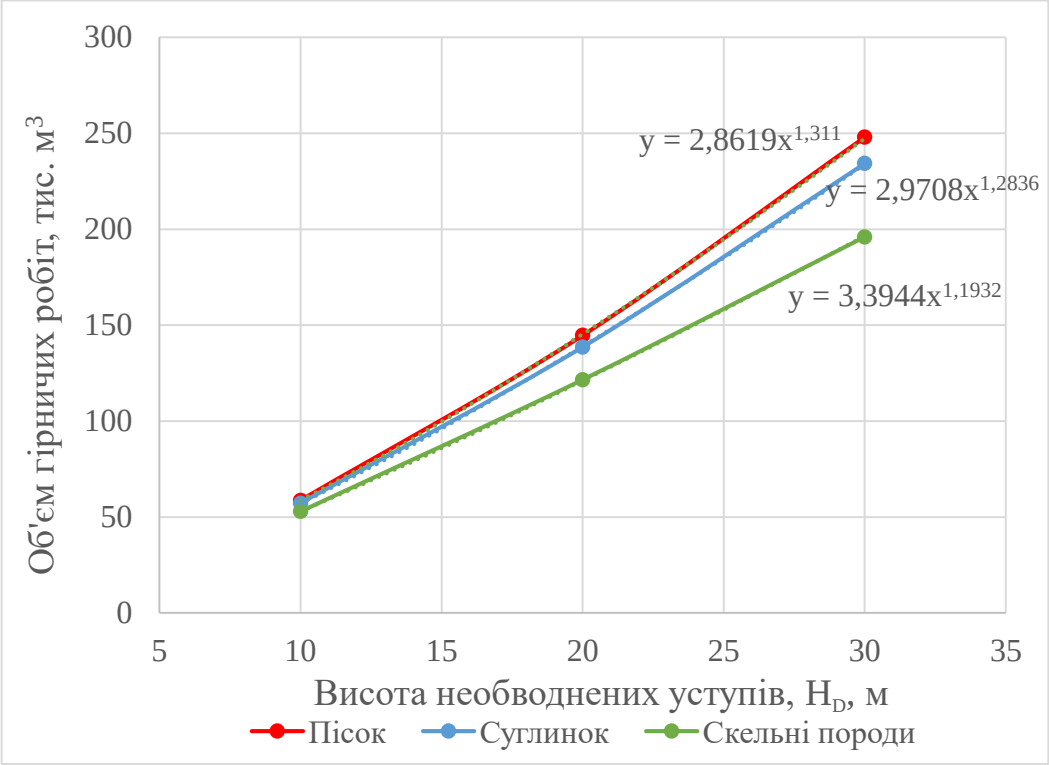


Рисунок 4.7 – Вплив висоти частини необводненого борту кар’єру H_D на об’єм гірничих робіт при створенні рекреаційної зони площею 0,5 га шляхом екскавації порід

Для аналізу параметрів гірничотехнічних робіт при збільшенні площі рекреаційної зони до 1,0 га з використанням другої технологічної схеми з розробкою порід борту кар’єру (див. рис. 4.3, *б*) додатково визначено вплив висоти частини необводненого борту кар’єру на об’єми гірничих робіт (рис. 4.8). Збільшення площі рекреаційної зони з береговою смугою з 0,5 до 1,0 га при застосуванні другої технологічної схеми рекультивації призводить до збільшення об’ємів гірничих робіт до 392 – 496 тис. м^3 залежно від типу порід, з яких сформовано борт кар’єру. Як і у випадку з формуванням берегової смуги шириною 50 м, найбільший об’єм екскаваційних робіт спостерігається при

розробці частини необводненого уступу, складеного з піщаних порід. Найменший об’єм екскаваційних робіт становить 106,0 тис. м^3, що відповідає умовам розробки уступу висотою 10 м, сформованого зі скельних порід.

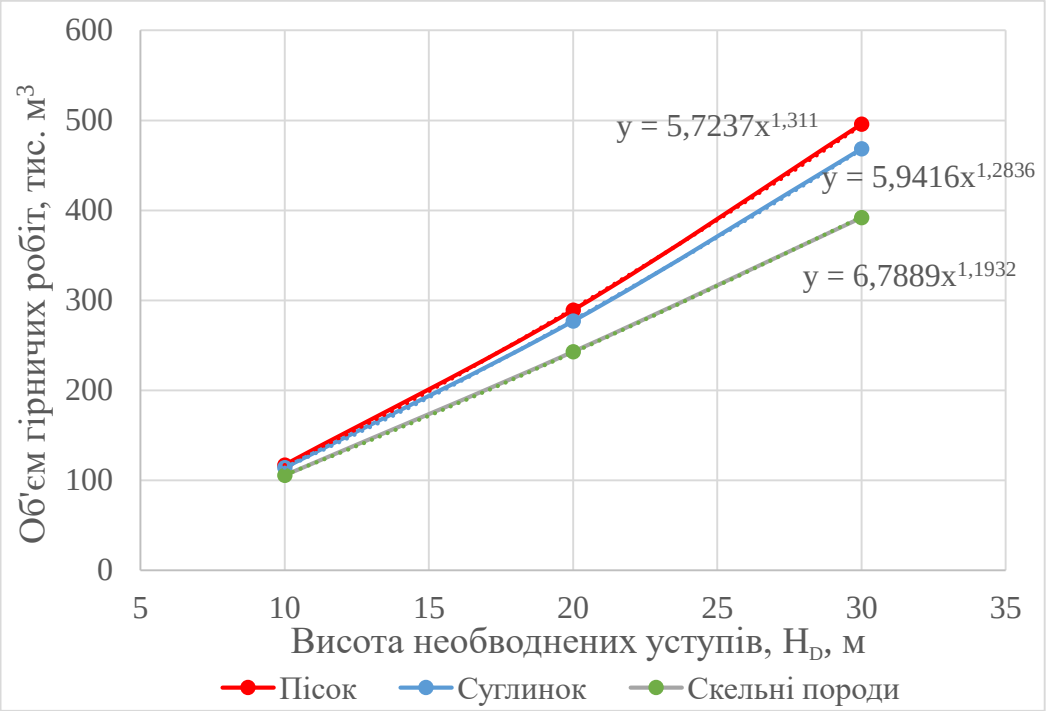


Рисунок 4.8 – Вплив висоти частини необводненого борту кар’єру H_D на об’єм гірничих робіт при створенні рекреаційної зони площею 1,0 га шляхом екскавації порід

Однак слід зазначити, що розробка скельних порід передбачає попереднє розпушення гірничого масиву за допомогою буропідривних робіт, що суттєво збільшує вартість робіт. Крім того, їх виконання є надзвичайно витратним і потребує значної кількості погоджень з уповноваженими установами.

У цьому випадку для коректного порівняння технологічних схем рекультивації під час розробки різних типів гірських порід, окрім визначення об’ємів екскаваційних робіт, необхідно виконати оцінку техніко-економічних показників. Вони повинні враховувати витрати на екскаваційні, транспортні та бульдозерні роботи під час планування відвальних поверхонь. Також при розробці порід з підвищеною міцністю необхідно передбачити виконання

буропідривних робіт.

Визначені об’єми гірничих робіт дають змогу порівняти технологічні схеми рекультивації під час засипання обводненого виробленого простору кар’єру зі схемою екскавації гірничих порід з необводненого борту кар’єру до відмітки сталого рівня води у водоймі. Для подальшого визначення техніко-економічних показників рекультиваційних робіт визначено тривалість виконання екскаваційних робіт при використанні одного екскаватора CAT 365BL (табл. 4.2). При визначенні тривалості проведення рекультиваційних робіт із залученням одного екскаватора брався щоденний однозмінний режим роботи.

Таблиця 4.2 – Час виконання робіт зі створення рекреаційної зони в обводненому просторі кар’єру при застосуванні двох технологічних схем рекультивації

Технологічна схема рекультивації	Висота насипу/ борту кар’єру*	Тривалість виконання рекультиваційних робіт, міс.					
		Розмір ділянки 50 на 100 м (0,5 га)			Розмір ділянки 100 на 100 м (1,0 га)		
		пісок	суглинки	скельні породи	пісок	суглинки	скельні породи
Засипка виробленого простору	60	29,1	16,4	18,4	45,6	29,4	32,0
	40	12,8	7,8	8,1	21,7	14,9	15,5
	20	4,0	3,0	2,9	7,5	6,1	6,0
Рівень води задовольняє вимогам рекультивації	0	0,0					
Розробка надводного борту кар’єру	10*	0,78	0,76	0,70	1,6	1,5	1,4
	20*	1,91	1,83	1,61	3,8	3,7	3,2
	30*	3,28	3,10	2,59	6,6	6,2	5,2

Відповідно до встановлених термінів рекультиваційних робіт під час створення рекреаційної зони в обводненому просторі кар’єру (табл. 4.2), найбільші показники спостерігаються при використанні піщаних порід як під час засипання обводненого виробленого простору, так і під час екскавації необводненого борту кар’єру. Найменші показники часу рекультивації при

засипанні обводненої частини кар'єру спостерігаються при використанні суглинків. У даному випадку тривалість засипання становить від 3 до 17 міс. при створенні берегової смуги площею 0,5 га і від 7 до 30 міс. при площі 1,0 га. При використанні другої технологічної схеми рекультивації найменші показники екскаваційних робіт зафіксовані при відпрацюванні бортів, що складаються зі скельних порід. Вони становлять від 1 до 3 міс. при створенні берегової смуги площею 0,5 га і від 2 до 7 міс. при збільшенні площі до 1,0 га.

Загалом встановлено, що тривалість проведення гірничотехнічних робіт становитиме від 1 до 45 міс. Залежно від типу порід та схеми рекультивації при залученні однієї одиниці виймально-навантажувальної техніки. За необхідності час виконання рекультиваційних робіт можна скоротити за рахунок збільшення кількості екскаваційних та транспортних машин, задіяних у переміщенні гірських порід.

Отримані результати (див. табл. 4.2) є вихідними даними для оцінки техніко-економічних показників під час проведення гірничо-технічних робіт у процесі створення берегової смуги. Для визначення витрат на рекультиваційні роботи додатково бралися такі параметри: марка самоскиду – CAT D30D; кількість самоскидів при обслуговуванні одного екскаватора – від 3 до 5 залежно від відстані перевезення породи; марка бульдозера – CAT D10T; середньозважена відстань транспортування породи по поверхні кар'єру – 500 м; вартість проведення буропідривних робіт при підготовці до екскавації скельних порід – 170 грн/м^3. При виконанні розрахунків щодо визначення витрат на гірничо-технічні роботи із засипання обводненого простору вартість матеріалів для засипання не враховувалась. Результати розрахунку витрат на проведення рекультиваційних робіт за двома технологічними схемами при спорудженні берегової смуги площею 0,5 га наведено на рис. 4.9.

Встановлені залежності витрат на рекультиваційні роботи від висоти насипу або висоти необводнених уступів, які необхідно розробити для створення берегової смуги площею 0,5 га (рис. 4.9) дають змогу визначити, що найбільш витратними процесом є створення насипу висотою 60 м в обводненому просторі

кар’єру. Максимальні витрати при створенні насипу зафіксовані при використанні піщаних порід. Вони сягають 106,7 млн грн, що в 1,6 – 1,8 раза більше порівняно зі скельними породами та суглинками, відповідно. Це пояснюється низькою стійкістю обводнених укосів відвалів, сформованих з піщаних порід, та підвищеними об’ємами гірничих робіт.

