

**Kozii Ye.S., Candidate of Geological Sciences,
Associate Professor of Department of
Geology and Mineral Prospecting
Dnipro University of Technology,
Dnipro, Dmytra Yavornytskoho ave. 19, Ukraine**

SPECIFICS OF THE STATISTICAL CORRELATION BETWEEN NICKEL AND GERMANIUM CONTENT IN THE COAL SEAM C₇^H OF THE PAVLOHRADSKA MINE FIELD OF THE WESTERN DONBAS

Research of germanium concentrations in coal seams are gaining significant importance because of its potential for industrial extraction and use as a valuable secondary resource. Coal is the main source of germanium. Also, increased interest in these studies is associated with the classification of ores containing germanium and nickel as strategically important raw materials for the sustainable development of the state. According to the US Geological Survey forecasts, global demand for germanium is expected to increase to 320–400 tons per year by 2030, with a possible increase in production by almost one and a half times. Currently, the price of single crystals of germanium, depending on their quality characteristics, can reach 10–15 thousand dollars per kilogram. At the same time, in the Donbas, about 100 tons of germanium are lost annually during coal mining, which currently accounts for approximately 45% of the known total global annual production of this metal.

The research carried out is particularly relevant to the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated July 16, 2021 "On stimulating the search, extraction and enrichment of minerals that are of strategic importance for the sustainable development and defense capability of the state" and Decree of the President of Ukraine No. 306/2021, which introduces this decision is in effect. In these documents, germanium ores are included in the list of strategic importance for the sustainable development and defense capability of the state.

Germanium is a dispersed element. This feature is explained by the fact that, depending on the conditions in geochemical processes, it can behave as a chalcophile, lithophile or siderophile element. Due to this, germanium is present as an isomorphic impurity in the crystal lattices of most silicates, polymetallic sulfides and some iron oxides. In addition, germanium is able to form its own minerals, which as microinclusions (so-called "prisoner minerals") in other minerals (so-called "host minerals") or forming its own aggregates and large clusters (very rarely), can serve as a resource base for this element.

The results of studies of the statistical correlation specifics between concentrations of nickel and germanium in the coal seam C₇^H of the Pavlohradsk mine field of the Western Donbas are presented. The content of germanium was determined by photocolormetric method, nickel was determined by quantitative emission spectral analysis. Using the programs STATISTICA 13.3 and IBM SPSS Statistics 22, the values of the main descriptive statistical indicators were calculated and correlation and regression analysis were performed. The general relevance of the study of the content of germanium in coal seams is due to the possibility of its industrial extraction and use as a valuable associated component. Then the obtained results are interpreted taking into account the physicochemical and geological features. That is, obtaining information about the distribution of chemical elements in geological objects is the first stage of research, which proceeds from the generalization of the actual material, through its theoretical interpretation to the verification of the revealed regularities by experimental means. All analytical work was performed in the central certified laboratories of production geological exploration organizations. The seven percent of duplicate samples were sent for internal laboratory control. The ten percent of duplicate samples were subjected to external laboratory control. The quality of the analysis results (correctness and reproducibility) was assessed as the significance of the average systematic error, which is checked using the Student criterion, and the significance of the average random error, which is checked using the Fisher criterion. Since the above errors at a significance level of 0.95 were not significant, the quality of the analyses was considered satisfactory.

Previously, some coal seams of the Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area were investigated for the distribution of germanium [1-6]. A feature of the research was the impossibility of direct observation of geological processes. In this case, consideration of their dynamics is traditionally carried out by comparing statistical data and analyzing cartographic materials regarding the distribution of chemical elements in the objects under consideration.

In the Pavlohradsk mine field, the germanium content in the C₇^H coal seam varies from 8.8 g/t to 24.7 g/t, with an average value of 17.62±0.47 g/t. The nickel content varies from 15.37 g/t to 32.97 g/t, with an average value of 24.56 g/t. All data of nickel and germanium concentrations when constructing the graph and calculating the correlation coefficient were normalized to bring the samples to the same scale. Fig. 1 shows a graph of the results of the regression analysis of the linear relationship between the nickel and germanium concentrations.

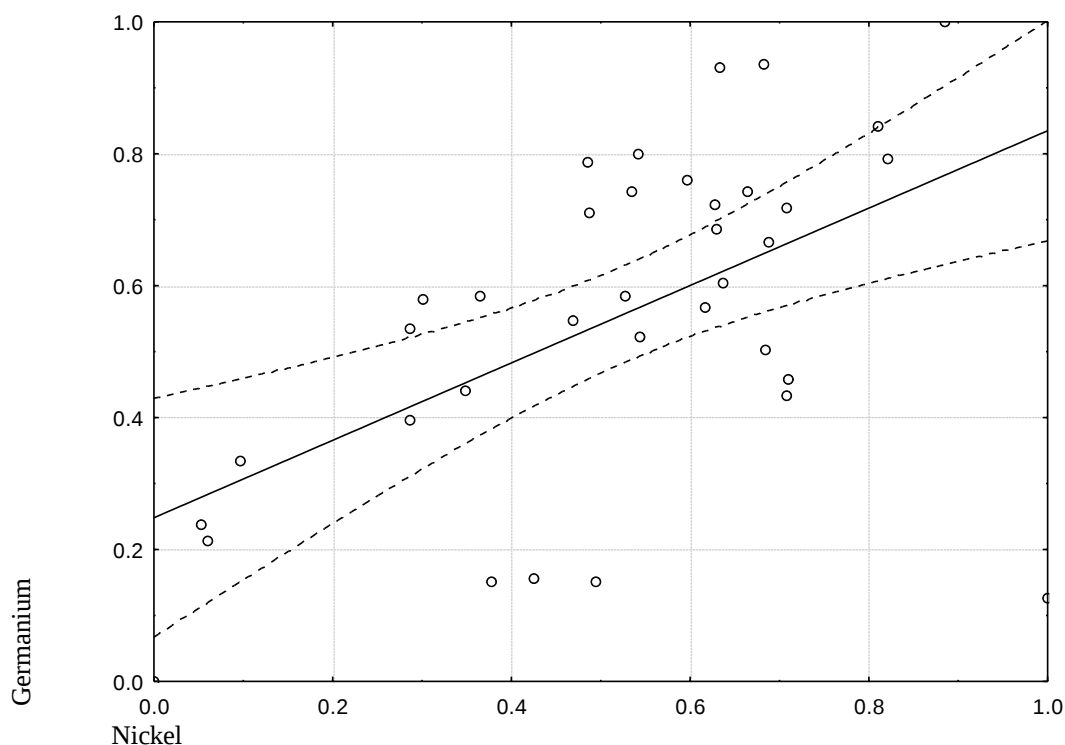


Fig. 1. Graph of the regression equation between the normalized germanium and nickel concentrations in the coal seam c_7^H

The Pearson correlation coefficient between germanium and nickel concentrations is 0.54, and the calculated linear regression equation is: $Ge = 0.2482 + 0.5868 \times Ni$. The graph of the regression equation is shown in Fig. 1.

An average direct correlation linear relationship (corresponding to the gradations of the Chedok coefficient) was established between the concentrations of germanium and nickel in the coal of the c_7^H seam within the investigated mine field, which allows using the calculated regression equation to forecast the content of germanium and nickel within the mine seam.

References:

1. Ishkov V.V., Kozii Ye.S., Kozar M.A., Chernobuk O.I. (2023). Distribution of germanium in c_4 coal seam of «Samarska» mine of the Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area of the Donbas. Odesa National University Herald. Geography and Geology, 27(2(41)), 190-206. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2\(41\).268761](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2(41).268761)
2. Ishkov V.V., Kozii Ye.S., Chernobuk O.I., Kozar M.A., Dreshpak O.S (2022). About relationship between germanium concentration and the content of toxic elements and total sulfur in the coal seam c_8^H of the Dniprovskia mine. Collection of Research Papers of the National Mining University. No. 71. pp. 145-159 <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.145>
3. Chernobuk O., Ishkov V., Kozii Ye., Kozar M., Dreshpak O. (2023). Relationship features of germanium concentrations with the content of toxic elements and total sulfur in coal seam c_5^B of the «Ternivska» mine. Sci. Papers of DONNTU Series: «The Mining and Geology». No. 1(29). pp. 14-23. [https://doi.org/10.31474/2073-9575-2023-1\(29\)-14-23](https://doi.org/10.31474/2073-9575-2023-1(29)-14-23)
4. Chernobuk O., Ishkov V., Kozii Ye., Kozar M., Pashchenko P., Dreshpak O. (2023). Germanium relationship with ash and "toxic" elements in coal on the example of seam c_5 of the Blahodatna mine field of Western Donbas. Sci. Papers of DONNTU Series: "The Mining and Geology. No. 2(30). pp. 68-79. <https://doi.org/10.31474/2073-9575-2023-2-30-68-79>
5. Chernobuk O.I., Ishkov V.V., Kozii Ye.S., Pashchenko P.S., Kozar M.A., Dreshpak O.S. (2023). Germanium interrelationship with ash and "toxic" elements in coal on the example of seam c_4 of the "Samarska" mine field of Western Donbas. Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics". No. 167, pp. 100-109. <https://doi.org/10.15407/geotm2023.167.100>
6. Chernobuk O., Ishkov V., Kozii Ye., Kozar M., Pashchenko P., Dreshpak O. (2023). Germanium connection with ash content and toxic elements in coal on the example of c_5 seam of the Blagodatna mine field. Collection of Research Papers of the National Mining University. No. 75. pp. 29-43. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/75.029>

Багінська В.Р., магістрант 1 курсу, групи ГГ-28м
Карнович С.О., студентка 3 курсу, групи ГГ-30
Куницька М.С., ст. викладач
Науковий керівник: Криворучко А.О., к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ МЕТОДІВ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ НА ТОЧНІСТЬ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ

Актуальність дослідження впливу різних методів інтерполяції на точність побудови цифрових моделей зумовлена зростаючими вимогами до якості просторового аналізу в геології, гірництві, геоінформаційних системах, екології та інших суміжних галузях. У сучасних умовах точність цифрового моделювання значною мірою визначає обґрунтованість технічних і управлінських рішень, зокрема при прогнозуванні геологічних процесів, розробці родовищ корисних копалин, аналізі ризиків, плануванні будівництва чи оцінці небезпечних геологічних явищ.

Різні методи інтерполяції мають свої особливості, переваги та обмеження, які можуть суттєво впливати на форму й поведінку отриманих моделей залежно від характеру вхідних даних. Тому вибір оптимального методу є критичним чинником для забезпечення достовірності результатів моделювання та підвищення ефективності прийняття рішень у практичній діяльності.

Одним із ключових етапів у процесі кількісної оцінки стійкості схилів і уступів є певна схематизація реального об'єкту дослідження. Це передбачає максимальне наближення створюваної моделі до геомеханічної схеми, яку використовують при розробці математичної моделі. При цьому найбільшою складністю є врахування якісних властивостей ґрунтів, які притаманні масиву схилу, а також інтерпретація геологічної та структурної будови. Ця проблема залишається недостатньо вивченою у вітчизняних дослідженнях, що створює прогалини в теоретичній та практичній базах.

На сьогодні описано три основні підходи до розподілу властивостей ґрунтів та порід у масиві схил:

1. Підхід, прийнятий у практиці проектування. У межах виділених проектних геологічних елементів (ПГЕ) встановлюються проектні характеристики ґрунтів, які задаються як фіксовані значення.

2. Підхід, прийнятий за кордоном. У межах ПГЕ визначаються нормативні характеристики властивостей ґрунтів. Цей метод базується на стандартизованих підходах і враховує певні мінімальні вимоги до надійності.

3. Дискретний підхід до встановлення властивостей ґрунтів. Цей підхід базується на побудові поля розподілу властивостей ґрунтів у масиві на основі фактичних вимірювань. Головною особливістю цього підходу є відхід від суто статистичної обробки даних лабораторних досліджень для створення розрахункової моделі. У його основі лежить ідея врахування неоднорідності геологічних тіл, що дозволяє будувати більш точну геомеханічну модель.

Особливістю дискретного підходу є те, що навіть найменші геологічні утворення є природно неоднорідними. У вітчизняній практиці ця неоднорідність враховується шляхом зменшення середнього значення характеристики. У той час, як у зарубіжній практиці застосовуються середні значення (математичне очікування), а неоднорідність моделюється через ймовірнісні функції розподілу фізико-механічних характеристик порід і ґрунтів.

Недоліком традиційних схем є те, що певному пласту, який виділений в межах геологічного розрізу, присвоюються усереднені статистично оброблені характеристики. Ці характеристики формуються на основі даних, отриманих у різних місцях, що може спричинити значну похибку. Наприклад, якщо пласт буде розкритий в іншій свердловині на відстані від досліджуваного профілю, фізико-механічні властивості можуть залежати від даних, отриманих у цій віддаленій свердловині. При цьому рівень схематизації може значно викривляти реальні дані, що особливо критично для аналізу техногенних порід і ґрунтів на відвалах.