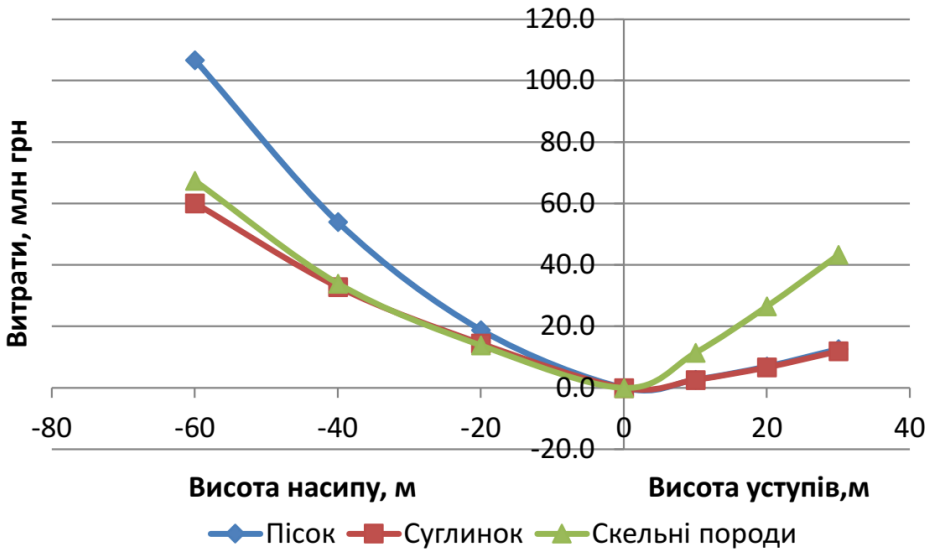


Рисунок 4.9 – Витрати на створення рекреаційної зони з береговою смугою площею 0,5 га в обводненому кар’єрі за двома технологічними схемами рекультивації

Застосування другої технологічної схеми рекультивації передбачає, що найбільші витрати становитимуть 43,3 млн грн при розробці необводненої частини борту кар’єру, сформованої зі скельних порід. Це у 3,4 – 4,3 раза більше, ніж при розробці необводненого борту кар’єру, сформованого з піщаних або суглинистих порід. Таке значне збільшення вартості пояснюється необхідністю виконання буропідривних робіт, що передбачає виконання додаткових процесів.

Встановлені залежності витрат на рекультиваційні роботи від висоти насипу або висоти уступів при застосуванні двох технологічних схем рекультивації за умови збільшення площі берегової смуги до 1,0 га представлені на рис. 4.10.

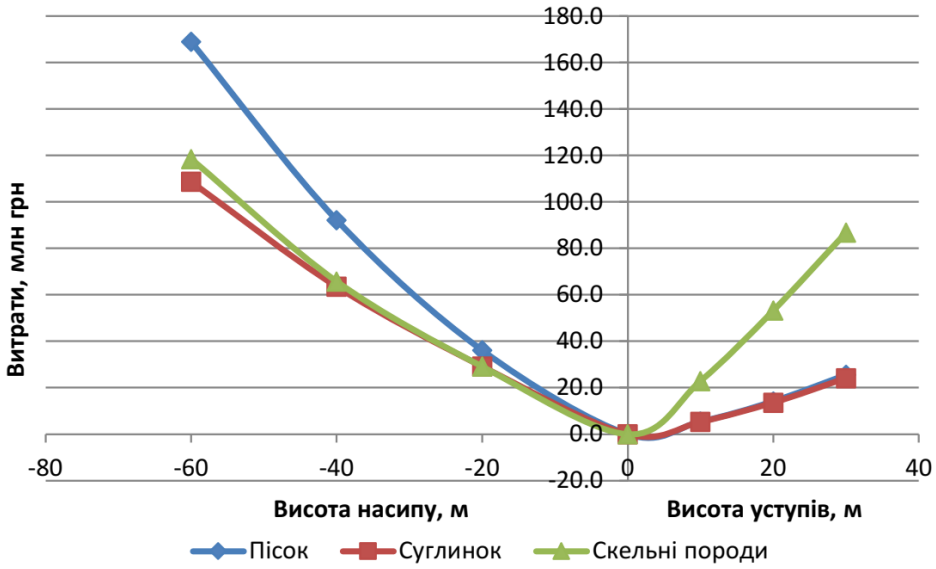


Рисунок 4.10 – Витрати на створення рекреаційної зони з береговою смугою площею 1,0 га в обводненому кар'єрі за двома технологічними схемами рекультивації

Аналіз отриманих залежностей вартості рекультиваційних робіт від параметрів технологічних схем рекультивації (рис. 4.10) дає змогу встановити, що збільшення площі берегової смуги в 2 рази до 1,0 га призводить до збільшення витрат від 1,6 до 2,1 раза залежно висоти насипу. Найбільше зростання витрат відбувається при формуванні насипу висотою 20 м зі скельних порід і сягає 29,2 млн грн, тоді як найменше збільшення зафіксовано при формуванні насипу висотою 60 м з піщаних порід і становить 169,0 млн грн. При аналізі показників другої технологічної схеми рекультивації встановлено, що збільшення площі берегової смуги в 2 рази до 1,0 га, призведе до збільшення об'ємів екскаваційних робіт до 2,02 раза при розробці необводненої частини борта кар'єру, що складається з піщаних порід.

При порівнянні показників першої технологічної схеми рекультивації найефективнішим є формування насипу висотою 20 м із суглинистих або скельних порід в обводненому виробленому просторі кар'єру. Загальні витрати в даному випадку становлять 29,2 млн грн, що у 3,7 раза менше, ніж при формуванні такого насипу висотою 60 м із суглинків, і в 4,0 рази менше, ніж зі скельних порід. Найбільш витратним у першій схемі буде використання піщаних

порід, оскільки при висоті насипу 20 м витрати становитимуть 36,1 млн грн, а при збільшенні висоти до 60 м вони зростуть у 4,7 раза до 169,0 млн грн.

У другій технологічній схемі рекультивації, яка передбачає розробку необводненої частини борту кар'єру для створення берегової смуги, мінімальні витрати становитимуть 5,3 млн грн при розробці уступу висотою 10 м, що складаються з суглинків. При збільшенні його висоти до 30 м вартість рекультиваційних робіт зросте у 4,6 раза до 24,2 млн грн. Аналогічні показники будуть при розробці уступів представлених піщаними породами. При висоті уступу 10 м витрати на створення берегової смуги площею 1,0 га становитимуть 5,4 млн грн і зростуть у 4,7 раза при збільшенні уступу в 3 рази.

Найбільші витрати при використанні другої технологічної схеми виникають у разі необхідності рекультивації кар'єрів нерудної сировини при видобутку скельної гірничої маси. Максимальні витрати становитимуть 86,8 млн грн у разі розробки необводненої частини борту кар'єру при спорудженні берегової смуги площею 1,0 га. Це у 3,8 раза більше, ніж при розробці уступу висотою 10 м з тих самих порід. У порівнянні з розробкою суглинистих порід, витрати за цією схемою при відпрацюванні скельних порід будуть у 3,6 – 4,3 раза більшими, залежно від висоти необводненої частини борту кар'єру.

Варто зазначити, що встановлені залежності (див. рис. 4.9 і 4.10), також дають змогу обрати технологічну схеми рекультивації за наявних вихідних даних, що містять параметри обводненого виробленого простору кар'єру. Наприклад, якщо розглянути типовий кар'єр з видобутку щебеневої продукції, глибина якого становить 70 м, а рівень води в обводненому виробленому просторі – 40 м, витрати на створення берегової смуги площею 0,5 га за першою технологічною схемою становитимуть 34,1 млн грн за умови формування насипу зі скельних відвальних порід. Водночас використання другої технологічної схеми передбачає розробку необводненої частини борту кар'єру висотою 30 м, що складається зі скельних порід. Вартість виконання підготовчих та екскаваційних робіт для створення берегової смуги заданих параметрів становить 43,3 млн грн. Таким чином, згідно з отриманими результатами

розрахунків, перша технологічна схема рекультивації є більш ефективною, ніж друга, а її використання дає змогу зменшити вартість робіт на 9,3 млн грн при спорудженні берегової смуги площею 0,5 га.

4.4 Визначення перспективних затоплених кар'єрів для створення рекреаційних водойм Дніпровського району

Після проведення індивідуального аналізу якості води для кожного кар'єру окремо доцільно перейти до порівняльного аналізу якості води між ними. Такий підхід дає змогу виявити загальні закономірності та відмінності у фізико-хімічних характеристиках води між різними кар'єрами з урахуванням їхнього географічного положення, історичних факторів виникнення, антропогенного впливу та природних особливостей.

Оскільки більшість показників якості води в розглянутих кар'єрах відповідає гранично допустимим нормам, розглянемо показники, за якими зафіксовано невідповідність, а саме: рівень pH, каламутність та мінералізація.

На рис. 4.12 наведено порівняння якості води в кар'єрах за водневим показником pH, який вказує на кислотно-лужний баланс у ній.

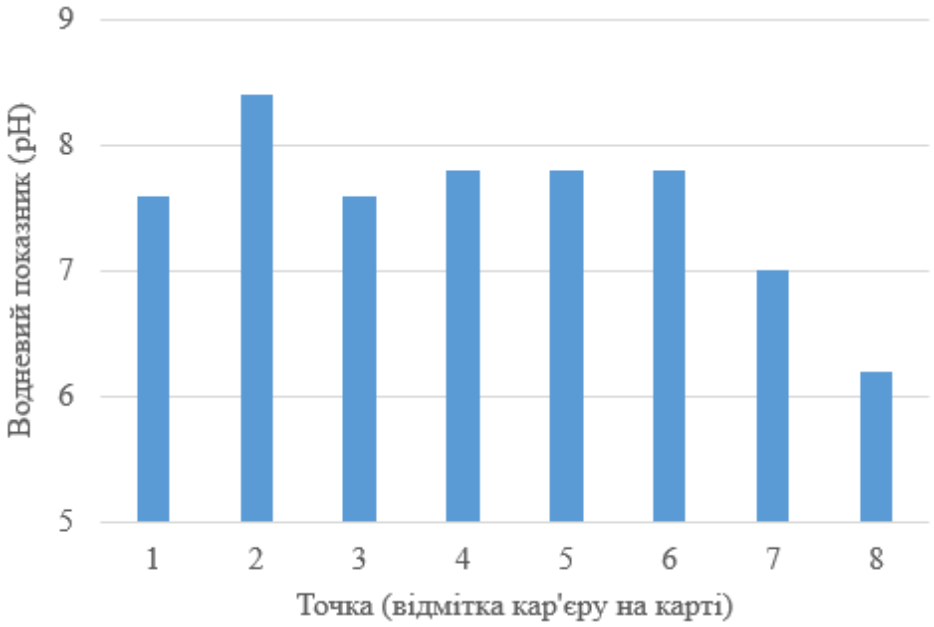


Рисунок 4.12 – Порівняння кислотно-лужного балансу води у вироблених кар'єрах

Згідно з отриманими результатами досліджень (рис. 4.12), за показником pH лише кар’єр Озеро «Котлован» не відповідає вимогам щодо кислотно-лужного балансу води в діапазоні від 6,5 до 10,5. Найвищий показник pH зафіксовано на кар’єрі Старі Кодаки і становить 8,4, що відповідає вимогам України, ЄС та Канади.