Таким чином, актуальність дослідження полягає у вдосконаленні підходів до схематизації реальних об'єктів і створенні моделей, які враховують неоднорідність ґрунтів. Це дозволить зменшити похибки у відображенні геологічних умов і підвищити точність оцінки стійкості схилів і уступів, особливо у складних умовах техногенних об'єктів.

Для розрахунку стійкості укосів на основі схеми дискретного розподілу різнопланових властивостей ґрунтів значення параметрів задаються таким чином: на геотехнічну модель наносяться координати зразків, відібраних із кожної свердловини. Їх позиція визначається у просторі за абсолютними координатами устя свердловини і глибиною відбору самих зразків. У відповідні точки моделі наносять значення міцнісних характеристик ґрунту, які є основою для подальших розрахунків.

Наступним етапом є побудова так званого поля розподілу параметрів, яке використовується для оцінки стійкості укосів. Це завдання є критично важливим, адже точність створеної моделі значною мірою

залежить від обраного методу інтерполяції. Саме вибір та обґрунтування методу інтерполяції мають вирішальний вплив на результати розрахунків.

У цій роботі досліджується вплив різних методів інтерполяції на точність побудови цифрових моделей геологічного середовища, що має вирішальне значення для оцінки стійкості схилів, моделювання геологічних процесів і прийняття обґрунтованих технічних рішень у сфері геоінженерії. Зокрема, було проаналізовано чотири найпоширеніші методи інтерполяції, які відрізняються підходами до обробки просторових даних, обчислювальною складністю та точністю результатів.

Метод Чага, запропонований Ашоком К. Чагом, ґрунтується на врахуванні впливу порового тиску води, що особливо важливо при моделюванні стабільності укосів у природних і техногенних умовах. Він дозволяє більш точно прогнозувати поведінку ґрунтового масиву при зміні гідрогеологічних параметрів, що робить його цінним інструментом у гідрогеотехнічних дослідженнях.

Метод триангуляції Делоне, розроблений Б.М. Делоне, базується на побудові мережі трикутників, які не мають внутрішніх точок у своїх колах, що дозволяє точно передавати просторову структуру складних геологічних форм. Цей метод забезпечує високу геометричну точність і широко застосовується для побудови топографічних поверхонь та тривимірних моделей геоструктур.

Метод оберненої зваженої відстані (IDW), розроблений Дональдом Шепардом, є одним із найпоширеніших емпіричних методів інтерполяції. Його основна ідея полягає в тому, що чим ближче точка до місця інтерполяції, тим більший вплив вона має на результат. Метод відзначається простотою реалізації та швидкістю обчислень, однак його точність знижується при неоднорідному розташуванні вихідних даних, що може призводити до спотворень у зонах з низькою щільністю вимірювань.

Метод тонких сплайнів (Thin Plate Splines), який виник як аналогія згинання тонкої металевої пластини, дозволяє створювати гладкі, безперервні поверхні, що враховують напруження у вузлових точках. Розроблений Річардом Франке, цей метод забезпечує високу точність навіть при складних рельєфах і нерівномірному розподілі точок, однак вимагає значних обчислювальних ресурсів, що обмежує його застосування в умовах обмеженої потужності обчислювальних систем.

Порівняльний аналіз наведених методів свідчить, що жоден з них не є універсальним — вибір оптимального методу залежить від конкретних умов задачі, таких як щільність вихідних даних, наявність гідрогеологічних факторів, складність топографії та необхідна точність моделювання. Наприклад, при проектуванні гірничих об'єктів або аналізі стійкості укосів доцільно комбінувати методи для досягнення балансу між точністю та ефективністю.

Таким чином, результати інтерполяції відіграють ключову роль у формуванні надійної геоінформаційної основи для інженерних рішень і можуть істотно впливати на безпеку, ефективність та екологічність гірничих і будівельних робіт.

Окрім технічних аспектів, важливо також враховувати практичне значення вибору методу інтерполяції в реальних умовах виробництва. Зокрема, у геоінженерній практиці результати інтерполяції використовуються не лише для оцінки стійкості схилів, а й для визначення оптимального розташування свердловин, прогнозування зон підвищеного тиску води, моделювання розподілу корисних копалин, аналізу забруднення підземних вод та планування заходів з охорони навколишнього середовища.

Застосування інтерполяційних методів також суттєво впливає на прийняття стратегічних рішень під час проектування гірничих робіт, прокладання транспортної інфраструктури, розробки протизсувних заходів та оцінки ризиків техногенного навантаження на довкілля. У цьому контексті методи інтерполяції виконують роль ключового інструменту інтеграції просторових даних різного походження – польових, лабораторних, архівних і супутникових.

Крім того, варто відзначити, що з розвитком сучасних ГІС-технологій і спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, Surfer, ArcGIS, QGIS, RockWorks, Micromine тощо), використання складніших інтерполяційних алгоритмів стає доступним навіть для невеликих геологічних і проєктних організацій. Це сприяє підвищенню якості технічної документації, зменшенню ймовірності помилок у прогнозах, а також дозволяє адаптувати методи під конкретні геологічні, гідрогеологічні та інженерно-геотехнічні умови досліджуваної території.

У результаті, детальний аналіз і правильний вибір методу інтерполяції стає невід'ємною частиною системного підходу до моделювання природних об'єктів і процесів, що дозволяє забезпечити більш точні, обґрунтовані та безпечні рішення у сфері геології, гірництва, будівництва та охорони навколишнього середовища.

Отже, проведені дослідження впливу різних методів інтерполяції на точність побудови цифрових моделей дозволяє зробити висновок, що вибір інтерполяційного підходу має вирішальне значення для якості просторового моделювання. Кожен метод демонструє різний рівень точності залежно від особливостей вихідних даних, щільності точок, геометрії об'єкта та поставлених цілей моделювання. Визначення найбільш придатного методу інтерполяції забезпечує підвищення достовірності результатів, мінімізацію похибок та ефективніше використання геоінформаційних.

ТЕРМОІНЕРЦІЙНІСТЬ БУДИНКІВ У КОНТЕКСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Термоінерційність будівлі – це її здатність протистояти змінам температури в приміщеннях під впливом зовнішніх коливань кліматичних умов. Іншими словами, це здатність огорожувальних конструкцій (стін, перекриття, даху тощо) повільно нагріватися та повільно віддавати тепло. Цей показник є ключовим чинником формування стабільного мікроклімату в приміщенні без значних витрат на опалення або охолодження.

Основу термоінерційності становить теплоємність матеріалів та їхня маса. Чим вища теплоємність і маса конструкцій, тим повільніше вони реагують на зміни температури. Наприклад, масивна кам'яна будівля прогрівається значно повільніше за каркасну, але й довше зберігає тепло в середині.

Термоінерційність відіграє важливу роль у забезпеченні теплового комфорту. Висока інертність дозволяє будівлі зберігати тепло взимку та прохолоду влітку. У таких умовах зменшується потреба в активному опаленні чи кондиціонуванні, що веде до зниження енергоспоживання.

У літній період, коли температура на вулиці коливається протягом доби, будівлі з високою термоінерційністю довше зберігають комфортну температуру всередині приміщень, навіть без кондиціонерів. У зимовий період – навпаки: тепло, що було накопичене вдень, поступово віддається вночі. Такий баланс сприяє зниженню температурних коливань усередині приміщення, що позитивно впливає на здоров'я мешканців та загальне самопочуття.

Фактори, що впливають на ступінь термоінерційності.

1. Матеріали конструкцій. Теплоємність різних матеріалів суттєво відрізняється. Наприклад, бетон, цегла, камінь мають високу теплоємність, на відміну від легких каркасних матеріалів на основі дерева або металу. Тому традиційні кам'яні будинки демонструють вищу інерційність.

2. Товщина огорожувальних конструкцій. Чим масивніша стіна, тим більше тепла вона може накопичити. Це пояснює популярність товстих кам'яних або глинобитних стін у традиційному будівництві.

3. Теплоізоляція. Хоча теплоізоляція сама по собі не збільшує інерційність, вона збільшує опір теплопередачі конструкції і знижує тепловтрати, зберігаючи тепло, і таким чином сприяє покращенню інерційних властивостей будівлі.

4. Вологість матеріалів. Волога підвищує теплоємність матеріалу, але водночас може знижувати теплоізоляційні властивості. Вологі стіни повільніше прогріваються і довше утримують тепло, але втрачають частину енергоефективності через збільшення теплопровідності матеріалів.

У сучасному проєктуванні будинків дедалі частіше враховується термоінерційність як один із факторів енергоощадного будівництва. Наприклад, у пасивних будинках використовуються масивні внутрішні стіни, бетонні плити перекриття, акумуляційні підлоги (теплі підлоги з бетонним шаром) – усе це забезпечує ефективне накопичення і віддачу тепла.

У країнах із різкими добовими перепадами температур (наприклад, у пустельних зонах) будинки будують із матеріалів з високою інертністю, щоб зменшити потребу в охолодженні вдень і обігріві вночі. В українських кліматичних умовах термоінерційність також є важливою властивістю, на яку останнім часом не звертають увагу, особливо в регіонах із холодними зимами.

Будинки з високою термоінерційністю мають наступні переваги: стабільний мікроклімат незалежно від зовнішніх умов; зниження витрат на опалення і кондиціонування; зменшення пікових навантажень на системи теплопостачання; підвищення довговічності будівлі за рахунок рівномірного теплового режиму.

Разом з тим існує ряд недоліків, які потрібно врахувати при проєктуванні будинків: велика маса конструкцій – підвищення витрат на логістику та монтаж; повільне прогрівання в новобудовах або після простою системи опалення; більші витрати на будівництво (через використання масивних матеріалів).

Із розвитком технологій інженери та архітектори намагаються знайти баланс між високою термоінерційністю та енергоефективністю. Застосовуються композитні системи, де поєднуються теплоємні матеріали (наприклад, бетонні ядра або камінні стіни) з ефективними теплоізоляційними шарами, які зменшують втрати енергії. Також зростає популярність комбінованих систем з внутрішнім акумулятором тепла, що дозволяє керувати температурою більш гнучко.

Тому при складанні енергетичного паспорту будівлі слід звертати увагу на термоінерційність будівлі. Особливо це стосується будинків періодичного проживання та будинків, що зводяться в регіонах з різкими перепадами температури.

Бельтек М.І., аспірант
Ган О.В., к.т.н., ст. викл.

Науковий керівник: Фролов О.О., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВСТАНОВЛЕННЯ ВПЛИВУ ТРІЩИНУВАТОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ НА РЕЗУЛЬТАТИ ЙОГО РУЙНУВАННЯ ВИБУХОМ ЦИЛІНДРИЧНОГО ЗАРЯДУ

Зазвичай, скельні гірські масиви є тріщинуватими. Тому закономірно, що, при вибуховій дії на них, вони розвалюються за вже існуючими тріщинами і лише об'єм гірського масиву, який безпосередньо прилягає до заряду, руйнується вибухом. Отже, загальна ефективність дії вибуху залежить як від характеристик вибухової речовини (ВР) і природних фізико-механічних властивостей порід, так і від ступеня тріщинуватості гірського масиву. У зв'язку з цим, до промислового руйнування тріщинуватих скельних масивів вибухом циліндричних зарядів завжди була приділено значна увага вчених, а виявлення закономірностей дроблення тріщинуватих масивів в різних гірничо-геологічних умовах становила важливу науково-технічну задачу, вирішення якої дозволяє підвищити ефективність виконання вибухових робіт на гірничих підприємствах.

Аналіз наукових досліджень з проблем руйнування тріщинуватих гірських масивів показав, що існує декілька підходів щодо врахування тріщинуватості при проєктуванні параметрів буропідричних робіт. Це пов'язано, на нашу думку, з існуванням значної кількості факторів впливу, які потрібно враховувати.

Для встановлення закономірності впливу ступеня тріщинуватості скельного масиву на ефективність його вибухового руйнування, зокрема на максимальний радіус зони вибухового дроблення, було проведено моделювання процесу вибухового руйнування гірських порід вибухом свердловинного заряду у програмному середовищі ANSYS AUTODYN для певних гірничо-технологічних умов.

Врахування тріщинуватості в програмному комплексі можна здійснити через коефіцієнт зниження міцності гірського масиву $K_{сп}$, який потім виразити через модуль тріщинуватості.

Для моделювання обрано гірський масив Пинязевецького родовища гранітів, який руйнується вибуховою речовиною Анемікс 70. Діаметр свердловинного заряду становить 200 мм, загальна довжина модельованої свердловини дорівнює 3,0 м, а довжина заряду – 2,0 м. Відповідно, довжина забивки з піску складає 1,0 м.