Наступим показником, який перевищує гранично допустимі норми на деяких кар’єрах, є каламутність води [101]. Цей показник використовується урядом Канади для визначення придатності води до вживання та дає змогу встановити її прозорість.

Збільшення цього показника насамперед означає наявність у воді суспендованих частинок мінерального або органічного походження. Результати порівняння якості води у вироблених кар’єрах за показником каламутності наведено на рис. 4.13.

Найбільша каламутність води присутня у водоймі відпрацьованого кар’єру біля меморіалу «Безіменна висота». Цей показник у ньому становить 12,1 NTU, що перевищує гранично допустиму величину. Крім цього кар’єру, під гранично-допустиму норму також не потрапляють Таромські кар’єри, кар’єр на Червоному Камені та озеро «Котлован», оскільки їхня каламутність перевищує 3 NTU.

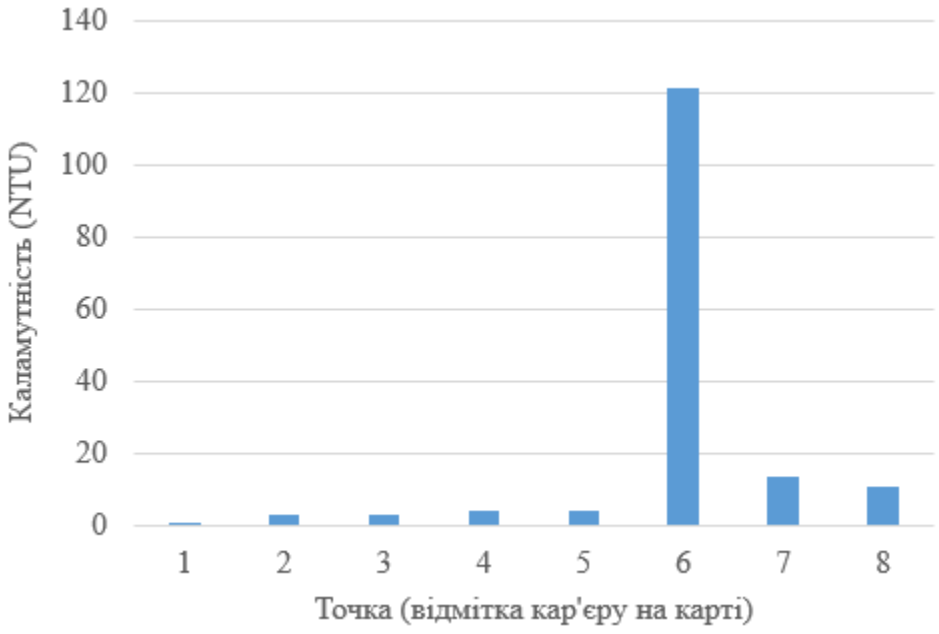


Рисунок 4.13 – Порівняння каламутності води у вироблених кар’єрах

Наступним показником, який відображає суттєву різницю у розглянутих кар’єрах, є окисно-відновний потенціал (ОВП). Від його значення безпосередньо залежить здатність води у водоймі до самоочищення. Отримані результати порівняння наведено на рис. 4.14.

Виконані порівняння дають можливість встановити, що найвищі значення ОВП зафіксовано в Новомиколаївському та Таромському кар’єрах (близько 64мВ), що свідчить про хорошу здатність води до самоочищення. Низькі значення (< 20мВ) було зафіксовано у Старих Кодаках (6 мВ) та Червоному Камені (15 мВ). Помірне значення 20 мВ має кар’єр у с. Зоряне.

Наступним показником, зафіксованим у водоймах кар’єрів і таким, що відхиляється від гранично допустимих норм, є мінералізація. Результати наведено на рис. 4.15.

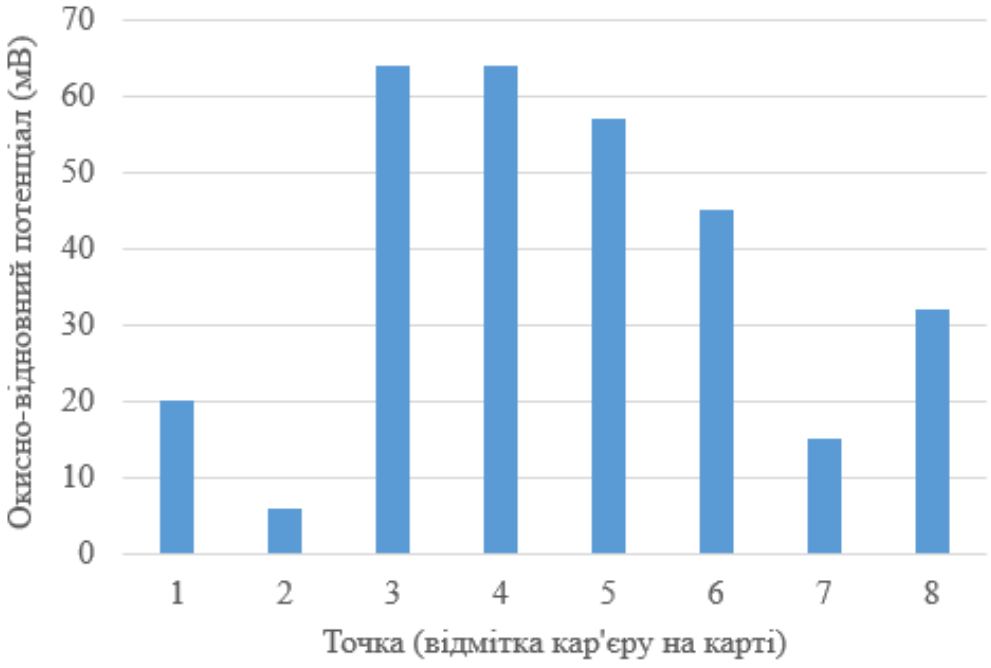


Рисунок 4.14 – Порівняння окисно-відновного потенціалу води у вироблених кар’єрах

За результатами слід виділити кар’єр біля меморіалу «Безіменна висота», де зафіксовано найвищу мінералізацію. Вона становить 1270 мг/дм^3, що перевищує нормативи, оскільки максимально допустиме значення становить 1000 мг/дм^3.

Також має підвищене значення кар’єр на Червоному Камені, яке становить 761 мг/дм^3, але знаходиться в межах норми. Найнижче значення було у Таромського кар’єру, яке становить близько 500 мг/дм^3, що свідчить про чисту і слабо мінералізовану воду.

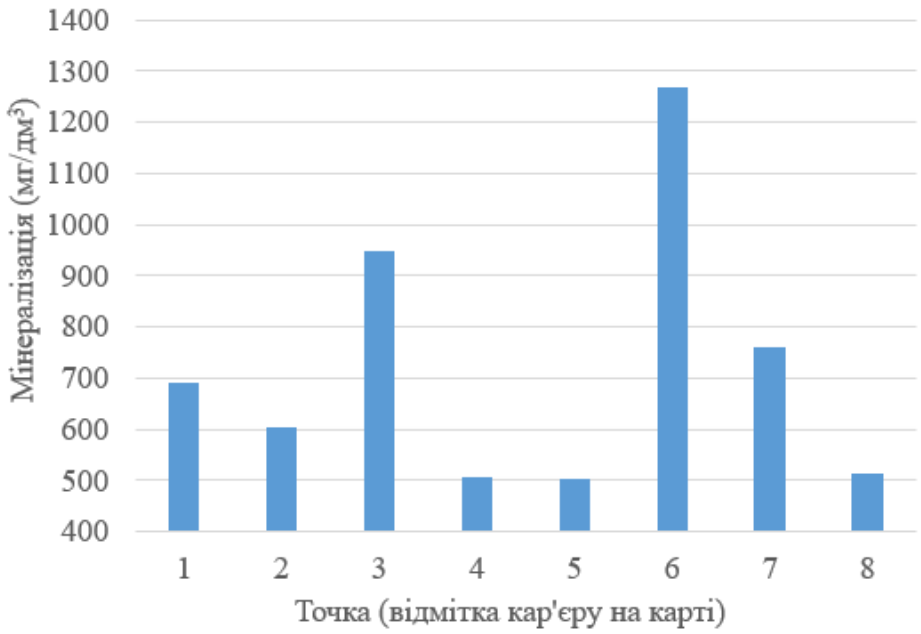


Рисунок 4.15 – Порівняння показників мінералізації води у вироблених кар’єрах

Отримані результати дають змогу встановити, що стан води в усіх перелічених кар’єрах має різний рівень, при цьому показники деяких техногенних водойм перевищують гранично допустимі норми. Для порівняння якості води у вироблених кар’єрах між собою та визначення найбільш привабливих об’єктів для подальшого створення рекреаційних зон пропонується провести ранжування всіх розглянутих водойм.

Для ранжування існуючих обводнених кар’єрів пропонується методика, яка передбачає вибір за кожним із 11 показників трьох техногенних водойм з найкращими показниками. Після визначення трьох найкращих водойм за кожним показником, їм присвоюється один бал, а надалі для кожної водойми сума балів підсумовується.

За вихідні дані для проведення оцінки береться зведена табл. 4.3 із показниками всіх досліджених водойм. У цій таблиці наведено порівняння основних параметрів якості води у всіх розглянутих водоймах без урахування показників річкової води та гранично допустимих концентрацій з метою зосередити увагу саме на внутрішній диференціації серед обраних точок.

Таблиця 4.3 – Загальна інформація по водоймах
у кар'єрах Дніпровського району

Показник	Точка (відмітка кар'єру на карті)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Нітрити (NO_2^-), мг/дм³	0,4	0,35	0,31	0,4	0,4	0,35	0,25	0,27
Нітрати (NO_3^-), мг/дм³	20	30	30	31	31	20	26	28
Солі гідрокарбонату (тимчасова жорсткість)	80	96	35	85	80	95	61	41
Жорсткість, мг/дм³	250	264	251	245	240	402	550	503
Водневий показник pH	7,6	8,4	7,6	7,8	7,8	7,8	7	6,2
Загальна лужність, мг/дм³	120	103	65	111	110	120	42	21
Каламутність	1	3	3	4	4	12,1	13,4	11
Мінералізація, мг/дм³	691	604	947	507	503	1270	761	514
Рівень розчиненого кисню, мг/дм³	9	8	7	5	5	3	4	5
Окисно-відновний потенціал, мВ	20	6	64	64	57	45	15	32
Радіаційний фон, мкЗв/год	0,18	0,15	0,07	0,10	0,07	0,14	0,12	0,06

Високі значення ОВП свідчать про кращу якість води, належну аерацію та здатність водойм до самоочищення, тоді як низькі значення пов'язані з дефіцитом кисню та накопиченням відновних сполук [112], [135]. У стоячих водоймах кар'єрів характерні процеси стратифікації, в результаті яких біля дна фіксується зниження або навіть перехід ОВП у відновні значення [113]. Спираючись на узагальнені дані літератури та власні результати (діапазон 6 – 64 мВ відносно Ag/AgCl), ми пропонуємо застосовувати операційний поріг для оцінки рекреаційної придатності: ОВП $\geq$ 40 мВ інтерпретуємо як «хороші умови», а ОВП $<$ 40 мВ – як «нехороші», що дає змогу більш обґрунтовано класифікувати досліджувані водойми [114]. Це операційний поріг, запропонований нами на основі проаналізованих досліджень та власних результатів.