Основні характеристики Анеміксу 70: щільність заряджання – 1220 кг/м³; швидкість детонації – 5000 м/с; температура газів вибуху – 2163 °С; теплота вибуху – 3117 кДж/кг; об'єм газів вибуху – 1004 л/кг.

Фізико-механічні характеристики граніту Пинязевецького кар'єру в лабораторному зразку наступні: об'ємна вага породи – 2600 т/м³; швидкість поширення повздовжніх хвиль напружень – 2920 м/с; модуль пружності – $1,7 \cdot 10^{10}$ Па; критичне значення напруження руйнування на стиснення – $1,6 \cdot 10^8$ Па; критичне значення напруження руйнування на розтягнення – $1,6 \cdot 10^7$ Па; критичне значення напруження руйнування на зсув – $3,04 \cdot 10^7$ Па; коефіцієнт Пуассона – 0,19.

В першу чергу, моделювання дії вибуху свердловинного заряду ВР Анеміксу 70 виконано для ідеального гранітного гірського масиву, тобто, коли значення коефіцієнту зниження міцності $K_{сп}$ становить 1,0. Надалі, моделювання здійснено для масивів гірських порід нижчими за міцністю, зі значеннями $K_{сп}=0,9$ і менше, тобто від ідеального за міцністю граніту до максимально структурно ослабленого гірського масиву.

На рис. 1 наведені епюри руйнувань гірських масивів для двох значень коефіцієнтів зниження міцності $K_{сп}$ – максимального і мінімального.

В табл. 1 наведені значення максимального радіусу зони руйнування гірського масиву для різних значень коефіцієнта зниження міцності $K_{сп}$. Як видно, максимальне значення радіусу зони руйнування ідеального гірського масиву ($K_{сп}=1,0$) в 2,15 рази менше, ніж значення найбільш ослабленого масиву ($K_{сп}=0,1$).

Таблиця 1

Максимальні значення радіусів зон руйнування гірського масиву R_{max} залежно від коефіцієнта зниження міцності $K_{сп}$

$K_{сп}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
R_{max} , м	3,91	3,44	3,03	2,70	2,45	2,27	2,12	2,0	1,90	1,82

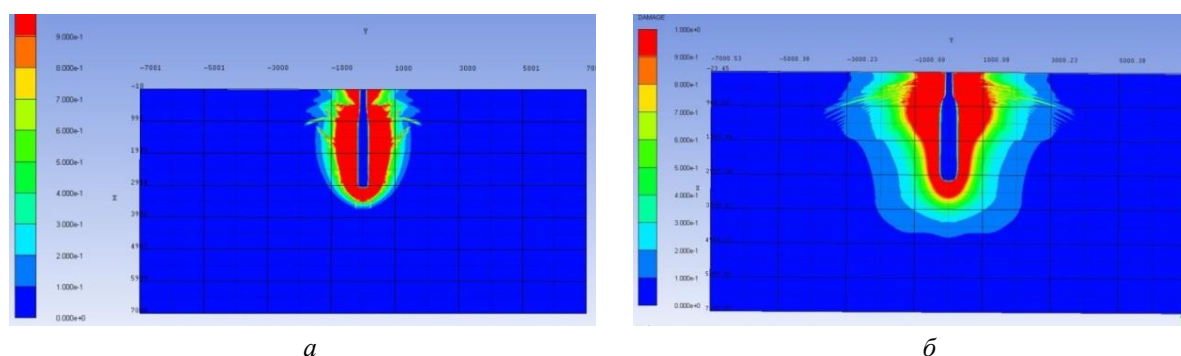


Рис. 1. Епюри руйнувань гірського масиву при коефіцієнтах зниження міцності: а – $K_{сп}=1,0$; б – $K_{сп}=0,1$

Як було зазначено вище, на коефіцієнт зниження міцності $K_{сп}$ гірського масиву безпосередньо впливає тріщинуватість порід. В минулих дослідженнях встановлено, що узагальнююча формула апроксимації має наступний вигляд:

$$K_{сп} = 1 - 0,2021K_T + 0,0203K_T^2 - 0,0007K_T^3, \quad (1)$$

де K_T – модуль тріщинуватості масиву.

Отже, якщо замість $K_{сп}$ використати модуль тріщинуватості, то отримаємо залежність максимального значення радіусу зони руйнування R_{max} від модуля тріщинуватості.

В табл. 2 представлені розрахункові значення цієї залежності, на підставі якої побудована графічна залежність (рис. 2).

Таблиця 2

Значення максимальних радіусів руйнування гірського масиву при різному модулі тріщинуватості

K_T	0	1	2	3	4	5	6	7
$R_{max}, \text{м}^3$	1,82	1,98	2,15	2,34	2,52	2,68	2,81	2,89
K_T	8	9	10	11	12	13	14	15
$R_{max}, \text{м}^3$	2,94	2,97	3,00	3,02	3,07	3,16	3,30	3,55

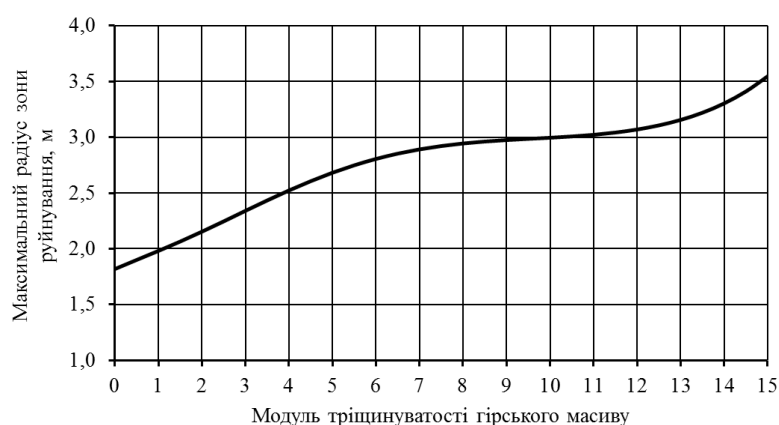


Рис. 2. Графічна залежність максимального радіуса зони руйнування R_{max} від значень модуля тріщинуватості K_T для умов Пинязевицького родовища гранітів

Аналіз даних табл. 2 та рис. 2 свідчить про те, що для монолітного гірського масиву, при вищенаведених технологічних умовах, максимальне значення радіуса зони руйнування становить 1,82 м, а при модулі тріщинуватості $K_T=10$ (масив є сильнотріщинуватим) – $R_{max}=3,0$ м, тобто збільшення відбувається у 1,65 рази. При подальшому збільшенні тріщинуватості інтенсивність руйнувань зростає більш суттєво.

Графічна залежність максимального радіуса зони руйнування R_{max} від значень модуля тріщинуватості K_T для умов Пинязевицького родовища гранітів найбільш достовірно описується аналітичною залежністю

$$R_{max} = 0,0002 K_T^4 - 0,0043 K_T^3 + 0,0234 K_T^2 + 0,1406 K_T + 1,8182. \quad (2)$$

ДОКЛАДНЕ КАРТУВАННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯМ (LIDAR)

Сучасні технології в маркшейдерії, такі як LiDAR, дрони, георадар, фотограмметрія, географічні інформаційні системи (ГІС), роботизовані тахеометри та глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), значно підвищують ефективність та точність виконання геодезичних та маркшейдерських робіт. LiDAR, зокрема, дозволяє створювати точні 3D-моделі місцевості, що є важливим для різних етапів будівництва і досліджень, тоді як дрони забезпечують зйомку важкодоступних територій і створення аерофотознімків. Георадар дає можливість проводити підземні дослідження без необхідності копати землю, а фотограмметрія та ГІС дозволяють інтегрувати дані з різних джерел для створення точних карт і моделей. Роботизовані тахеометри і супутникові системи GNSS забезпечують високоточні вимірювання та координати на великих територіях, що дозволяє значно знижувати витрати часу і ресурсів при виконанні маркшейдерських робіт. Ці інноваційні методи відкривають нові можливості для геодезичних і маркшейдерських досліджень, підвищуючи точність і ефективність робіт.

Актуальність використання LiDAR (Light Detection and Ranging) для виконання маркшейдерських робіт обумовлена високою точністю, швидкістю та ефективністю цього методу у зборі даних. Завдяки здатності LiDAR здійснювати точні вимірювання навіть у складних географічних умовах, таких як густі ліси або важкодоступні райони, він дозволяє створювати детальні 3D-моделі місцевості та об'єктів. Це значно спрощує процес вимірювань, скорочує час на виконання польових робіт і мінімізує людські помилки. LiDAR також дозволяє отримати дані з високою точністю, що особливо важливо при виконанні робіт у геодезії, картографії та маркшейдерії, де навіть незначні похибки можуть мати значний вплив на результати. Завдяки використанню цієї технології, маркшейдери можуть більш ефективно виконувати розрахунки для проектування та аналізу, забезпечуючи вищу точність та надійність геопросторових даних.

LiDAR – це пристрій, який використовує лазерне випромінювання для точного вимірювання відстаней до об'єктів і створення їх тривимірних моделей. Він працює за принципом відбиття лазерного променя від поверхні об'єкта і обчислення часу проходження сигналу. Картування за допомогою LiDAR знаходить широке застосування в гірничій промисловості. Дана технологія дозволяє здійснювати постійний оперативний моніторинг змін у гірничих виробках, актуалізувати топографічні плани, розраховувати об'єми видобутої або залишеної породи, а також здійснювати аудит стану шахт і кар'єрів для підвищення рівня безпеки. Основні принципи роботи лазерного сканування:

Випромінювання в використанні лазерного променя складається з таких основних етапів:

- Лазерний сканер випускає вузький промінь світла у напрямку об'єкта.
- Вимірювання часу або фази.
- Сканер фіксує час, за який промінь досягає об'єкта і повертається назад (метод часу проходження).
- Або вимірює зміну фази відбитого сигналу для визначення відстані (фазовий метод).
- Обертання дзеркал або скануючої головки.
- Для покриття великої площі сканер обертає промінь за допомогою спеціальних дзеркал чи механізмів.
- Фіксація координат.
- Кожна точка сканування отримує координати (X, Y, Z) на основі виміряної відстані, кута випромінювання та положення сканера.
- Створення хмар точок.
- Зібрані дані об'єднуються у хмару точок, яка є базою для подальшого створення 3D-моделей.

Однією з основних переваг лазерного сканування є здатність ефективно працювати на складних і небезпечних ділянках, де доступ людини обмежений або неможливий. Це дозволяє здійснювати вимірювання в умовах, що можуть бути небезпечними для персоналу, таких як обвалені кар'єри, нестабільні скелі або інші зони з підвищеним ризиком. Лазерне сканування також дозволяє точно виявляти навіть найменші зміни в геометрії кар'єру, що є важливим для своєчасного прогнозування можливих зсувів, обвалів або інших небезпек. Це дає змогу приймати превентивні заходи для збереження безпеки на об'єктах, що підвищує ефективність управління ризиками.

Крім того, ця технологія значно економить час порівняно з традиційними геодезичними методами, такими як вимірювання з використанням тахеометрів або рівнів. Лазерне сканування дозволяє отримати точні тривимірні моделі місцевості за набагато коротший час, що значно прискорює процеси планування

та аналізу даних. Одним із важливих аспектів є також висока деталізація, яку забезпечує лазерне сканування. Воно дозволяє отримувати не лише базові дані про поверхню, але й відображати складні деталі, такі як тріщини, розломи чи навіть мікроскопічні пошкодження структури матеріалів.

Завдяки розвитку сучасного програмного забезпечення для обробки та аналізу даних, частина процесів, таких як виявлення тріщин, моніторинг деформацій, а також розрахунок запасів корисних копалин, може бути автоматизована. Це робить лазерне сканування ще більш ефективним інструментом для сучасної гірничої промисловості, де точність, швидкість та безпека є критично важливими для підтримки високих стандартів роботи та збереження людських ресурсів. Застосування лазерного сканування в поєднанні з автоматизованими системами обробки даних забезпечує значну перевагу в порівнянні з традиційними методами, що робить цей метод незамінним для сучасного гірничого виробництва.