Створений рейтинг водойм у вироблених просторах кар'єрів Дніпровського району наведено в табл. 4.4. За кожним показником було обрано три водойми з найкращими показниками, що дало можливість виконати їх ранжування та виділити найкращі й найгірші.

Таблиця 4.4 – Визначення рейтингу найкращих водойм для рекреаційної діяльності

Показник	Бали* за найкращі показники якості води у вироблених кар'єрах (відмітка точки на карті)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Нітрити (NO_2^-)	0	0	1	0	0	0	1	1
Нітрати (NO_3^-)	1	0	0	0	0	1	1	0
Солі гідрокарбонату (тимчасова жорсткість)	0	0	1	0	0	0	1	1
Жорсткість	1	0	0	1	1	0	0	0
Водневий показник pH	1	0	1	0	0	0	1	X
Загальна лужність	0	0	1	0	0	0	1	1
Каламутність	1	1	1	x	x	x	x	x
Мінералізація	0	0	0	1	1	x	0	1
Рівень розчиненого кисню	1	1	1	0	0	0	0	0
Окисно-відновний потенціал	0	0	1	1	1	1	0	0
Радіаційний фон	0	0	1	0	1	0	0	1
Рейтинг водойми	**5**	**2**	**8**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**

*1 – 1 бал; 0 – 0 балів; x – перевищено гранично допустимі концентрації

Згідно з рейтингом, наведеним у табл. 4.11, найкращими з розглянутих є Новомиколаївський кар'єр (8 балів), Малий кар'єр с. Зоряне (5 балів) та Старокодацький кар'єр (2 бали). Решта кар'єрів, незважаючи на наявність кращих показників за деякими параметрами, не можуть бути запропоновані для використання в рекреаційній діяльності до моменту зниження окремих показників до гранично допустимих концентрацій. Серед кращих кар'єрів варто звернути увагу на їхні розміри та віддаленість від населених пунктів, що зумовлює привабливість для інвесторів у розробці та впровадженні проєктів рекреаційного призначення.

4.5 Розробка рекомендацій зі створення зони відпочинку в обводненому виробленому просторі Новомиколаївського кар'єру

Відповідно до встановлених показників гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин та віддаленістю від населеного пункту, найбільш привабливим для рекреаційного відновлення вважається Новомиколаївський кар'єр (8 балів), до того ж на цьому кар'єрі наразі зафіксовано значний туристичний попит у відпочивальників у літній період.

Розробимо рекомендації щодо рекультивації зі створення берегової смуги рекреаційного призначення на цьому об'єкті.

При розробці рекомендації щодо подальших рекультиваційних робіт необхідно керуватися нормативними документами, що регулюють питання рекультивації порушених земель:

1. Кодекс України про надра.
2. Земельний кодекс України.
3. Гірничий закон України.
4. Закон України «Про охорону земель».
5. Положення про проектування гірничодобувних підприємств України й визначення запасів корисної копалини по ступеню підготовленості до видобутку (Наказ № 221 Міністерства промислової політики України від 07.05.2004 р.).
6. ДСТУ 7705:2015 «Захист довкілля. Рекультивація земель. Терміни та визначення понять».
7. ДСТУ 7905:2015 «Захист довкілля. Придатність порушених земель для рекультивації. Класифікація».
8. ДСТУ 7906:2015 «Захист довкілля. Придатність розкривних та вміщувальних гірських порід для біологічної рекультивації земель. Класифікація».
9. ДСТУ 7941:2015 «Якість ґрунту. Рекультивація земель. Загальні вимоги».
10. ДСТУ 8382:2015 «Лісорозведення. Водна меліорація земель лісового фонду. Загальні вимоги».

11. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007 «Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин» [41], [137] – [140].

Затоплена частина Новомиколаївського кар’єру утворилася після завершення активних гірничих робіт і вже займає значну площу виробленого простору. Вода надходить сюди переважно з ґрунтових і поверхневих джерел, тому рівень затоплення поступово підвищується.

Берегова лінія має нерівномірний рельєф, місцями спостерігаються осипи та ділянки з дрібними відкладеннями, що формують специфічний техногенний ландшафт [136]. Така водойма створює як екологічні ризики – накопичення мінералізованих вод, небезпеку обвалів на крутих схилах, так і потенційні можливості для подальшого використання після рекультивації, наприклад у рекреаційних або господарських цілях.

Рисунок 4.16 – Супутниковий знімок Новомиколаївського кар’єру

На сьогодні на території Новомиколаївського кар’єру сформувався посттехногенний ландшафт, де місцеве населення самостійно провело роботи з благоустрою кар’єру, тому можна зробити висновок, що проведення

рекультивації з подальшим створенням рекреаційної зони можливе вздовж південного борту кар’єра протяжністю 200 м.

Довжина найдовшого Східного борту кар’єру становить 427 м, він є найбільш привабливим для відпочивальників, оскільки має пологий підхід до води. Однак навіть на ньому берегова смуга різко йде вглиб, створюючи небезпеку для відпочивальників. Глибина обводненої частини кар’єру становить 45 – 50 м, що передбачає значні витрати на земляні роботи при створенні берегової смуги під час рекультиваційних робіт. Загальний вигляд Новомиколаївського кар’єру наведено на рис. 4.17.

Рисунок 4.17 – Загальний вигляд Новомиколаївського кар’єру з південного берега

Для створення безпечної берегової смуги для відпочивальників розроблено 3-D модель Новомиколаївського кар’єру, що враховує геометричні параметри елементів уступів та борту кар’єру (рис. 4.18).

У процесі проведення робіт зі створення берегової смуги в умовах Новомиколаївського кар’єру шляхом засипання виконуються такі роботи:

– формується опорний насип;

– формується зона для купання шириною 50 м, довжиною 100 м і глибиною насипу 50 м;

– виконуються роботи з благоустрою.

На основі методичних підходів, розроблених у дисертаційній роботі, та встановлених залежностей між висотою насипу й обсягами ґрунтових робіт можна визначити, що при створенні берегової смуги в умовах Новомиколаївського кар'єру з такими розмірами насипної ділянки: ширина – 50 м, довжина – 100 м, глибина – 50 м, обсяг гірничих робіт залежатиме від матеріалу засипки.

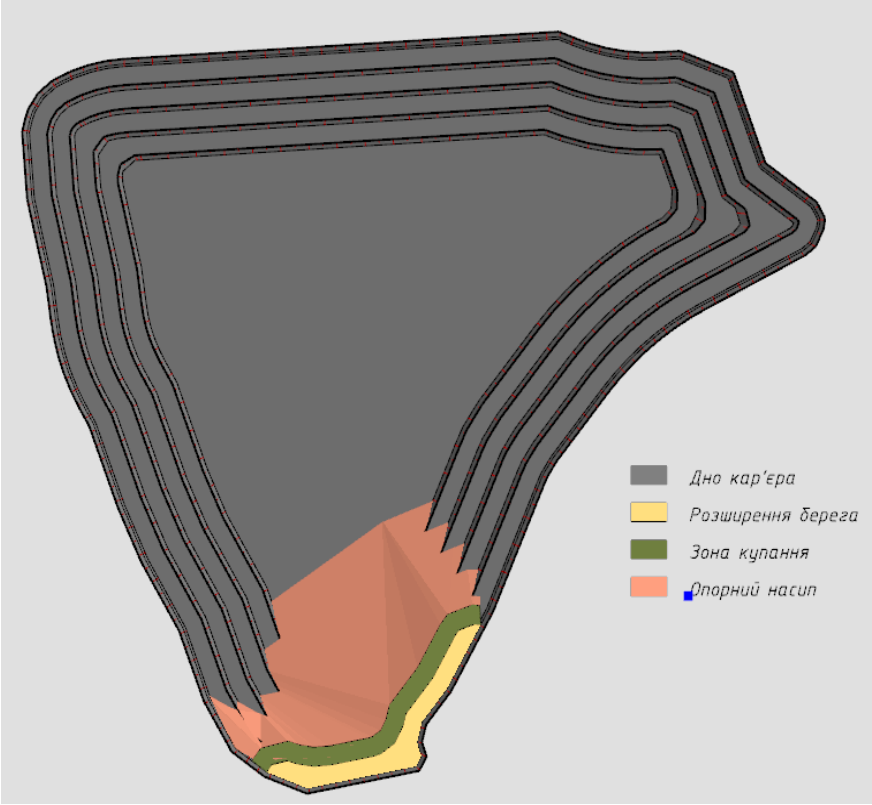


Рисунок 4.18 – Схема берегової смуги в умовах Новомиколаївського кар'єру

Відповідно до раніше встановлених показників безпечних кутів укосів насипів із піщаних, суглинистих та скельних порід при обводненні насипного гірничого масиву під час створення берегової смуги в умовах Новомиколаївського кар'єру безпечні кути обводнених насипів висотою 50 м становлять: для піщаних порід – 20,5º, суглинків – 34,5º, скельних відвальних порід – 32º.

Визначені показники стійності обводнених масивів дають змогу розрахувати об’єми рекультиваційних робіт при створенні берегової смуги. При використанні піщаних порід об’єм робіт зі створення насипу висотою 50 м в обводненому просторі кар’єру становить 2,5 млн м^3, суглинків – 1,67 млн м^3, скельних відвальних порід – 1,79 млн м^3.

Розрахунок техніко-економічних показників робіт з гірничо-технічної рекультивації дає можливість визначити, що вартість робіт зі створення берегової смуги в умовах Новомиколаївського кар’єру з розмірами насипної ділянки шириною 50 м, довжиною 100 м і глибиною 50 м становить при використанні піску 80,3 млн грн, суглинку – 46,5 млн грн, скельних порід – 50,7 млн грн.

Такий об’єм робіт свідчить про значну трудомісткість рекультиваційних заходів, необхідність використання великої кількості техніки та матеріалів, а також про значні фінансові витрати. Водночас саме для кар’єрів середньої глибини (до 60 м) рекультивація є найбільш перспективною з точки зору подальшого використання територій у рекреаційних цілях, оскільки забезпечує баланс між безпечними параметрами укосів, екологічною стабільністю водойми та економічною доцільністю робіт.

Таким чином, отримані параметри гірничо-технічної рекультивації під час створення берегової смуги в умовах Новомиколаївського кар’єру дають змогу в подальшому обґрунтувати оптимальні технологічні рішення для створення рекреаційних зон у затоплених кар’єрах цього типу.

4.6 Висновки за розділом

1. Визначено вплив висоти обводненого простору кар’єру на техніко-економічні показники рекультивації за першою технологічною схемою рекультивації з формуванням насипу в обводненому виробленому просторі кар’єру, що дає можливість встановити витрати на гірничі роботи при створенні берегової смуги площею 0,5 – 1,0 га. Згідно з отриманими результатами, для заданих вихідних параметрів найбільш ефективним матеріалом для формування

насипу є суглинки. При створенні берегової смуги площею 0,5 га збільшення висоти насипу в 3 рази до 60 м призведе до збільшення об'єму гірничих робіт у 5,4 – 7,3 раза до 1,39 млн м^3 залежно від типу гірських порід, з яких формується насип.

2. Встановлено, що з урахуванням ринкової вартості матеріалів для створення насипу при використанні суглинків вартість робіт знизиться у 2,5 раза порівняно з піщаними породами та у 3,2 раза – зі скельними, при висоті насипу 20 м. При збільшенні висоти насипу до 80 м вартість матеріалів зросте в 3,5 і 3,8 раза при заміні суглинистих порід на піщані або щебеневі, відповідно.

3. Встановлено, що найбільш витратними процесом є створення насипу висотою 60 м в обводненому просторі кар'єру при використанні піщаних порід. Загальні витрати сягають 106,7 млн грн при площі берегової смуги 0,5 га, що в 1,6 – 1,8 раза більше порівняно зі скельними породами та суглинками, відповідно. Це пояснюється низькою стійкістю обводнених укосів відвалів, сформованих із піщаних порід та підвищеними об'ємами гірничих робіт.

4. Визначено параметри другої технологічної схеми рекультивації, за якою порода з необводненої частини борту кар'єру екскавується та вивозиться за межі кар'єру зі створенням пляжної зони із заданими параметрами. При застосуванні другої схеми збільшення площі берегової смуги з 0,5 до 1,0 га призводить до збільшення об'ємів гірничих робіт до 392 – 496 тис. м^3 залежно від типу порід, з яких сформовано борт кар'єру.

5. Вартість робіт при використанні другої технологічної схеми рекультивації в умовах розробки скельних порід становить 43,3 млн грн, що в 3,4 – 4,3 раза більше, ніж при розробці піщаних або суглинистих порід. Найбільші витрати при використанні другої схеми становлять 86,8 млн грн при спорудженні берегової смуги площею 1,0 га. Витрати за цією схемою при розробці скельних порід будуть у 3,6 – 4,3 раза більшими, ніж при розробці суглинистих порід, залежно від висоти необводненої частини борту кар'єру.

6. Встановлені залежності дають змогу оцінювати вибір технологічних схем рекультивації за наявності даних про параметри обводненого виробленого

простору, породи, з яких сформовано необводнений борт кар’єру, та доступні об’єми відвальних порід поблизу кар’єру, що рекультивується.

7. Запропоновано методику ранжування існуючих обводнених кар’єрів між собою, яка передбачає вибір за кожним із 11 встановлених показників трьох техногенних водойм із найкращими показниками з подальшим визначенням загальної суми балів. Розроблено рейтинг найкращих водойм, згідно з яким Новомиколаївський кар’єр має 8 балів, Малий кар’єр (с. Зоряне) – 5 балів і Старокодацький кар’єр – 2 бали. Відповідно до запропонованої методики, інші кар’єри не можуть бути запропоновані до використання в рекреаційній діяльності до моменту зниження окремих показників до гранично допустимих концентрацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі виконано комплексне дослідження проблеми гірничо-технічної рекультивації обводнених вироблених просторів кар’єрів будівельної сировини з метою їх перетворення на рекреаційні зони. Робота охоплює теоретичні, методичні та прикладні аспекти постмайнінгового використання територій, що дало змогу сформувати цілісну науково-практичну основу для вирішення актуальної екологічної та соціально-економічної проблеми. На основі проведених досліджень сформульовано такі узагальнені висновки:

1. Аналіз сучасного стану та світового досвіду рекультивації показав, що в Україні налічується понад 1500 покинутих кар’єрів, більшість з яких затоплюються ґрунтовими водами. Це створює передумови для їх використання як штучних водойм із відносно безпечним хімічним складом. Недостатнє фінансування екологічного відновлення призводить до тривалого невикористання цих територій у господарській діяльності. Світовий досвід (Польща, Китай, приклади в Україні) доводить, що постмайнінгова ревіталізація може стати ефективним напрямом розвитку місцевих громад, формуючи нові моделі використання техногенних територій.

2. Методичні положення та параметри безпеки рекультивації свідчать, що стійкість укосів у затоплених кар’єрах залежить від фізико-механічних властивостей порід та рівня обводнення. Моделювання спрощеним методом Бішопа виявило критичний вплив часткового підтоплення (45 – 50% висоти масиву), яке знижує коефіцієнт запасу стійкості в 1,4 – 1,5 раза порівняно з умовами повного затоплення або сухого стану. Визначено кількісні межі безпечних кутів укосу для піску, суглинків і щебеню, що дає змогу проєктувати рекреаційні зони з урахуванням довготривалої стійкості та безпеки.

3. Розробка технологічних схем рекультивації здійснена з урахуванням соціальних потреб місцевих громад та очікувань щодо використання територій для відпочинку, туризму або інших соціально значущих цілей. Визначено оптимальні типи гірничо-транспортного обладнання, схеми засипання та

планувальних робіт. Практичний приклад формування рекреаційної зони для умов Новомиколаївського кар'єру підтвердив можливість інтеграції технічних рішень у соціально значущі проєкти, що забезпечують комфортні умови відпочинку населення.

4. Техніко-економічне та екологічне обґрунтування довело, що застосування суглинків як основного матеріалу для насипів є найбільш економічно вигідним варіантом порівняно з піском і щебенем. Використання суглинків дає можливість знизити вартість робіт у 2,5 – 3,2 раза при збереженні необхідних параметрів стійкості. Оцінка хімічного складу води в кар'єрах Дніпровського району підтвердила її відносну безпечність для рекреаційного використання, що відкриває перспективи створення рекреаційних водойм зі значним соціально-економічним ефектом для регіону.

5. Наукова новизна отриманих результатів полягає у встановленні кількісних залежностей між геометричними параметрами насипів, фізико-механічними властивостями порід та рівнем обводнення. Вперше доведено, що при збільшенні висоти насипу з 20 до 100 м об'єм гірничих робіт зростає в 11 разів (з 250 тис. м^3 до 2,67 млн м^3 при ширині насипу 50 м). Встановлено критичні рівні води, які суттєво знижують стійкість укосів, та визначено кількісні межі безпечних кутів нахилу для різних типів порід.

6. Практичне значення роботи полягає у розробці комплексної методики визначення об'ємів планувальних робіт під час створення рекреаційних зон на бортах кар'єрів, яка враховує співвідношення ширини насипної ділянки та горизонтальної проєкції борту в умовах обводнення. Розроблені методики дають можливість на етапі проєктування визначати оптимальні об'єми гірничих робіт, мінімізуючи витрати матеріалів та фінансові ресурси. Рекомендації щодо вибору матеріалів для формування насипів (суглинки як найбільш економічно вигідні) забезпечують оптимізацію вартості рекультиваційних робіт. Результати можуть бути використані проєктними організаціями та органами місцевого самоврядування для планування розвитку територій, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців гірничого профілю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Paone, J., Morning, J.L., & Giorgetti, L. (2019). Land Utilization and Reclamation in the Mining Industry, 1930-71. In *Coal Surface Mining* (pp. 53-67). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429051128

2. Lozhnikov, O., & Adamova, V. (2023). Global trends in technological solutions for restoration of pit disturbed lands. In *International scientific-practical conference "Science, education, technology and society: problems and prospects* (pp. 53-54). Bratislava, Slovakia. Retrieved from: file:///C:/Users/kater/Downloads/12%20%D0%B6%D0%BE%D0%B2%D1%82%D0%BD%D1%8F_%D0%B7%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20(1).pdf

3. Kaźmierczak, U., Lorenc, M. W., Marek, P., & Rajczakowska, D. (2024). Examples of Good Practices in the Reclamation and Use of Abandoned Quarries. *Geoheritage*, *16*(1), 1-16. https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1386756

4. Krzysztofik, R., Dulias, R., Kantor-Pietraga, I., Spórna, T., & Dragan, W. (2020). Paths of urban planning in a post-mining area. A case study of a former sandpit in southern Poland. *Land Use Policy*, *99*(3), 104801. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104801

5. Tymchuk, I., Malovanyy, M., Shkvirko, O., Chornomaz, N., Popovych, O., Grechanik, R., & Symak, D. (2021). Review of the global experience in reclamation of disturbed lands. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, *22*(1), 24-30. https://doi.org/10.12912/27197050/132097

6. Travels-Ukraine.com. (2018). *Радонове озеро*. Режим доступу: https://travels-ukraine.com/radonove-ozero-migiya

7. Гайдук, М.О. (2018). *Аналіз форм антропогенного рельєфу як ресурсу для промислового туризму (на прикладі кар'єрів).* Кривий Ріг: Криворізький державний педагогічний університет, 129 с. Режим доступу: http://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/2832

8. Ignatyeva, M., Yurak, V., & Pustokhina, N. (2020). Recultivation of post-mining disturbed land: Review of content and comparative law and feasibility study.

Resources, *9*(6), 73. https://doi.org/10.3390/resources9060073

9. Loza, I.M., & Pakhomov, O.Y. (2018). Environmental evaluation of remediated lands quality of manganese quarry lands (Zaporizhsky and Olexandrovsky opencast workings) on humus content and salinity. *Ecology and Noospherology*, *29*(2), 89-96. https://doi.org/10.15421/031815

10. УНІАН. (2018). *Китай не припиняє шокувати! Підземний готель у кар'єрі*. Режим доступу: https://www.unian.ua/tourism/newsphoto/10339116-u-kitaji-vidkrivayetsya-pershiy-u-sviti-pidzemniy-gotel-vseredini-kar-yeru-z-vodoyu-fotoreportazh-video.html

11. Saik, P., Cherniaiev, O., Anisimov, O., Dychkovskyi, R., & Adamchuk, A. (2023). Mining of non-metallic mineral deposits in the context of Ukraine's reconstruction in the war and post-war periods. *Mining of Mineral Deposits*, *17*(4), 91-102. https://doi.org/10.33271/mining17.04

12. Ложніков О.В., & Адамова В.О. (2022). Ревіталізація порушених земель при розробці пологоспадних родовищ. У Матеріалах *IX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів»* (с. 54-57). Житомир, Україна. Режим доступу: https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/05/povnyy-tekst-1.pdf

13. Sobko, B., Haidin, A., Lozhnikov, O., & Jarosz, J. (2019). Method for calculating the groundwater inflow into pit when mining the placer deposits by dredger. *E3S Web of Conferences*, *123*, 01025. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301025

14. Kalybekov, T., Sandibekov, M., Rysbekov, K., & Zhakypbek, Y. (2019). Substantiation of ways to reclaim the space of the previously mined-out quarries for the recreational purposes. *E3S Web of Conferences*, *123*, 01004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301004