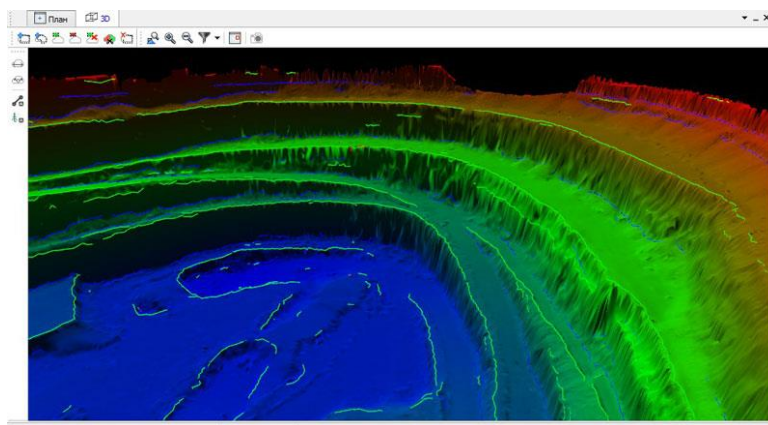


Рис. 1. Розпізнавання бровок уступів кар'єру

На рисунку 1 показана тривимірна модель кар'єру, створена за допомогою лазерного сканування. Візуалізація виконана у вигляді «хмари точок», де різні кольори позначають різну висоту або глибину рельєфу. Сині відтінки вказують на найнижчі ділянки кар'єру, тобто його дно. Зелені кольори відповідають проміжним рівням, а червоні й помаранчеві — найвищим частинам бортів і поверхні навколо виробки. Різкість переходів між кольорами свідчить про круті укоси, особливо помітно це по вертикальним стінам, які різко піднімаються вгору. В деяких місцях поверхня виглядає дещо нерівною — це може бути наслідком природної ерозії або залишків після вибухових робіт. Модель має високий рівень деталізації, що видно по чітким контурам уступів і заглиблень.

Після збору даних для таких великих об'єктів, як кар'єри, їх ще часто переводять у трикутні нерегулярні мережі (TIN-моделі) або растрові сітки, де кожна комірка має середнє значення висоти (на рис. 2).

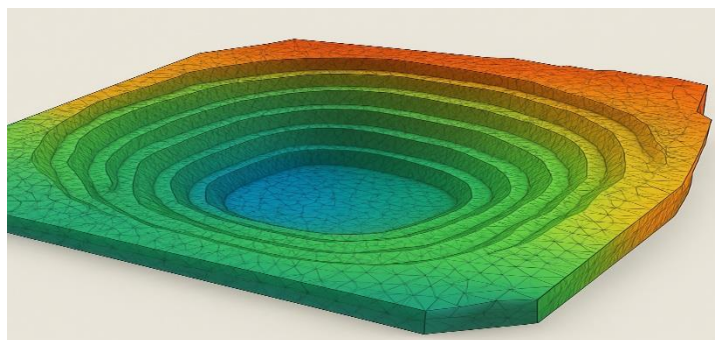


Рис. 2. TIN-модель кар'єру

Отже актуальність застосування технології LiDAR в сучасній геодезії та маркшейдерії обумовлена її здатністю забезпечити високу точність і швидкість збору даних на важкодоступних та небезпечних територіях, де традиційні методи не завжди можуть бути ефективними.

Дзьоба М.В., аспірант
Вилобков Д.А., магістрант I курсу
Науковий керівник: Фролов О.О., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ УКОСУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

Розробка родовищ пухких будівельних корисних копалин відкритим способом характеризується складністю геологічних і гідрогеологічних умов їх видобування. Вони впливають на стійкість укосів уступів та бортів кар'єрів, які, у свою чергу, визначають ефективність та повноту відпрацювання родовища, а також техніко-економічні показники роботи гірничого підприємства. Тому удосконалення технологій та конструктивних рішень щодо забезпечення стійкості укосів гірських масивів на об'єктах гірництва є актуальною інженерно-науковою задачею.

Одним з основних факторів, який призводить до порушення природної стійкості гірського масиву при відкритих розробках, є значні динамічні навантаження як в межах кар'єру, так і ззовні. Для забезпечення тривалої стійкості уступів та бортів кар'єрів і збереження природного стану масиву слід передбачати низку заходів, які передбачають як впровадження у виробництво безпечних технологій видобутку, так і виконання протизсувних робіт у випадку виникнення небезпечних аварійних ситуацій.

Найбільш розповсюдженим способом забезпечення стійкості укосів гірських масивів є механічний спосіб. Він заснований на перерозподілі напружень у масиві гірських порід. Сприймаючи тиск можливої призми зсуву, захисні конструкції та споруди передають його також частково стійкій частині масиву, що знаходиться поза зоною зсуву.

На сьогодні найбільш відомими захисними конструкціями є палі (буронабивні, буроін'єкційні та ін.), анкерні кріплення, підтримуючі стінки, контрфорси, опояски, облицювальні стіни.

Палі вважаються самим надійним засобом зміцнення проблемних ділянок уступів та бортів кар'єру. Діаметр паль становить 200-1000 мм. Залежно від гірничо-геологічних умов, властивостей гірських порід, характеру деформування укосу, характеристик самих паль, вони можуть бути розташовані в один або декілька рядів. При встановленні паль у один ряд на невеликій відстані одна від одної утворюється стінка, аналогічна шпунтовій, а при встановленні в декілька рядів формується аналог підпірної стінки. Основними перевагами палевих захисних споруд є значна несуча здатність, простота зведення і механізація робіт, а також можливість зміцнення ділянок значної довжини та великої потужності.

За геологічними даними розроблюваної ділянки Жидачівського родовища суглинків, максимальна загальна висота борта кар'єру може досягати $H = 21$ м. Основні фізико-механічними характеристики суглинків даного родовища у природному стані, які необхідні для розрахунків, наступні: кут внутрішнього тертя – $\varphi = 18^\circ$; питоме зчеплення суглинку – $c = 29$ кПа; питома вага ґрунту – $\gamma = 19,4$ кН/м³.

Згідно рекомендацій фахівців, природна стійкість борта на досліджуваній ділянці при мінімальних прибортових втратах забезпечується при куті укосу $\alpha = 42^\circ$. Це підтверджується також і при моделюванні в Rocscience Slide. Найменші значення коефіцієнтів стійкості укосу борта для даних умов наступні: за методом аналізу Bishop – 1,069; за Janbu – 1,014; за Spencer – 1,067. Тобто усі зазначені методи показують приблизно однакові результати стійкості укосу, за якими можна зробити висновок, що прибортовий масив в кар'єрі є відносно стійким і в межах досліджуваного блоку небезпечні зони зсуву відсутні.

На рис. 1 наведено поверхні мінімального коефіцієнту стійкості за результатами розрахунку стійкості прибортового масиву методом аналізу Bishop.

Згідно робочого проекту розробки родовища, в східній та південній частині кар'єра вздовж неробочого борта проходить автомобільна дорога. Це, безумовно, викликає додаткове навантаження на прибортовий масив і може стати причиною зсуву гірничої маси на зазначеній ділянці. Максимальне навантаження на поверхню борта кар'єру, яке може діяти від завантажених автосамоскидів, приймаємо $q = 100$ кПа. Результати моделювання стійкості укосу суглинків при такому навантаженні за методом Bishop показують, що коефіцієнт стійкості вже становить $k_c = 0,911$, тобто неробочий борт кар'єру став нестійким і виникає небезпека утворення зсувних явищ.

Для того, щоб забезпечити стійкість укосу досліджуваної ділянки кар'єру в його кінцевому положенні, запропоновано укріпити борт буронабивними палями, які розташовані в один ряд на відстані 1 м одна від одної та об'єднані між собою стрічковим ростверком. Для розрахунку такої захисної споруди приймаємо наступні характеристики палі: діаметр палі – $d = 750$ мм; клас бетону – B15; клас арматури – A400; кількість та діаметр арматури – 8Ø18 мм; товщина захисного шару арматури – $a_s = 50$ мм.

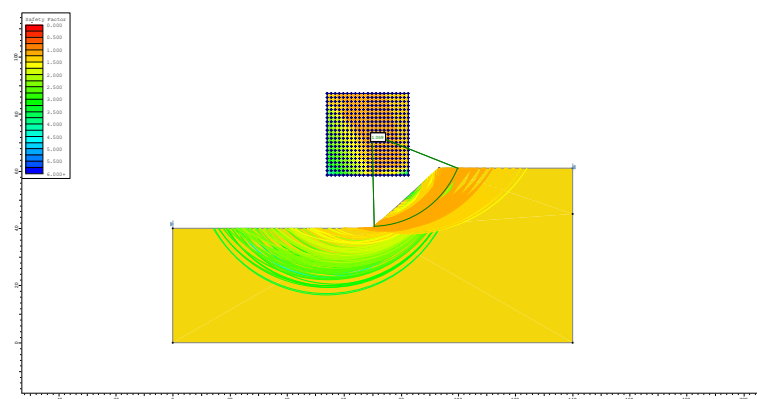


Рис. 1. Поверхні мінімального коефіцієнта стійкості при розрахунку стійкості прибортового масиву суглинків за методом аналізу Bishop

На рис. 2 представлені результати моделювання стану стійкості укосу борта, закріпленого палями. Як ми бачимо, мінімальний коефіцієнт стійкості укосу борта кар'єра для даних умов склав $k_c=1,099$, тобто представлене конструктивне рішення забезпечує відносну стійкість прибортового масиву.

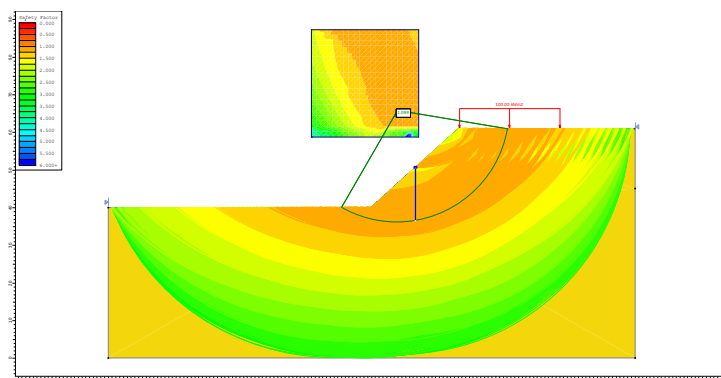


Рис. 2. Результати моделювання стану стійкості навантаженого борта кар'єра, закріпленого одним рядом буронабивних паль

Однак, згідно нормативних вимог, коефіцієнт стійкості повинен становити $k_c \geq 1,2$, тобто зазначена конструкція не забезпечує виконання норм. Тому для даних умов запропонована конструкція з двох рядів паль з відстанню між рядами 4,5 м (рис. 3). Довжину паль 1-го ряду рекомендовано обрати 16 м, довжину паль 2-го ряду – 20 м для забезпечення однакового рівня підшви паль. Дана конструкція отримана шляхом підбору зазначених параметрів з метою забезпечення нормативної стійкості укосу.

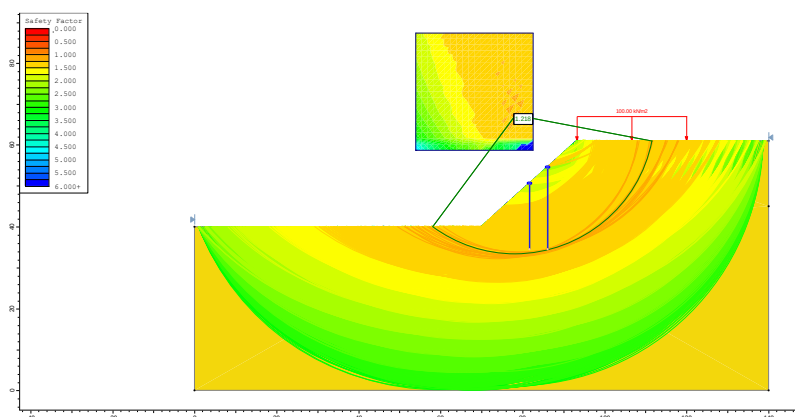


Рис. 3. Стан стійкості прибортового масиву суглинків з прикладеним зовнішнім навантаженням, підсиленого двома рядами буронабивних паль

Як видно з рисунку, коефіцієнт стійкості укосу борта кар'єра з використанням запропонованої підсилюючої конструкції дорівнює $k_c=1,218$, тобто він є більшим, ніж нормативне значення $k_{cn}=1,2$.

ПОРІВНЯННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КРАНА І НАВАНТАЖУВАЧА ПРИ ВИДОБУТКУ БЛОЧНОГО КАМЕНЮ

В Житомирській області налічується понад сто кар'єрів облицювального каменю (граніти, лабрадорити, габро) із загальними запасами близько 148 млн м³ (категорії A+B+C₁), з яких нині експлуатується 83 родовища із запасами 110 млн м³; видобуток здійснюють за 90 спецдозволами на площі близько 660 га. Підприємства регіону, оснащені кранами та фронтальними навантажувачами, задовольняють потреби як внутрішнього ринку, так і експорту до ЄС. Оскільки вантажні операції становлять значну частину технологічного циклу, продуктивність комплексу значною мірою залежить від типу навантажувального обладнання та розмірів оброблюваних блоків. Метою дослідження є виявлення взаємозв'язку між габаритами природного каменю та ефективністю роботи вантажного устаткування за аналогічних умов роботи. [1-3]

Методика відвантаження кам'яних блоків на підприємстві формується в кожному конкретному випадку на підставі технічного рішення головного інженера, який враховує як гірничо-геологічні, так і економічні умови. При цьому здійснюється візуальна оцінка якості, габаритів і об'єму видобутих блоків, після чого обирається найдоцільніша комбінація вантажних засобів.