15. Patsiuk, V.S., Kazakov, V.L., Skorupskas, R., Ostapchuk, I.O., & Petrova, A.A. (2022). Revitalization of the industrial heritage: guidelines for Kryvyi Rih. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1049*(1), 012082. https://doi:10.1088/1755-1315/1049/1/012082

16. Poberezhsky, A., Buchynska, I., Shevchuk, O., & Mukan, T. (2019). Mining complex of the Lviv-Volyn coal basin and its impact on the ecosystem of the region. *Geology and Geochemistry of Fossil Fuels*, (3), 52-61. https://doi.org/10.15407/ggcm2019.03.05

17. Denysyk, H. I., & Mizina, S. K. (2021). Regional reclamation landscape technical systems: current status and rational use. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, *30*(3), 421-428. https://doi.org/10.15421/112138

18. Popović, S. G., Vukanić, S., Komatina, D. F., Alihodzic-Jasarevic, E., & Vatin, N. (2015). Models of landscape shaping in exploited quarries of urban area. *Procedia Engineering*, *117*, 609-615. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.221

19. Talento, K., Amado, M., & Kullberg, J. C. (2020). Quarries: From abandoned to renewed places. *Land*, *9*(5), 136. https://doi.org/10.3390/land9050136

20. 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

21. Legwaila, I.A., Lange, E., & Cripps, J. (2015). Quarry reclamation in England: a review of techniques. *Jasmr*, *4*(2), 55-79. http://doi.org/10.21000/JASMR15020055

22. Zagórska, E., & Makowski, Ł. (2021). Reclamation and development of post-industrial sites for recreation as exemplified by projects carried out in Poland in the 1920s and 1950s. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu*, *93*(2), 45-56. https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5899

23. Damigos, D., & Kaliampakos, D. (2003). Assessing the benefits of reclaiming urban quarries: a CVM analysis. *Landscape and urban planning*, *64*(4), 249-258. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00243-8

24. Tropek, R., & Konvicka, M. (2008). Can quarries supplement rare xeric habitats in a piedmont region? Spiders of the Blansky les Mts, Czech Republic. *Land Degradation & Development*, *19*(1), 104-114. https://doi.org/10.1002/ldr.817

25. Kasztelewicz, Z. (2014). Approaches to post-mining land reclamation in Polish open-cast lignite mining. *Civil and Environmental Engineering Reports*, (12),

55-67. https://doi.org/10.2478/ceer-2014-0006

26. Lozhnikov, O.V., & Romanchenko, Y.V. (2014). Development of technology for mining reclamation of flooded residual mined spaces of quarries. *Heotekhnichna Mekhanika*, (117), 34-42.

27. Адамова, В.О., & Ложніков, О.В. (2024). Аналіз методичних підходів до визначення кінцевого рівня води в залишковому просторі кар'єру. У *Матеріалах XIV міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна»* (с. 250-251). Дніпро, Україна. Режим доступу: https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/30e48bab-37ef-4660-903b-ea8127619ecb/content

28. Cherep, A. (2024, March). Determination of rational technological schemes for the completion of open-pits taking into account land reclamation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *319*(1) 012013. http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1319/1/012013

29. Vaca, R., Del Águila, P., Yañez-Ocampo, G., Lugo, J.A., & De la Portilla-López, N. (2023). Soil quality assessment in response to water erosion and mining activity. *Agriculture*, *13*(7), 1380. https://doi.org/10.3390/agriculture13071380

30. Sobko, B., Lozhnikov, O., & Drebenshtedt, C. (2020). Investigation of the influence of flooded bench hydraulic mining parameters on sludge pond formation in the pit residual space. *E3S Web of Conferences*, *168*, 00037. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800037

31. Coratza, P., Vandelli, V., & Soldati, M. (2018). Environmental rehabilitation linking natural and industrial heritage: a Master Plan for dismissed quarry areas in the Emilia Apennines (Italy). *Environmental Earth Sciences*, *77*(12), 455. https://doi.org/10.1007/s12665-018-7642-9

32. Gumenik, I., & Lozhnikov, O. (2015). Current condition of damaged lands by surface mining in Ukraine and its influence on environment. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solution of Mineral resources Mining*, 139-145 https://doi.org/10.1201/b19901-25

33. Chebanov, M., Bazaluk, O., Petlovanyi, M., Sai, K., & 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

34. Tan, F., Jiao, Y. Y., Wang, H., Liu, Y., Tian, H. N., & Cheng, Y. (2019). Reclamation and reuse of abandoned quarry: A case study of Ice World & Water Park in Changsha. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *85*, 259-267. https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.12.009

35. Yankova, T. (2021). Mining damaged landscape reclamation study. *XXI International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021*, *2*(1.1), 383-390. https://doi.org/10.5593/sgem2021/1.1/s04.071

36. Сердюк, Я.Є. (2020). *Розвиток туризму у Дніпропетровській області: стан та перспективи:* кваліф. роб.: 242 Туризм. Полтава: Полтавський університет економіки і торгівлі, 96 с.

37. Dong-dong, Z., Yu-shan, S., & Le, L. (2009). Study on sustainable landscape design of abandoned quarries: An example: Zhushan ecological park in Xuzhou. *Procedia Earth and Planetary Science*, *1*(1), 1107-1113. https://doi.org/10.1080/13549839.2013.843510

38. ДБН Б.2.2-12:2019. (2019). *Планування і забудова територій*. Київ Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Режим доступу: https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/07/DBN-B22-12-2019.pdf

39. ДБН В.2.4-2-2005. (2005). *Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування.* Київ: Держбуд України.

40. ДБН А.2.1-1-2008. (2008). Інженерні вишукування для будівництва. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України.

41. ДСТУ 7941:2015. (2016). *Якість ґрунту. Рекультивація земель. Загальні вимоги*. Київ: ДП «УкрНДНЦ». Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62855

42. ДСТУ Б В.2.7-32-95. (1995). *Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови*. Київ: ДП «УкрНДНЦ».

43. Kaźmierczak, U., Bartlewska-Urban, M., & Strzałkowski, P. (2022). Slope Shape Optimization of Water Reservoirs Formed Due to the Reclamation of Post-Mining Excavations. *Applied Sciences*, *12*(3), 1690. https://doi.org/10.3390/app12031690

44. Bazaluk, O., Anisimov, O., Saik, P., Lozynskyi, V., Akimov, O., & Hrytsenko, L. (2023). Determining the Safe Distance for Mining Equipment Operation When Forming an Internal Dump in a Deep Open Pit. *Sustainability*, *15*, 5912. https://doi.org/10.3390/su15075912

45. Medvedieva, O.O., Halchenko, Z.S., Shustov, O.O., & Akhmetkanov, D.K. (2023). Prospects for use of man-made disturbed lands in mining regions for the location of renewable energy sources facilities. *Heotekhnichna Mekhanika*, (165), 17-26. https://doi.org/10.15407/geotm2023.165.017

46. McRae, S.C. (2018). Land reclamation after open-pit mineral extraction in Britain. *Remediation and Management of Degraded Lands*, 47-62. https://doi.org/10.1201/9780203740897-5

47. Salmi, J., Ye, Z., Ninic, J., & Heikkilä, R. (2025). BIM for mining-Automated generation of information models using a parametric modelling concept. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, *186*, 106032. https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2025.106032

48. Wang, J., & Li, Q. (2021). GIS-based optimization of land reclamation in mining areas. *Journal of Cleaner Production*, *278*, 127012. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127012

49. Rahla, K.M., Mateus, R., & Bragança, L. (2021). Selection criteria for building materials and components in line with the circular economy principles in the built environment – A review of current trends. *Infrastructures*, *6*(4), 49. https://doi.org/10.3390/infrastructures6040049

50. Kucher, A., Anisimova, O., & Heldak, M. (2019). Efficiency of land reclamation projects: new approach to assessment for sustainable soil management.

Journal of Environmental Management & Tourism, *10*(7(39)), 1568-1582. https://dx.doi.org/10.14505/jemt.10.7(39).14

51. Гайдін А.М., & Собко Б.Ю. (2020). *Озера в залишкових просторах кар'єрів*. Дніпро: Журфонд, 184 с.

52. Anisimov, O., Cherniaiev, O., Saik, P., & Akimov, O. (2024). Theoretical substantiation of water inflow into the mined-out space of quarries mining hard-rock building materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1319*(1), 012004. https://doi10.1088/1755-1315/1319/1/012004

53. Kharchenko, K., Chorna, V., Voroshylova, N., & Bielkina, M. (2021). Principles of revitalization of disused quarries on the example of the city of Kryvyi Rih. *Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture*, (2), 106-114. https://doi.org/10.30838/j.bpsacea.2312.270421.106.757

54. Симоненко, В.І. (2004). *Технологічні засади розробки нерудних родовищ із внутрішньокар'єрним складуванням відходів гірничого виробництва*. Дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.03. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 467 с.

55. Manyuk, V.V., & Ruzina, M.V. (2024). Abandoned quarries of the Middle Dnipro region as promising natural geosites. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, *33*(4), 748-772. https://doi.org/10.15421/112469

56. Lozhnikov, O., & Adamova, V. (2024). Methodology for determining the scope of reclamation works when forming recreational zone in the quarry residual space. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1348*(1), 012043. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012043

57. Lima, A.T., Mitchell, K., O'Connell, D.W., Verhoeven, J., & Van Cappellen, P. (2016). The legacy of surface mining: Remediation, restoration, reclamation and rehabilitation. *Environmental Science & Policy*, *66*, 227-233. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.07.011

58. Kalybekov, T., Sandibekov, M., Rysbekov, K., & Zhakypbek, Y. (2019). Substantiation of ways to reclaim the space of the previously mined-out quarries for the recreational purposes. *E3S Web of Conferences*, *123*, 01004.

https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301004

59. Sikora, A., & Deron, P. (2019). Post-Mining Land Use for the Function of Geotourism and Spa. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *603*(3), 032033. https://doi.org/10.1088/1757-899x/603/3/032033

60. Calandrelli, M.M., & Calandrelli, R. (2014). The district tourism lake of Castel Volturno: An example of territorial requalification of abandoned quarries. *Engineering Geology for Society and Territory*, *5*, 1315-1319. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1_251

61. Medianyk, V., & Cherniaiev, O. (2018). Technological aspects of technogenic disturbance liquidation in the areas of coal-gas deposits development. *E3S Web of Conferences*, *60*, 00037. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000037

62. Dryzhenko, A., Moldabayev, S., Shustov, A., Adamchuk, A., & Sarybayev, N. (2017). Open pit mining technology of steeply dipping mineral occurences by steeply inclined sublayers. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2017, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining*, *17*(13), 599-606. https://doi.org/10.5593/sgem2017/13/s03.076

63. Shustov, O., & Perkova, T. (2022). Methodological principles of the selection of a resource-saving technology while developing water-bearing placer deposits. *Mining of Mineral Deposits*, *16*(3), 115-122. https://doi.org/10.33271/mining16.03.115

64. Symonenko, V., Hrytsenko, L., & Cherniaiev, O. (2016). Organization of non-metallic deposits development by steep excavation layers. *Mining of Mineral Deposits*, *10*(4), 68-73. https://doi.org/10.15407/mining10.04.068

65. Kurowska, E. E., Czerniak, A., & Bańkowski, J. (2023). The rationale for restoration of abandoned quarries in forests of the Ślęża Massif (Poland) in the context of sustainable tourism and forest environment protection. *Forests*, *14*(7), 1386. https://doi.org/10.3390/f14071386

66. Colangelo, F., Navarro, T. G., Farina, I., & Petrillo, A. (2020). Comparative LCA of concrete with recycled aggregates: a circular economy mindset in Europe. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *25*(9), 1790-1804.

https://doi.org/10.1007/s11367-020-01798-6

67. Cherniaiev, O.V. (2017). Systematization of the hard rock non-metallic mineral deposits for improvement of their mining technologies. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 11-17. Retrieved from: https://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/finish/70-05/8694-5-2017-cherniaiev/0

68. Sobko, B.Y., Denyschenko, O.V., Lozhnikov, O.V., & Kardash, V.A. (2018). The belt conveyor effectiveness at the rock haulage under flooded pit excavations. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 26-32. https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-6/4

69. Sobko, B.Y. (2018). Determination of cut-off wall cost efficiency at Motronivskyi pit mining. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (3), 44-49. https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-3/1

70. Anisimov, O., Symonenko, V., Cherniaiev, O., & Shustov, O. (2018). Formation of safety conditions for development of deposits by open mining. *E3S Web of Conferences*, *60*, 00016. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000016

71. Azizi, M.A., Kramadibrata, S., Wattimena, R.K., & Sidi, I.D. (2014). Risk assessment of open pit slope design at PT Adaro Indonesia. *Indonesian Mining Journal*, *17*(3), 113-121. https://doi.org/10.30556/imj.Vol17.No3.2014.317

72. Rezaei, M., Ajalloeian, R., & Ghafoori, M. (2012). Geotechnical properties of problematic soils emphasis on collapsible cases. *International Journal of Geosciences*, *3*(1), 105-110. http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2012.31012

73. Li, J., Pu, L., Zhu, M., Zhang, J., Li, P., Dai, X., ... & Liu, L. (2014). Evolution of soil properties following reclamation in coastal areas: A review. *Geoderma*, *226*, 130-139. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.02.003

74. Nehrii, S., Nehrii, T., Bachurin, L., & Piskurska, H. (2019). Problems of mining the prospective coal-bearing areas in Donbas. *E3S Web of Conferences*, *123*, 01011. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301011

75. Sdvyzhkova, O., Babets, D., Kravchenko, K., & Smirnov, A.V. (2015). Rock state assessment at initial stage of longwall mining in terms of poor rocks of Western

Donbass. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 65-70. https://doi:10.1201/B19901-13

76. Edmonds, C. (2018). Five decades of settlement and subsidence. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, *51*(4), 403-416. https://doi.org/10.1144/qjegh2018-089

77. Zhyrnov, P., Tomchenko, O., Pidlisetska, I., & Mykolaienko, O. (2021). Analysis of the geoecological situation in Kalush: current situation and ways of solving the problem. *Geodesy and Cartography*, *47*(4), 170-180. https://doi.org/10.3846/gac.2021.13256

78. Gariano, S.L., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-science reviews*, *162*, 227-252. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011

79. Sdvyzhkova, O., Moldabayev, S., Bascetin, A., Babets, D., Kuldeyev, E., Sultanbekova, Z., Amankulov, M., & Issakov, B. (2022). Probabilistic assessment of slope stability at ore mining with steep layers in deep open pits. *Mining of Mineral Deposits*, *16*(4), 11-18. https://doi.org/10.33271/mining16.04.011

80. Подаков, Є.С., Козичар, М.В., Казанок, О.О., & Каращук, Г.В. (2021). Сучасна екологічна ситуація на Херсонщині та можливі шляхи розв'язання проблемних питань. *Аграрні інновації*, (6), 31-35. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.6.5

81. Lozhnikov, O.V., Adamova, V.O., & Slivenko, M.M. (2024). Justification of the safe parameters of recreational zones during the reclamation of watered residual quarry spaces. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 85-92. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-5/085

82. Kovalchuk, I., & Hrytsenko, L. (2019). Social protection of workers in the context of mine closures in Ukraine. *Social and Labour Relations: Theory and Practice*, *9*(2), 33-41. https://doi:10.21511/slrtp.9(2).2019.04

83. Kuter, N. (2013). Reclamation of degraded landscapes due to opencast mining. *Advances in Landscape Architecture*. https://doi.org/10.5772/55796

84. Yacoub, A.J. (2012). *Integrated quarry rehabilitation strategy for sustainable renaturation in Lebanon.* https://doi.org/10.18452/16454

85. Telyma, S.V., Oliynyk, E.O., Voloshkina, O.S., & Vildman, I.M. (2020, August). Theoretical substantiation and calculations of water flow to ranney water intakes and drainages under protection from submergence of the urban territories and buildings by ground water. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *907*(1), 012061. https://doi:10.1088/1757-899X/907/1/012061

86. Cho, S., Yim, G. J., Lee, J. Y., & Ji, S. (2021). A Review of the Regeneration Models using a Closed Stone Quarry Area through Domestic and Overseas Cases. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, *58*(3), 237-248. https://doi.org/10.32390/ksmer.2021.58.3.237

87. Adamchuk, A., & Shustov, O. (2023). Control of Dump Stability Loading Rock on its Edge. *Inżynieria Mineralna*, *1*(51), 91-96. https://doi.org/10.29227/IM-2023-01-11

88. Lozhnikov, O.V., Adamova, V.O., & Lomazov, P.K. (2025). Assessment of the suitability of residual quarry waters in the Dnipro district for recreational use. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (34-35), 130-143. https://doi.org/10.32782/uhj.34-35.2025.13

89. Seelen, L.M.S., Teurlincx, S., Bruinsma, J., Huijsmans, T.M.F., van Donk, E., Lürling, M., & de Senerpont Domis, L.N. (2021). The value of novel ecosystems: Disclosing the ecological quality of quarry lakes. *Science of the Total Environment*, *769*, 144294. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144294

90. Strokal, M., Bai, Z., Franssen, W., Hofstra, N., Koelmans, A.A., Ludwig, F., Ma, L., van Puijenbroek, P., Spanier, J.E., Vermeulen, L.C., van Vliet, M.T.H., van Wijnen, J., & Kroeze, C. (2021). Urbanization: an increasing source of multiple pollutants to rivers in the 21st century. *Npj Urban Sustainability*, *1*(1). https://doi.org/10.1038/s42949-021-00026-w

91. Su, W., Wu, J., Zhu, B., Chen, K., Peng, W., & Hu, B. (2020). Health evaluation and risk factor identification of urban lakes – A case study of Lianshi Lake. *Water*, *12*(5), 1428. https://doi.org/10.3390/w12051428

92. Leal Filho, W., Eustachio, J. H. P. P., Fedoruk, M., & Lisovska, T. (2024). War in Ukraine: An overview of environmental impacts and consequences for human

health. *Frontiers in Sustainable Resource Management*, *3*, 1423444. https://doi.org/10.3389/fsrma.2024.1423444

93. EPA. (2025). *Indicators: Water Clarity*. Retrieved from: https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-water-clarity

94. Міністерство охорони здоров'я України. (2022) *Наказ № 276 «Про затвердження гігієнічних нормативів і нормативів безпечності та окремих показників якості води».* Зареєстровано в Мін'юсті України 28.02.2022 за № 304/37540. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0304-22

95. Castagna, S., Dino, G.A., Lasagna, M., & De Luca, D.A. (2014). Environmental issues connected to the quarry lakes and chance to reuse fine materials deriving from aggregate treatments. *Engineering Geology for Society and Territory*, *5*, 71-74. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1_13

96. Hinwood, A. L., Heyworth, J., Tanner, H., & McCullough, C.D. (2012). Recreational use of acidic pit lakes-Human health considerations for post-closure planning. *Journal of Water Resource and Protection*, *4*(12), 1061-1070. https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.412122

97. Williams, M.S., Oyedotun, T.D.T., & Simmons, D.A. (2020). Assessment of water quality of lakes used for recreational purposes in abandoned mines of Linden, Guyana. *Geology, Ecology, and Landscapes*, *4*(4), 269-281. https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1633220

98. City of Lake Elsinore. (2024). What is Oxidative Reduction Potential (ORP) and why is it important? In: Lake Elsinore Nanobubble Project FAQs. Retrieved from https://lake-elsinore.org

99. YSI. (2026). *Understanding Oxidation-Reduction Potential (ORP) in Water*. Retrieved from: https://www.ysi.com/parameters/orp-redox

100. Moleaer. (2023). *What is Oxidation-Reduction Potential (ORP) for Lakes?* Retrieved from: https://moleaer.com/blog/lakes-ponds/what-is-oxidation-reduction-potential

101. KETOS. (2026). *Testing for Oxidation Reduction Potential (ORP) in Water*. Retrieved from: https://ketos.co/parameter/orp-water-quality-testing

102. Адамова, В.О., & Ложніков, О.В. (2024). Оцінка впливу соціального фактора на вибір напряму рекультивації виробленого простору кар'єра. У *Матеріалах Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції студентів та молодих вчених. Секція: Гірничі технології та технології будівництва* (с. 143). Житомир, Україна. Режим доступу: https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/06/sekcija-7.pdf

103. Gerwing, T.G., Hawkes, V.C., Gann, G.D., & Murphy, S.D. (2021). Restoration, reclamation, and rehabilitation: on the need for, and positing a definition of, ecological reclamation. *Restoration Ecology*, *30*(7). Portico. https://doi.org/10.1111/rec.13461

104. Oliveira, D., & Costa, J. (2022). Modeling slope stability and water table dynamics in reclaimed open-pit mines. *Computers and Geotechnics*, *145*, 104634. https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2022.104634

105. Zhang, Y., Li, H., & Wang, X. (2020). *Revegetation of post-mining landscapes using legume-grass mixtures: Effects on soil quality and ecosystem recovery*. *Ecological Engineering*, *158*, 105933. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105933

106. Yundt, S.E., & Lowe, S.B. (2002). Quarry rehabilitation: cliffs, landforms and ecology. https://doi.org/10,14288/1,0042417

107. Mahlaule, N.A., Rapholo, M.T.D., & Sengani, F. (2024). Revisiting factors influencing premature closure of small-scale miners: A case study of quarry mines. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, *12*(1), 6917-6928. https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.121.6917

108. Gorova, A., Pavlychenko, A., Borysovs'ka, O., & Krups'ka, L. (2013). The development of methodology for assessment of environmental risk degree in mining regions. *Annual Scientific-Technical Collection – Mining of Mineral Deposit*, 207-209. https://doi.org/10.1201/b16354-38

109. Apostu, I.M., & Faur, F. (2019). Identification and analysis of geotechnical risks in the conditions of flooding of the remaining gaps. *MATEC Web of Conferences*, *290*, 11002. https://doi.org/10.1051/matecconf/201929011002

110. Lozhnikov, O., & Adamova, V. (2025). Technical and economic assessment of technological schemes for reclamation of watered quarry residual spaces. *Heotekhnichna Mekhanika*, (174), 43-57. https://doi.org/10.15407/geotm2025.174.043