Відповідно до завдань дослідження експериментальна частина включає такі етапи:

- вивчення організації навантажувальних робіт;
- проведення замірів габаритів блоків із подальшим розрахунком їх об'єму та маси для поділу за категоріями;
- аналіз нормативної тривалості експлуатації навантажувального обладнання відповідних класів;
- розподіл технологічного процесу навантаження на окремі операції з метою визначення тривалості кожної та загального циклу;
- порівняння продуктивності різних видів вантажного устаткування за однакових умов і встановлення впливу розмірів блоків на їх ефективність.

Експериментальна робота поєднувала теоретичний аспект (опрацювання нормативної та технічної інформації, аналіз існуючих закономірностей, огляд реального виробничого процесу) з емпіричним — безпосереднім вимірюванням необхідних параметрів.

Обчислення об'єму блоків та їх маси виконувалися за стандартними математичними методами. Оскільки саме ці показники є ключовими операційними константами при оцінці продуктивності й інших характеристик вантажного устаткування, було вирішено зосередити результуючий формат саме на них — це спрощує сприйняття даних і уніфікує подальший аналіз. Перехід від лінійних вимірів до об'єму виправданий тим, що об'єм найкраще характеризує габарити блоку й дає змогу корелювати його з іншими параметрами.

Дослідження тривалості робочого циклу крану виконувалось шляхом проведення хронометричних вимірів тривалості окремих операцій. До складу цих операцій увійшли наступні: тривалості стропування блоку; тривалості підймання блоку; тривалості повороту крану з вантажем; тривалості опускання блоку (враховуючи затримку на стабілізацію блоку); тривалість зняття строп; тривалості повернення стріли у вихідне положення (до вибою). Отримані в наслідок цього результати дозволили виявити залежності між значенням тривалості робочого циклу та об'ємно-масовим параметром конкретного блоку.

Розрахунок продуктивності крану виконаний як:

$$Q_{\text{кран}}^{\text{п-кат.; п-блок}} = \frac{60 \cdot G_{\text{к}} \cdot K_{\text{в.з.ч.к.}} \cdot K_{\text{к.в.в.к.}} \cdot T_{\text{зм}}}{T_{\text{р.ц.}}}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (1)$$

де $T_{\text{р.ц.}}$ — тривалість робочого циклу крану, хв;

де $M_{\text{б.}}$ — маса відповідного блоку.

Розрахунок продуктивності навантажувача виконувався як:

$$Q_{\text{автонав.}}^{\text{п-кат.; п-кат}} = \frac{60 \cdot G_{\text{а}} \cdot K_{\text{в.з.ч.а.}} \cdot K_{\text{к.в.в.}} \cdot T_{\text{зм}}}{T_{\text{р.ц.}}}, \text{ м. куб./год} \quad (2)$$

де: $T_{\text{р.ц.}}$ — тривалість робочого циклу навантажувача, хв;

Слідуючи описаному вище алгоритму, що використовувався при визначенні тривалості робочого циклу вантажних робіт при застосуванні крану, було проведено таку ж серію вимірювань із аналогічними правилами фіксації для дослідження робочого циклу навантажувача. При цьому, досліджувались такі складові робочого циклу навантажувача як: тривалість встановлення блоку на вила; тривалість підймання

блоку; тривалість руху із вантажем заднім ходом; тривалість руху із вантажем вперед; тривалість опускання вантажу; тривалість руху без вантажу назад; тривалості руху без вантажу (у вибій до початкового положення). [4]

При цьому враховується зміна параметру вантажопідйомності крану в залежності від вильоту його стріли (зміна вильоту регулюється масою блоку, який відвантажуються). За отриманими результатами було побудовано графік залежності тривалості робочого циклу від об'єму блоків (рис.1) та продуктивності навантажувального обладнання від об'єму блоків (рис. 2).

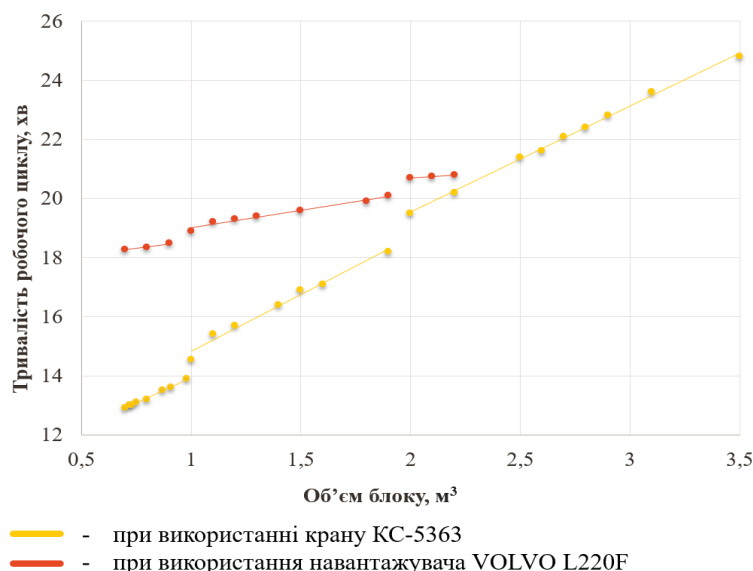


Рис. 1. Графік залежності тривалості робочого циклу від об'єму блоків

За підсумками проведеного дослідження виявлено, що зростання об'ємно-масових характеристик блоків веде до підвищення продуктивності як крана, так і фронтального навантажувача. Середній приріст продуктивності при переході до наступної категорії блоків становить приблизно 25 м³/год. Водночас навантажувач демонструє високу ефективність за всіма категоріями, проте обмежений максимальною вантажопідйомністю (6 т), тоді як кран, здатний піднімати до 10 т, може працювати з блоками III категорії будь-яких розмірів (до 2,2 м³).

Отже, закономірне збільшення продуктивності з ростом масо-габаритних параметрів пояснюється високою працездатністю застосовуваної техніки. Іншими словами, за умов належної організації робіт у вибої та правильної комплектації механізованої ланки, додатковий час, витрачений на допоміжні операції чи мікропроцеси циклу навантаження, неістотно впливає на загальну швидкість робіт. Єдине обмеження в процесі вантаження — це відповідність ваги блоку максимальній вантажопідйомності обладнання, що визначає безпечність та практичність його переміщення під час технологічного циклу

Список використаних джерел:

1. Державна служба геології та надр України. Інвестиційний атлас Житомирської області. geo.gov.ua. URL: <https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/atlas/invest-atlas-zhytomyr-oblast.pdf> (дата звернення: 08.05.2024).
2. Анісімов, О. О., Саїк, П. Б., Черняєв, О. В., Лозинський, В. Г. (2023). Розподіл підприємств нерудної сировини з урахуванням відновлення інфраструктури за регіонами України. Технічна інженерія, (2(92), 207–216. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-2\(92\)-207-216](https://doi.org/10.26642/ten-2023-2(92)-207-216)
3. Шамрай, В. І., Мельник-Шамрай, В. В., Котенко, В. В., Панасюк, А. В., Іськов, С. С. (2023). Тенденції розвитку ринку декоративного камення України. Технічна інженерія, (1(91), 377–384. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-377-384](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-377-384)
4. Котенко, В. В., Піскун, І. А., Ігнатюк, Р. М. (2024). Дослідження міри впливу розмірів блоків природного каменю на ефективність роботи вантажного устаткування за умов ПП «Кванта-ЛЧ». Технічна інженерія, (спецвипуск), 1–24. [https://doi.org/10.26642/ten-2024-1\(93\)-356-362](https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-356-362)

Іськов С.С., к.т.н., доц.
Побігайло Д.П., аспірант, курс 2, група РНД 184-23-2
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРАВОВІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИВІЛЬНИХ БПЛА В УКРАЇНІ

Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сфері геодезії, маркшейдерії та гірничої справи в Україні регламентується низкою нормативно-правових документів, що визначають правила експлуатації повітряного простору, вимоги до безпеки польотів, реєстрації апаратів, а також захисту персональних даних. Вивчення цієї бази є важливим етапом для забезпечення законної та безпечної роботи з БПЛА під час виконання геодезичних та маркшейдерських робіт.

БПЛА – це повітряне судно, що здійснює політ автономно за відповідною програмою або керування польотом якого і контроль за яким здійснюються дистанційно за допомогою пункту дистанційного пілотування, що розташований поза ним. В національному законодавстві для позначення БПЛА використовуються різні визначення, зокрема: «безпілотний літальний апарат (БЛА або БПЛА)», «безпілотне повітряне судно (БПС)», «дистанційно пілотоване повітряне судно (ДППС)».

Ключовими документами, що регулюють польоти цивільних БПЛА в повітряному просторі України, є Повітряний кодекс України (2011) [1], «Положення про використання повітряного простору України» (2017) [2] та АПУ «Правила використання повітряного простору України» (2018) [3]. Так, відповідно до п.8 ст. 38 Повітряного кодексу України, не підлягають реєстрації у Державному реєстрі цивільних повітряних суден України безпілотні повітряні судна, максимальна злітна вага яких не перевищує 20 кілограмів і які використовуються для розваг, в освітньому процесі для здобуття позашкільної освіти, у науковій та спортивній діяльності [1]. Тобто для використання БПЛА для комерційної діяльності потрібно отримати дозвіл на використання повітряного простору в Державній авіаційній службі України (Державіаслужбі) або в Генеральному штабі Збройних Сил чи військової адміністрації відповідного населеного пункту.

Відповідно до п. 4 розділу II Правил використання повітряного простору України, польоти БПЛА масою до 20 кг включно виконуються без подання заявок та отримання дозволів на використання повітряного простору і без інформування органів управління Повітряних Сил ЗСУ та органів об'єднаної цивільно-військової системи організації повітряного руху України, органів Державної прикордонної служби України, органів обслуговування повітряного руху та відомчих органів управління повітряним рухом, за умов дотримання ряду вимог, зокрема на території України за встановленими межами заборонених зон (до яких відносяться межі населених пунктів, аеродроми, стратегічні об'єкти тощо) в межах прямої видимості при швидкості польоту не більше 160 км/год та максимальній висоті польоту не вище 120 м над рівнем земної (водної) поверхні [3]. Наприклад, польоти повинні виконуватися не ближче 5 км від зовнішніх меж злітно-посадкових смуг аеродромів, не ближче 3 км від зовнішніх меж злітно-посадкової смуги, не ближче 500 м від пілотованих повітряних суден тощо. При недотриманні цих вимог польоти БПЛА можуть здійснюватися лише у межах спеціально встановлених зон та маршрутів після подання заявок на використання повітряного простору, отримання дозволу та умов його використання.

Також в Україні діє «Тимчасовий порядок використання повітряного простору України» (2018) [4], який встановлює тимчасові вимоги щодо організації та порядку використання повітряного простору України всіма користувачами. Відповідно до п.4 розділу II Тимчасового порядку, можна використовувати БПЛА масою до 2 кг без подання заявок та отримання дозволів на використання повітряного простору, а також без інформування наведених вище органів за умов проведення польотів на території України поза межами встановлених заборон та обмежень використання повітряного простору лише вдень за умов візуальної видимості БПЛА на висоті не вище 50 м над рівнем земної (водної) поверхні, а швидкість польоту БПЛА складає не більше 160 км/год. Також забороняється виконувати польоти над дорогами державного значення, центральними вулицями міст, селищ міського типу та сіл, залізницями дорогами державного та регіонального значення (однак перетин їх дозволено), над та вздовж ліній електропередачі, промисловими зонами, електростанціями, залізничними станціями, морськими портами, сховищами пального, нафти, газу, стратегічними об'єктами тощо [4].

Як бачимо, хоча і «Правила використання повітряного простору України» і «Тимчасовий порядок використання повітряного простору України» є чинними та затверджені тим самим органом (Державіаслужбою) майже одночасно (11.05.2018 та 31.05.2018 відповідно), однак вони суперечать одне одному і щодо мінімальної маси і щодо максимальної висоти польоту БПЛА, для використання якого не потрібно отримувати дозволу. В мирний час керуються саме Правилами.

З 24 лютого 2022 року в зв'язку з введенням в Україні режиму воєнного стану повітряний простір України закрито для цивільних користувачів повітряного простору, зокрема і для БПЛА. Рішення щодо можливості використання повітряного простору БПЛА в конкретній області ухвалює Генеральний штаб

Збройних Сил України [5]. В цілому по Україні порядок отримання дозволів не стандартизований і може відрізнятися в різних регіонах, тому його варто уточнити у місцевій обласній чи міській військовій адміністрації. А згідно з вимогами Служби безпеки України, проведення будь-яких робіт з використанням БПЛА можливе лише за умови попереднього погодження з відповідним територіальним управлінням СБУ. Для аграріїв Міністерство аграрної політики та продовольства України розробило окрему Пам'ятку, у якій коротко визначило порядок запуску БПЛА у сільському господарстві, однак в даний час дана Пам'ятка не доступна.

Відповідно до листа Департаменту з питань оборонної роботи, цивільного захисту та взаємодії з правоохоронними органами від 01.09.2023 р. № 04.2-01-2125 для використання дронів необхідно отримати дозвіл в Генеральному штабі ЗСУ. Після отриманого дозволу не пізніше, ніж за три доби погодити проведення робіт із місцевою військовою адміністрацією, поліцією та Службою безпеки України.

Державною Авіаційною службою України була розроблена карта «Зони заборон і обмежень використання повітряного простору» [7], де відображалися зони, заборонені для польотів дронів. Однак після повномасштабного вторгнення військ російської федерації вона не оновлюється.

Перелік порушень порядку використання повітряного простору України наведено у п. 46 «Положення про використання повітряного простору України». За порушення, пов'язані з використанням БПЛА, може бути накладена відповідальність: на юридичних осіб за ст. 127 Повітряного кодексу України, а на фізичних осіб – за ст. 111 «Порушення правил безпеки польотів» Кодексу України про адміністративні порушення. Штраф за політ на БПЛА без дозволу може становити від 1020 до 8500 грн для громадян і від 85000 до 136000 грн для підприємств. Також може бути накладена кримінальна відповідальність за ст. 281 «Порушення правил повітряних польотів» та ст. 282 «Порушення правил використання повітряного простору» Кримінального кодексу України [5, 6].

У період воєнного стану будь-яке використання цивільного БПЛА без відповідного дозволу може кваліфікуватися як диверсія чи шпигунство на користь ворога. Варто також нагадати про кримінальну відповідальність за фото і відеозйомку з БПЛА військових об'єктів, місць розташування військових та їх пересування. Наприклад, за виявлені у картці пам'яті військові об'єкти або позиції ЗСУ загрожує позбавлення волі на строк від 3 до 5 років. А за отриману та поширену за допомогою БПЛА інформацію про позиції військових загрожує позбавлення волі на строк від 5 до 8 років [6].

Висновок. Питання використання цивільних дронів для виробничих цілей (у геодезії, будівництві, гірничій справі) у воєнний час потребує подальшого законодавчого регулювання, зокрема потрібен чіткий порядок подання заявки на використання повітряного простору дронами та отримання дозволу на використання повітряного простору. Крім того, необхідне розв'язання і суперечливих питань щодо використання БПЛА у мирний час.

Список використаних джерел:

1. Повітряний кодекс України від 19 травня 2011 року № 3393-VI. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text>
2. Положення про використання повітряного простору України, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 6 грудня 2017 р. № 954. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/954-2017-%D0%BF#Text>
3. Авіаційні правила України «Правила використання повітряного простору України», затверджені Наказом Державної авіаційної служби України Міністерства оборони України від 11 травня 2018 року № 430/210. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-18#Text>
4. Тимчасовий порядок використання повітряного простору України, затверджений Державною авіаційною службою України 31.05.2018 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/n0001763-18#Text>
5. Порядок використання цивільних повітряних дронів (безпілотників) . Режим доступу: [https://legalaid.wiki/index.php/Порядок_використання_цивільних_повітряних_дронів_\(безпілотників\)](https://legalaid.wiki/index.php/Порядок_використання_цивільних_повітряних_дронів_(безпілотників))
6. Закон про польоти на дронах в Україні. Режим доступу: <https://dron-shop.com.ua/news/zakon-pro-poloti-dronom>
7. Зони заборон і обмежень використання повітряного простору. Режим доступу: https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1kf71CFn69yx_ROwwFjI402o7lMQqKexl&hl=en&ll=47.81679542830922%2C35.99370295923912&z=6

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ГІРНИЧО-КАПІТАЛЬНИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ І ШАХТАХ

Гірничо-капітальні роботи – це комплекс робіт, пов'язаних зі створенням базової гірничодобувної інфраструктури для забезпечення доступу до корисних копалин та організації гірничих робіт. Це гірничі роботи, які забезпечують діяльність гірничодобувного підприємства на весь період експлуатації родовища. До гірничо-капітальних робіт звичайно відносяться:

1. Гірничо-капітальні роботи, які виконуються до введення підприємства в експлуатацію, в т.ч.:
 - осушування і дренаж родовища або його частини;
 - розкриття родовища, зокрема проведення розкриваючих виробок:
 - на шахтах при проведенні вертикальних стволів для розкриття окремих горизонтів, вентиляції, спуску персоналу та транспортування корисних копалин, будівництво горизонтальних та похилих розкриваючих гірничих виробок, армування гірничих виробок для забезпечення безпеки робіт, монтаж гірничодобувного обладнання – підйомного обладнання, вентиляційних систем, дренажу тощо;
 - на кар'єрах – проведення капітальних, з'єднувальних і розрізних траншей, ковзних і стаціонарних з'їздів, транспортних бERM, а також за потреби розкриваючих підземних виробок (стволів, штолень, тунелів, рудоспусків і рудоскатів);
 - виймання розкриву і попутно добытих корисних копалин для створення готових до виймання запасів тощо;
2. Гірничо-капітальні роботи, які виконуються після введення підприємства в експлуатацію до досягнення ним повної проектної потужності, зокрема:
 - у шахтах – роботи з будівництва нових шахтних стволів або розкриття нових горизонтів;
 - на кар'єрах – проведення капітальних траншей за межами контурів кар'єру і постійних з'їздів всередині кар'єру.

Введення гірничодобувного підприємства в експлуатацію відбувається після завершення будівництва запланованого пускового комплексу будівель і споруд та виконання гірничо-капітальних робіт, які дозволяють розпочати і планомірно нарощувати потужність підприємства по корисним копалинам. Наприклад, на шахтах виконуються:

1. Підготовчі роботи – геологічні дослідження, топографічна зйомка, проектування.
2. Основні роботи – буріння, вибухові роботи, видалення породи та закріплення виробок.
3. Оздобовальні роботи – монтаж обладнання, електрифікація та встановлення вентиляційних, дренажних та підйомних систем.
4. Пусконаладжувальні роботи – випробування та приймання підприємства в експлуатацію.

Гірничо-капітальні проекти є дуже витратними, як у фінансовому плані, так і в часі. Їх організація вимагає геологічної розвідки, ретельного планування та проектування. Процеси, пов'язані з виробками, відбуваються у складних гірничодобувних та геологічних умовах: змінна міцність гірських порід, гідрогеологічні небезпеки (приплив ґрунтових вод) та ризик газодинамічних явищ. У сучасній практиці активно використовуються буровибухові роботи, комбайни та механізовані комплекси, що підвищує швидкість проходки та безпеку робіт. У багатьох країнах активно впроваджуються інноваційні технології автоматизації буріння, дистанційного керування машинами та використання цифрового моделювання родовища, що значно знижує ризики та витрати на гірничодобувні та інвестиційні роботи. Якість та швидкість гірничодобувних та інвестиційних робіт безпосередньо впливають на ефективність подальшої розробки родовища. Оптимізація цих процесів скорочує терміни введення підприємства у промислову експлуатацію, знижує витрати та підвищує безпеку праці.

Висновок. Гірничо-капітальні роботи – це стратегічний крок у розвитку будь-якої гірничодобувної компанії, який однак вимагає значних інвестицій та ретельного планування та організації. Сучасні технології та комплексний підхід до проектування та виконання дозволяють нам ефективніше вирішувати складні технічні проблеми та забезпечувати сталий розвиток гірничодобувної промисловості. Основне завдання гірничих капітальних робіт — забезпечення швидкого і надійного доступу до корисних копалин, створення транспортних, вентиляційних, дренажних та інших комунікаційних систем, а також підготовка шахти чи кар'єру до сталої та безпечної експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Brady, B.H.G., Brown, E.T. Rock Mechanics for Underground Mining. Springer, 2006.
2. Hartman, H.L., Mutmansky, J.M. Introductory Mining Engineering. John Wiley & Sons, 2002.
3. SME Mining Engineering Handbook, 3rd Edition, edited by Peter Darling. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2011.

Криворучко А.О., к.т.н., доц.

Іськов С.С., к.т.н., доц.

Криворучко М.А., магістрант групи РР-49м

Державний університет «Житомирська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РАДІАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ЗА ПОРОДАМИ В КАР'ЄРІ ТА ГОТОВОЮ ПРОДУКЦІЄЮ НА ВІЛЬШАНСЬКОМУ РОДОВИЩІ ГРАНІТУ

Радіаційний контроль на гірничих підприємствах, зокрема тих, що займаються видобутком і переробкою природного каменю (граніту, габро тощо), є надзвичайно важливою складовою системи промислової безпеки. Ці породи можуть містити природні радіонукліди, такі як уран-238, торій-232, калій-40, які створюють потенційне радіаційне навантаження на персонал, населення та кінцевого споживача. Актуальність радіаційного контролю полягає, насамперед, у необхідності дотримання вимог чинного законодавства України, зокрема норм радіаційної безпеки (НРБУ-97, ДСП 6.6.1.1-130-2006). Регулярний моніторинг забезпечує захист працівників від хронічного опромінення, дозволяє контролювати якість продукції, яка використовується в будівництві, та запобігає її потраплянню на ринок у разі перевищення допустимих радіаційних норм. Окрім того, радіаційний контроль сприяє захисту навколишнього природного середовища, оскільки дозволяє своєчасно виявити і локалізувати можливі джерела забруднення, пов'язані з видобутком і транспортуванням сировини. Запровадження системного контролю також підвищує репутацію підприємства, демонструючи його відповідальність перед суспільством, контролюючими органами та споживачами. У сукупності ці чинники доводять, що радіаційний контроль є не лише нормативною вимогою, а й необхідною умовою сталого, безпечного та екологічно відповідального функціонування підприємства.

В Україні, як і в багатьох інших країнах, діє законодавча база, що встановлює норми допустимого рівня радіації на робочих місцях. Порушення цих норм може призвести до серйозних юридичних наслідків для гірничих підприємств, включаючи штрафні санкції, судові позови та інші адміністративні заходи. Компанії, які впроваджують ефективну систему радіаційного моніторингу, зберігають довіру громадськості, інвесторів та контролюючих органів, що сприяє зміцненню їх ділової репутації. Водночас інциденти, пов'язані з радіаційним забрудненням, можуть мати серйозні фінансові наслідки, зокрема витрати на ліквідацію наслідків забруднення, компенсаційні виплати працівникам, а також збитки, пов'язані з простоем виробництва.

Щорічний радіаційний контроль за породами в кар'єрі та готовою продукцією на Вільшанському родовищі граніту є надзвичайно важливою складовою системи промислової та екологічної безпеки. Граніти, як породи магматичного походження, можуть містити природні радіонукліди (зокрема уран, торій та калій-40), концентрації яких суттєво варіюються залежно від петрографічного складу, тектонічних умов формування родовища та ступеня зональності масиву.

Враховуючи, що граніт Вільшанського родовища активно використовується у будівництві контроль за радіаційними характеристиками матеріалу набуває особливої ваги. Перевищення гранично допустимих рівнів природної радіоактивності може створити ризики для здоров'я людей у процесі видобування, переробки та експлуатації матеріалів, а також порушити екологічну рівновагу в районі кар'єру.

Об'єкт дослідження – джерела радіаційного випромінювання на кар'єрі.

Мета роботи – отримання інформації про рівні опромінення людей, радіаційну обстановку на об'єктах та у навколишньому середовищі.

Методи дослідження – пішохідна пошукова гамма-зйомка за допомогою портативного багатофункціонального гамма-спектрометра МКС-АТ6101Д.

Площа розробки Вільшанського (Підгороднянського) родовища граніту обстежена пішохідною пошуковою гамма-зйомкою, вимірювання ПЕД гамма-випромінювання та визначення радіонуклідного складу проводилось в 332 контрольних точках.

Зроблений відбір представницьких радіологічних проб корисної копалини в точках №№ 88,209,284,313 та 324.

Результати вимірювання ПЕД гамма-випромінювання представлено в таблиці 1.

Значення потужності еквівалентної дози зовнішнього гамма-випромінювання на території в контрольних точках в межах від 0,087 до $0,297 \pm 0,06$ мкЗв/г, середнє значення становить $0,198 \pm 0,04$ мкЗв/г. Граніт, як сировина відноситься до порід з високою дозою гамма-випромінювання.