111. Gumenik, I., Lozhnikov, O., & Maevskiy, A. (2012). Methodological principles of negative opencast mining influence increasing due to steady development. *Geomechanical Processes During Underground Mining. Proceedings of the School of Underground Mining*, 45-51. https://doi.org/10.1201/b13157-10

112. Dal Sasso, P., Ottolino, M.A., & Caliandro, L.P. (2012). Identification of quarries rehabilitation scenarios: a case study within the metropolitan area of Bari (Italy). *Environmental Management*, *49*, 1174-1191. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9847-0

113. Del Puglia, S. (2021). Re-build landscape: Design for the reuse of abandoned quarries. *Digital Draw Connections*, 1067-1093. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59743-6_50

114. Wildová, E. (2018). Hydrological reclamations as a tool of sustainable development of an anthropogenically affected landscape. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018*, *Water Resources*. *Forest, Marine and Ocean Ecosystems*, *18*(3.1), 371-377. https://doi.org/10.5593/sgem2018/3.1/s12.049

115. McCullough, C.D., Schultze, M., & Vandenberg, J. (2020). Realizing beneficial end uses from abandoned pit lakes. *Minerals*, *10*(2), 133. https://doi.org/10.3390/min10020133

116. Gumenyk, I.L., Lozhnikov, O.V., & Panasenko, A.I. (2013). Deliberate dumping technology for mining reclamation effectiveness improvement. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 48-53. Retrieved from: http://nvngu.in.ua/index.php/uk/component/jdownloads/finish/47-05/794-2013-5-gumenyk/0

117. Jawecki, B. (2022). The influence of Strzelin Quarry Lakes on small reservoir retention resources in the regional catchments. *Scientific Reports*, *12*(1),

14642. https://doi.org/10.1038/s41598-022-18777-6

118. Jawecki, B., & Kowalczyk, T. (2023). The assessment of the quality and quantity of water retained in closed granite quarries with the view to mitigate the effects of droughts in agriculture. *Water*, *15*(4), 782. https://doi.org/10.3390/w15040782

119. Vráblík, P., Vráblíková, J., & Wildová, E. (2019). Hydrological mine reclamations in the anthropogenically affected landscape of North Bohemia. *Assessment and Protection of Water Resources in the Czech Republic*, 203-223. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18363-9_9

120. Chuman, T. (2015). Restoration practices used on post mining sites and industrial deposits in the Czech Republic with an example of natural restoration of granodiorite quarries and spoil heaps. *Journal of Landscape Ecology*, *8*(2), 29-46. https://doi.org/10.1515/jlecol-2015-0007

121. Cherniaiev, O., Anisimov, O., Dreshpak, O., & Borodina, N. (2024). Substantiation the safety open pit wall parameters in the conditions of a reduced protective zone near State critical infrastructure. *E3S Web of Conferences*, *526*, 01014. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452601014.

122. Shustov O., & Dryzhenko A. (2016). Organization of dumping stations with combined transport types in iron ore deposits mining. *Mining of Mineral Deposits*, *10*(2), 78-84. https://doi.org/10.15407/mining10.02.078

123. Moldabayev, S.K., Sultanbekova, Z.Z., Adamchuk, A.A., Sarybaev, N.O., & Nurmanova, A.N. (2022). Technology of an open pit refinement under limit stability of sides. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 5-10. https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/005

124. Talento, K. (2024). Waste Reuse from Quarries. *Sustainable Buildings from Marble Waste Heaps*, 93-117. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72146-5_4

125. Lutsenko, S., Hryhoriev, Y., & Joukov, S. (2023). Dominant determinants of adaptation of the mining complex in the conditions of a dynamic environment. Inżynieria Mineralna. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, *1*(1), 15-21. https://doi.10.29227/IM-2023-01-02

126. Li, J., Pu, L., Zhu, M., Zhang, J., Li, P., Dai, X., ... & Liu, L. (2014). Evolution of soil properties following reclamation in coastal areas: A review. *Geoderma*, *226*, 130-139. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.02.003

127. Adamchuk, A., Pavlychenko, A., Shustov, O., & Bondarenko, A. (2024, March). Research of land-saving schemes of mining the horizontal sedimentary mineral deposits. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1319*(1), 012012. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1319/1/012012

128. Davids, R. (2021). Dynamic landscapes: the reclamation of disused quarries. *Studies in the History of Gardens & Designed Landscapes*, *41*(1), 66-76. https://doi.org/10.1080/14601176.2020.1796368

129. Anisimov, O., Slyvenko, M., & Cherniaiev, O. (2025, March). Modeling and determination of rock displacement parameters on the internal waterlogged dump. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1481*(1), 012011. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1481/1/012011

130. Wolkersdorfer, C. (2022). Post-mining Usage of Mine Sites or Residues of the Treatment Process. *Mine Water Treatment – Active and Passive Methods*, 227-241. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65770-6_7

131. Bagnato, V.P., & Paris, S. (2013). The quarries' landscape: environmental and productional valorization, between extraction and building. *Journal of Technology for Architecture and Environment*, 123-128. https://doi.org/10.13128/Techne-12811

132. Prokopenko, V.I., Pilov, P.I., Cherep, A.Yu., & Pilova, D.P. (2020). Managing mining enterprise productivity by open pit reconstruction. *Eurasian Mining*, 42-46. https://doi.org/10.17580/em.2020.01.08

133. Bastian, O., & Röder, M. (1998). Assessment of landscape change by land evaluation of past and present situation. *Landscape and Urban Planning*, *41*(3-4), 171-182. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(98)00056-5

134. Antoshchenko, M., Tarasov, V., Nedbailo, O., Zakharova, O., & Yevhen, R. (2021). On the possibilities to apply indices of industrial coal-rank classification to determine hazardous characteristics of workable beds. *Mining of Mineral Deposits*, *15*(2), 1-8. https://doi.org/10.33271/mining15.02.001

135. Wardrop, D.R., Leake, C.C., & Abra, J. (2001). Practical techniques that minimize the impact of quarries on the water environment. *Applied Earth Science*, *110*(1), 5-14. https://doi.org/10.1179/aes.2001.110.1.5

136. Guru.ua. *Новомиколаївський кар'єр*. Режим доступу: https://rest.guru.ua/ua/dnepropetrovsk/places/1963-novonikolaevskij_kar_er/

137. Верховна Рада України. (1994). *Кодекс України про надра:* Закон України від 27 липня 1994 р. № 132/94-ВР. Відомості Верховної Ради України, (36), Ст. 341.

138. Верховна Рада України. (2002). *Земельний кодекс України:* Закон України від 25 жовтня 2001 р. № 2768-III. Відомості Верховної Ради України, (3-4), Ст. 27.

139. Верховна Рада України. (1999). *Гірничий закон України:* Закон України від 6 жовтня 1999 р. № 1127-XIV. Відомості Верховної Ради України, (50), Ст. 433.

140. Верховна Рада України. (2003). *Про охорону земель:* Закон України від 19 червня 2003 р. № 962-I. Відомості Верховної Ради України, (39), Ст. 349.

ДОДАТОК А

Міністерство промислової політики України
Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
(ДВНЗ «Національний гірничий університет»)
Інститут з проєктування гірничих підприємств

Національний технічний університет
ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
1899

49005, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19
E-mail: nikitenko.i.s@nmu.one, ipgpDniproUniversityTechnology@gmail.com

Кваліфікаційний сертифікат відповідального виконавця
серія АР №009859 від 25.04.2014 року

ПрАТ «Майдан-Вильський
комбінат вогнетривів»

РОБОЧИЙ ПРОЄКТ
РОЗРОБКИ ТА РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЧАБАНІВСЬКОЇ ДІЛЯНКИ
ЧАБАНІВСЬКОГО РОДОВИЩА ГЛИН

Том 2
Проєкт землеустрою
(технічної і біологічної рекультивації земель, порушених при відпрацюванні Чабанівського родовища)

Пояснювальна записка
071311/23 –ТХ – ПЗ

Перший проректор Артем ПАВЛИЧЕНКО

Проректор з наукової роботи Ігор НІКІТЕНКО

Директор ІПГП Олег АНІСІМОВ

Головний інженер проєкту,
відповідальний виконавець
інженер проєктувальник Олексій ЧЕРНЯЄВ

Дніпро
2023 р.

СПИСОК ВИКОНАВЦІВ

Посада	Підпис	П.І.Б.
Директор ІПГП НТУ «Дніпровська політехніка», д.т.н., с.н.с.		О.О. Анісімов
Головний інженер проєкту, відповідальний виконавець інженер проєктувальник, старший науковий співробітник, к.т.н.		О.В. Черняєв
Старший науковий співробітник, к.т.н.		В.О. Расцвєтаєв
Старший науковий співробітник, к.т.н.		П.Б. Саїк
Старший науковий співробітник, к.т.н.		В.Г. Лозинський
Молодший науковий співробітник		О.В. Черняєва
Молодший науковий співробітник		В.О. Адамова

Зм.. інв..№

Підпис і дата

Інв №об.

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	071311/23 – ТХ – ПЗ		
Розробив		Анісімов			30.07	Список виконавців	Стадія	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Черняєв			2023		РП	1	1
Н. Контр.		Черняєва					ІПГП НТУ «Дніпровська політехніка»		
ГІП		Черняєв							

ДОДАТОК Б

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ, ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ
І ПРОЕКТНИЙ ІНСТИТУТ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ
«У К Р Н Д І П Р О Е К Т»

Ідентифікаційний код 00174125
Юридична адреса: 03142 м. Київ
Проспект акад. Палладіна, 46/2
Телефон 050-442-44-64,
Електронна пошта: post.unp@ukr.net

Рах. UA122266900000260033000027169
АТ «Ощадбанк» м. Київ
МФО 322669
ІПН № 001741226579

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. директора
ДП «Інститут «УкрНДІпроект»
к.держ.упр.
_____ *Леонід ДУДКА*
«02» 12 2026

А К Т
впровадження результатів дисертації Адамової Вікторії Олегівни
«Обґрунтування параметрів гірничо-технічної рекультивації обводнених просторів кар'єрів»
поданої на здобуття ступеня доктора філософії (Phd)
за спеціальністю 184 – «Гірництво»

Цим актом підтверджується, що Державним науково-дослідним, проектно-конструкторським та проектним інститутом вугільної промисловості «УкрНДІпроект» при виконанні рекультивації буровугільного розрізу «Верболозівський» використано такі результати дисертації В.О. Адамової ***«Обґрунтування параметрів гірничо-технічної рекультивації обводнених просторів кар'єрів»:***

1) методика визначення обсягів ґрунтових робіт при формуванні рекреаційних зон (пляжів, насипних ділянок) на бортах розрізу з урахуванням їх геомеханічних параметрів його обводнених кар'єрів.

2) методика визначення техніко-економічних показників гірничотехнічної рекультивації при створенні безпечних рекреаційних зон у обводненому просторі розрізу;

3) технологічні схеми гірничотехнічної рекультивації при створенні рекреаційних зон з урахуванням фізико-механічних властивостей порід, що використовуються як матеріал для засипки обводненого простору розрізу.

Вчений секретар інституту
канд. техн. наук *Михайло ТОЛСТОЙ*