Для здійснення оцінки природної радіоактивності порід на родовищах необхідно:

- виявити можливі радіаційні аномалії на ділянці родовища;
- визначити потужності дози гамма-випромінювання;
- встановити величини сумарної питомої активності природних радіонуклідів.

Таблиця 1

Результати вимірювання ПЕД гамма-випромінювання

Кількість точок виміру породи в кар'єрі ПЕД ГВ	Мінімальне значення ПЕД ГВ (мкЗв/г)	Максимальне значення ПЕД ГВ (мкЗв/г)	Середнє значення ПЕД ГВ (мкЗв/г)
332	0,087 ± 0,017	0,297 ± 0,06	0,198 ± 0,04

На основі зібраної інформації визначається площа розповсюдження порід з низькою гамма-активністю, що не перевищує верхньої межі першого класу (до 370 Бк/кг).

В межах розповсюдження порід з підвищеним вмістом радіонуклідів, ці породи мають першочергове значення для визначення подальшого напрямку робіт, вибору ділянок і можливих напрямів використання будівельної сировини в народному господарстві.

У випадках коли район робіт складають породи 2 і 3 класів за рівнем радіоактивності, а також 1 класу з сумарною активністю радіонуклідів > 200 Бк/кг або високою ймовірністю виявлення окремих ділянок порід підвищеної радіоактивності, оцінка природної радіоактивності корисних копалин проводиться більш детально шляхом ущільнення сітки вимірів з безперервним автоматичним записом потужності гамма-випромінювання. Щільність розвідувальних перетинів у цих випадках визначається надійністю вивчення розподілу природної радіоактивності в розвіданих запасах корисних копалин.

За результатами проведених досліджень визначається група, до якої відноситься родовище за ступенем радіоактивності гірських порід, закономірностям і характером її розподілу в гірничій масі корисної копалини.

З основних різновидів порід кожного класу вимірюється достатня кількість точок (вимірів), яка визначається системою розробки родовища, номенклатурою продукції, неоднорідністю розподілу радіонуклідів у сировині.

По результатам вимірювань, виділяються інтервали і площі розвитку кожного різновиду порід за класом радіоактивності, якщо передбачається їх селективний видобуток.

На стадії розвідувальних робіт визначається також радіоактивність товарної продукції роздільно по фракціях і відходах переробки та можлива область їх використання у будівництві.

На родовищах III групи проводяться дослідження, аналогічні II групі. Однак при виділенні слабоактивних порід, їх відносять до другого класу і визначають доцільність їх селективної виїмки.

Результати визначення радіонуклідного складу для Вільшанського (Підгороднянського) родовища граніту наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати визначення питомої активності (ПА) радіонуклідів

	Активність радіонуклідів Бк/кг			Ефективна питома активність ($A_{\text{эф}}$) ПРН, Бк/кг
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
Середнє	55,2	136,4	1606	370,4
Мінімальне	20,0	31,9	1000	277,8
Максимальне	91,0	244,0	2001	537,2

Обсяг досліджень спирається на нормативні вимоги (НРБУ-97) і достатній для оцінки даної ситуації. Досліджені параметри радіаційного стану породи в кар'єрі не перевищують гігієнічні нормативи.

Згідно класифікації мінеральної сировини породи родовища віднесені до 2 класу будівельних матеріалів (до 740 Бк/кг), можуть бути використані для дорожнього і промислового будівництва в межах населених пунктів і зон перспективної забудови (згідно з НРБУ-97).

Висновки. Щорічний радіаційний контроль за породами та продукцією на Вільшанському родовищі граніту є критично важливим заходом, що забезпечує дотримання норм радіаційної безпеки, мінімізує потенційні ризики для здоров'я працівників і кінцевих споживачів, а також сприяє екологічній стабільності в зоні гірничих робіт. Регулярний моніторинг дозволяє оперативно виявляти відхилення від допустимих значень, своєчасно впроваджувати заходи реагування, підвищує відповідальність підприємства перед громадськістю та контролюючими органами й гарантує якість і безпечність продукції при її використанні в будівництві та інших галузях.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ГЕОМЕТРИЗАЦІЇ РОДОВИЩ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС

Процеси геометризації родовищ із застосуванням цифрових моделей з використанням ГІС включають комплекс методологічних підходів та інноваційних технологічних рішень. Ці підходи застосовуються для розв'язання широкого діапазону практичних і теоретичних задач у сферах геологічного аналізу, маркшейдерського супроводу та стратегічного управління гірничодобувними комплексами.

Просторове моделювання геометризації в галузі гірничодобувної промисловості інтегрує комплексну методологію та інноваційні технології, що застосовуються для вирішення багатоаспектних задач геологічного картування, маркшейдерського забезпечення та стратегічного управління мінерально-сировинними активами.

Зазначений підхід передбачає імплементацію багатопараметричних математичних алгоритмів для квантифікації геологічних характеристик, створення стереометричних цифрових моделей мінеральних покладів, розробку автоматизованих систем геоінформаційного моніторингу та обробки просторово-координованих даних, а також консолідацію гетерогенних інформаційних потоків з метою оптимізації процесів планування та операційного менеджменту видобувних робіт.

Методологічним фундаментом цього підходу є конструювання алгоритмічних і обчислювальних моделей, які з високою точністю відтворюють структурно-тектонічні особливості, літологічний склад родовищ та операційні стадії виробничого циклу видобутку корисних копалин.

Застосування геоінформаційних систем (ГІС) як інтегральної платформи для цифрової геометризації родовищ дозволяє:

- здійснювати високоточне прогнозування динаміки просторово-якісних характеристик геологічного середовища;
- створювати цифрові;

Моделювання в контексті геометризації представляє собою інтегрований технологічний інструментарій, що застосовується для систематизованого збору, багатофакторного аналізу та просторової візуалізації геоданих з метою раціоналізації експлуатаційних процесів і обґрунтування оптимальних управлінських стратегій та становить процес формування математичних моделей родовищ корисних копалин та інфраструктурних компонентів підприємства з використанням сучасних інформаційних технологій. Цей підхід охоплює широкий діапазон функціональних задач: від геологічного моделювання та геопросторового аналізу до розробки оптимізованих планів видобутку та прогнозування експлуатаційної ефективності.

Методологічним фундаментом даного підходу виступає конструювання алгоритмічних і обчислювальних моделей, які з високою точністю відтворюють структурно-тектонічні особливості, літологічний склад родовищ та операційні стадії виробничого циклу мінеральної екстракції.

Інноваційне цифрове моделювання інтегрує застосування багатовимірних засобів стереометричної візуалізації, геоінформаційних комплексів, систем автоматизованого інженерного проектування та предиктивних математичних алгоритмів. У гірничодобувному секторі імплементація цифрових моделей забезпечує мінімізацію матеріальних витрат на геологорозвідувальні роботи, оптимізацію проектування кар'єрних виїмок, максимізацію продуктивності та дотримання екологічних нормативів. Зазначені технології сприяють ефективному управлінню буровибуховими операціями, верифікації геомеханічної стабільності бортів кар'єрів та прогностичній ідентифікації потенційних ризиків.

Цифрова геометризація у гірничій галузі становить процес формування математичних моделей родовищ корисних копалин та інфраструктурних компонентів підприємства з використанням прогресивних інформаційних технологій, охоплюючи широкий діапазон функціональних задач: від геологічного моделювання та геопросторового аналізу до розробки оптимізованих планів екстракції та прогнозування експлуатаційної ефективності. Спеціалізовані програмні комплекси, такі як «Surpac», «Micromin» та «Datamine», забезпечують мультишарову візуалізацію складних геологічних структур, детермінацію контурів мінеральних покладів та симуляцію технологічних процесів.

Порівняльна таблиця програмного забезпечення для цифрового моделювання родовищ (табл.1.) демонструє різну спеціалізацію та функціональні переваги кожного комплексу. Surpac вирізняється зручністю використання та інтеграцією з CAD-системами, що робить його придатним для широкого кола користувачів. Micromine має потужні аналітичні інструменти, що забезпечують глибокий аналіз геоданих, особливо при обробці результатів буріння. Datamine підходить для моделювання складних геологічних структур та створення виробничих планів.

Таблиця 1

Порівняння функціоналу програм для цифрового моделювання родовищ

ПЗ	Основні функції	Особливості
Surpac	Геостатистика, 3D моделювання, блокові моделі	Інтеграція з CAD
Micromine	Аналіз даних буріння, геологічне та інженерне моделювання	Потужна аналітика, гнучка система звітів
Datamine	Геостатистичне моделювання, планування видобутку	Придатний для складних родовищ

Методологічною основою цифрового моделювання є імплементація значного масиву геологічних, геодезичних та інженерно-технічних даних для конструювання високоточних моделей, що забезпечують оптимізацію виробничих процесів. У гірничій справі такі моделі реалізують комплексну інтеграцію топографічних особливостей, структурної організації мінеральних покладів та виробничо-експлуатаційних планів, що сприяє редукції фінансових витрат, мінімізації операційних ризиків і підвищенню рівня екологічної безпеки.

Інтеграція ГІС-технологій у процеси геометризації родовищ створює основу для вдосконалення багатовимірного просторового аналізу з одночасною перевіркою достовірності геологічних даних. Це суттєво підвищує надійність стратегічних рішень щодо розробки мінеральних покладів та оптимізації техніко-економічних показників гірничих підприємств в умовах динамічної зміни зовнішніх факторів і ресурсних обмежень.



Рис. 1. Графік впливу впровадження цифрових технологій

Таким чином, графік наочно ілюструє, що впровадження цифрових технологій у гірничодобувну галузь не лише підвищує продуктивність, а й істотно знижує витрати й ризики, покращуючи екологічну ситуацію. Це підкреслює стратегічну важливість цифровізації для сталого розвитку підприємств надрокористування.

Отже, процеси геометризації родовищ із застосуванням цифрових моделей з використанням ГІС представляють собою комплексний підхід, застосування геоінформаційних систем дозволяє здійснювати прогнозування динаміки просторово-якісних характеристик геологічного середовища та створювати багатофункціональні цифрові моделі.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою нових алгоритмів прогнозування геологічних структур на основі обмеженої кількості даних та інтеграцією методів машинного навчання для автоматизованого аналізу геопросторової інформації, що дозволить підвищити точність моделювання та ефективність управління гірничодобувними процесами.

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИДОБУТКУ ТОРФУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Торф є важливою природною сировиною, що використовується в енергетиці, агропромисловому комплексі, медицині та садівництві. В Україні на сьогодні зберігається значний потенціал торфовищ, особливо на території Полісся. Однак зношеність обладнання, застарілі технології та екологічні виклики вимагають модернізації процесів торфовидобування.

Сучасна практика передбачає декілька основних технологічних способів видобутку торфу, серед яких найбільш поширеним є фрезерний. Цей спосіб полягає у зніманні тонких шарів торфу спеціальними фрезами з подальшим природним висушуванням і збиранням сировини. Його основні переваги – висока продуктивність, механізація процесу та менша трудомісткість. Проте значним недоліком залишається залежність від погодних умов, особливо під час сушіння, що спричиняє втрати дрібнодисперсної фракції та потребує великих площ для сушки.

Гідравлічний спосіб, хоч і менш поширений, дає можливість ефективно розробляти водонасичені та важкодоступні ділянки родовищ. Ця технологія передбачає розмивання торфу водою з подальшим транспортуванням пульпи пульпопроводами. Перевагами є незалежність від погодних умов та можливість обробки значної площі, проте застосування потребує значних водних ресурсів, має складності з зневодненням пульпи і супроводжується високими енерговитратами.

Існує також брикетний спосіб, що застосовується здебільшого для видобутку торфу, призначеного для енергетичних потреб, і передбачає часткову переробку безпосередньо в зоні добування.

Для реалізації зазначених способів використовують широкий спектр спеціалізованого обладнання. Фрези торфознімальні типу ФТ-2 чи ФТ-3 забезпечують знімання шару торфу товщиною до 15 мм з можливістю регулювання основних параметрів обробки. Після висушування сировину збирають за допомогою торфозбиральників, серед яких найбільш поширені моделі ТЗП-0.8 та ТЗ-1,6. Вони часто оснащуються додатковими пристроями для ворошіння, збирання і формування буртів. У складніших умовах, зокрема при вологому ґрунті, застосовують пневмотранспортні системи, що забезпечують безперервну подачу торфу до складів або місць первинної переробки. Для гідравлічного способу характерне застосування гідромоніторів, насосів та пульпопроводів, які формують єдиний технологічний комплекс для розмивання та транспортування гідросуміші. Потужність обладнання обирається залежно від типу родовища, глибини залягання, щільності сировини та транспортних відстаней.

В сучасних умовах особливої актуальності набуває автоматизація та цифровізація торфозбирального обладнання. Використання GPS-навігації, сенсорів контролю вологості, температури та рівня насичення дає змогу підвищити точність та ефективність операцій. Також перспективним є впровадження мобільних модульних установок для первинної переробки торфу безпосередньо на місці видобутку, що дозволяє знизити втрати сировини та витрати на транспортування. Ремонт і модернізація зношеного обладнання за допомогою технологій 3D-друку металевих деталей відкриває нові можливості для зниження залежності від імпорту. Окрему увагу слід приділити екологічним аспектам. Відпрацьовані торфовища підлягають обов'язковій рекультивації, яка може передбачати створення штучних водойм, повторне заболочування або використання ділянок під сільськогосподарські угіддя. Досвід країн Європейського Союзу свідчить про ефективність поєднання видобутку торфу з паралельною оцінкою та збереженням екосистемних послуг.

Отже, удосконалення технологій видобутку та модернізація обладнання є запорукою ефективного й екологічно безпечного розвитку торфової галузі. Інтеграція сучасних технічних рішень дозволить підвищити продуктивність, мінімізувати втрати сировини та забезпечити раціональне використання природних ресурсів.

Список використаних джерел:

1. Рудика С. М., Кучерук М. О. Аналіз технології видобутку та переробки торфу на підприємствах Рівненської області (2022) // Студентський вісник НУВГП. – 2022. – 1(17). – С. 126–128.
2. Moshynskiy V. S., Kucheruk M. O., Podolanchuk D. L. Analysis of excavator and piece methods of peat extraction // Тези V Міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційний розвиток ресурсозберігаючих технологій та раціональне користування природними ресурсами». – 2022. – С. 99–102.
3. Гнеушев В.І. Вентиляція і пневмотранспорт. – Рівне: НУВГП, 2010. – 276 с.

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПЕГМАТИТІВ РОДОВИЩА «ГІРНЕ» ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ТОНКОЇ ТА БУДІВЕЛЬНОЇ КЕРАМІКИ

Дочірнє підприємство «Шпат» було засновано у 1997 році та розташоване в селі Мала Токарівка Романівського району Житомирської області. Основною сировинною базою підприємства є родовище «Гірне», яке включає дві ключові ділянки – «Гірне» та «Вільха». Родовище розробляється відкритим способом, вміщуючими породами є біотит-плагіоклазові гнейси, в яких залягає головна корисна копалина – пегматит. Поверхневі породи мають слабку потужність, що дає змогу здійснювати розробку відкритим способом. В напрямку переробки кварц-польовошпатової сировини підприємство працює за ТУ У08.9-24705521-001:2013 і виробляє пегматити для тонкої кераміки (марки ПТ), санітарно-технічних виробів, облицювальної плитки (марки ПБ), будівельної кераміки (марки ПВ) і працює над розширенням асортиментного ряду цих мінеральних продуктів. Для кварц-польовошпатових порід внаслідок їх різного генезису характерна мінливість хіміко-мінерального складу зі значними коливаннями вмісту кварцу, що відбивається на технологічних властивостях порід і потребує їх вивчення у прив'язці до конкретної керамічної технології. Як наслідок, основна мета виробництва – забезпечення сировиною підприємств порцеляново-фаянсової промисловості, будівельної та художньої кераміки як на території України, так і за її межами, зокрема в країнах ближнього зарубіжжя.

У складі пегматитів родовища «Гірне» переважає калієвий польовий шпат, який у поєднанні з кварцом (вміст якого становить понад 30%) утворює великокристалічні агрегати. Пегматити мають високі фізико-хімічні характеристики, оскільки утворились на значних глибинах у магматичних умовах, де панували високі температури й тиск. Ці породи містять також слюду (біотит, мусковіт), каолін як продукт вивітрювання, оксиди заліза, а також легкі компоненти — фтор, бор, хлор та інші. Польовий шпат, що входить до складу пегматиту, має колір від рожевого до червоного, інколи жовтого, і належить до мінералів з пластинчастою структурою. Високоякісний калієвий польовий шпат починає плавитися при температурі 1250–1300°C, утворюючи прозоре або молочно-біле скло, що є критично важливим для виробництва електропорцеляни, де необхідна термічна стабільність. Натрієвий польовий шпат, хоча й плавиться при нижчій температурі (приблизно 1100 °C), може викликати деформації при випалюванні, тому в багатьох випадках замінюється на калієвий. Саме тому пегматити є перспективною альтернативою чистому польовому шпату, запаси якого обмежені.

Видобута гірнична маса транспортується до пункту первинної обробки, де спочатку подається на пластинчастий живильник КГ-10 з бункером, який забезпечує рівномірне дозування сировини. Далі вона надходить до шоккової дробарки СМД-109, де відбувається початкове грубе дроблення до розміру 200–300 мм. Наступним етапом є грохочення на грохоті СГ-1,5×5А, де матеріал проходить попередню класифікацію. Для більш детального розділення фракцій використовується грохот ГСТ-32, який дозволяє ефективно відділити матеріал, придатний для подальшого дроблення. Далі сировина надходить до конусної дробарки КСД-600 для середнього дроблення. Конусні дробарки є ефективними агрегатами для зменшення розміру порівняно твердих матеріалів, таких як кварц і польовий шпат. Для досягнення необхідної гранулометрії, зокрема фракції 0–5 мм, сировина піддається обробці у відцентровій дробарці. Цей тип дробарок забезпечує більш тонке подрібнення порівняно з конусними дробарками, що є важливим для підготовки сировини до подальших етапів збагачення. Після завершення процесу дроблення, коли сировина досягла необхідної фракції, вона піддається повторному грохоченню. Цей етап здійснюється на грохоті СМД-741А, який забезпечує високу точність розділення частинок за розмірами. Далі, вже підготовлена подрібнена сировина транспортується за допомогою стрічкового конвеєра КЛР-РОЛ-500-300-25. Транспортування може здійснюватися або на проміжний склад для тимчасового зберігання, або безпосередньо до лінії збагачення, в залежності від логістики виробничого процесу. Проміжний склад дозволяє створити резерв сировини та забезпечити стабільну роботу лінії збагачення, навіть у випадку перебоїв у постачанні з дробильного відділення.

Збагачення пегматитової сировини є критично важливим етапом, оскільки від якості очищення залежить придатність матеріалу для різних видів керамічного виробництва. Основним методом збагачення є магнітна сепарація, яка проводиться на обладнанні барабанного типу з постійними магнітами Nd-Fe-B, а також на трикаскадних роликівих магнітних сепараторах з індукцією поля 1,1 Тл. Перед сепарацією сировина додатково подрібнюється до розміру 1-3 мм для підвищення площі контакту з магнітним полем. В процесі сепарації здійснюється кілька послідовних етапів: первинне відділення феромагнітних домішок, повторна очистка та сортування за якісними ознаками. Підтримка стабільних технологічних параметрів – вологості до 2% і температури середовища в межах +10...+30 °C дозволяє досягти високої ефективності очистки. Вміст оксидів заліза у готовій продукції після сепарації знижується до 0,15–0,2%, що відповідає вимогам високоякісної кераміки та скла.

На підприємстві функціонує власна хіміко-аналітична лабораторія, що є невід'ємною частиною системи контролю якості. Лабораторія забезпечена сучасним обладнанням та укомплектована кваліфікованим

персоналом, що дозволяє проводити всебічний якісний і кількісний розширений хімічний аналіз пегматитової сировини на кожному етапі виробництва та кожної робочої зміни. Це забезпечує оперативний моніторинг характеристик сировини та своєчасне реагування на будь-які відхилення від технологічних норм. За результатами ретельних визначень хімічного складу та фізико-механічних властивостей (табл. 1), на кожен партію підготовленої до відправки сировини споживачам оформлюється сертифікат якості. Для забезпечення точності та надійності аналітичних даних, лабораторія використовує сучасні методи дослідження. Визначення вмісту оксидів калію і натрію, які є важливими компонентами, що впливають на плавкість сировини, проводиться за допомогою полум'яного фотометра. Кількість оксиду заліза тривалентного, що є критичним параметром для виробництва кераміки, визначається на електрофотокolorиметрі. Для аналізу інших складових сировини застосовуються класичні методи титрування, що забезпечують високу точність результатів. Важливо відзначити, що лабораторія ДП «Шпат» атестована Укрметртестстандарт України, що підтверджує її компетентність та відповідність міжнародним стандартам якості. Це дозволяє лабораторії не лише забезпечувати потреби власного виробництва, але й надавати послуги з розширеного хімічного аналізу польових шпатів, каолінів та інших видів мінеральної сировини стороннім організаціям, сприяючи розвитку галузі в цілому.

Серед переваг технології, реалізованої на ДП «Шпат», варто виділити високу ефективність вилучення залізовмісних домішок, що є критичним чинником для тонкої кераміки та скла, здатність обробляти значні обсяги сировини з високим ступенем автоматизації, а також гнучкість адаптації до зміни хімічного складу сировини. До недоліків можна віднести високе енергоспоживання, яке обумовлене використанням енергоємного дробильного та сепараційного обладнання, а також залежність ефективності переробки від фізико-механічних властивостей пегматитів, які можуть змінюватися від ділянки до ділянки.

Таблиця 1

Якісна характеристика кварц-польовошпатої сировини отриманої за умов ДП «Шпат» відповідно до ТУ У08.9-24705521-001:2013

Характеристики		Марка ПТ	Марка ПБ-0.5	Марка ПБ-0,8	Марка ПВ
Хімічний склад	SiO ₂	75% не більше	77% не більше	78% не більше	80% не більше
	Al ₂ O ₃	14%	13,5%	13,0%	12,0%
	Fe ₂ O ₃	0,35% не більше	0,5% не більше	0,8% не більше	Не нормується
	K ₂ O	4,0%	4,0%	4,0%	3,50%
	K ₂ O+Na ₂ O	8,0% не менше	7,5% не менше	7,0% не менше	6,5% не менше
Технологічні властивості	доля вологи	6,0% не більше	8,0% не більше	8,0% не більше	10,0% не більше
	ППП(втрати при прожаренні)	0,45%; не більше	0,55% не більше	0,65% не більше	1,5% не більше
Фракційний склад		мілкодроблений 0-1,25 мм.	мілкодроблений 0-6,0 мм.	мілкодроблений 0-6,0 мм.	0-10 мм

Список використаних джерел:

1. Industrial minerals and rocks: commodities, markets, and uses / ed. by J.E. Kogel, N.C. Trivedi, J.M. Barker. – 7th ed. – Littleton, CO : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2006. – 1548 p.
2. Kotenko V., Bashynsky S., Piskun I. Prospects for the integration of quartz-feldspar concentrate obtained from kaolin enrichment into ceramic production processes. Sustainable extraction and processing of raw materials. 2024. Vol. 5. P. 40-44.
3. Kral, U. Recovery and Recycling of Non-metallic Resources: A Value Chain Perspective / U. Kral, J. Wager, P. Hegedus. – Cham : Springer, 2020. – 233 p. – (Circular Economy and Sustainability).
4. Піскун І.А. Перспективи інтеграції кварц-польовошпатового концентрату, отриманого внаслідок збагачення каоліну у технологічні процеси виробництва кераміки. Тези ІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції "Сучасні проблеми гірництва та будівництва". 21 листопада 2024 року. Житомир: "Житомирська політехніка", 2024. С. 55-56.
5. Технічні умови. Сировина польовошпатова кварцова. Загальні технічні умови [Текст] : ТУ У 08.9-24705521-001:2013. – Чинні від 2013-06-01. – К. : ДП «Шпат», 2013. – 14 с.
6. Піскун І.А., Котенко В.В. Дослідження перспектив використання первинного каоліну Йосипівського родовища у керамічній промисловості. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 11-15 травня 2021 року. Житомир: "Житомирська політехніка", 2021. С. 203-204.
7. Державні будівельні норми України. Видобування корисних копалин відкритим способом. Основні положення проектування [Текст] : ДБН В.2.7-206:2009. – [Чинний від 2010-01-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 32 с.

**Марченко В.В., студент групи 184-23м-7 ІІ,
Навчально-науковий інститут природокористування
Науковий керівник: Череп А.Ю., к.т.н., доц.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»**

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ В УМОВАХ КАР'ЄРУ ЄРИСТІВСЬКОГО ГЗК

Сьогодні Україна - одна з найперспективніших країн Східної Європи. Вигідне розташування і багаті запаси корисних копалин гарантують сталий економічний розвиток і технологічний прогрес у всьому регіоні. Одним із найпоширеніших ресурсів є залізна руда, яка використовується практично в усіх галузях промисловості. Наявність численних родовищ із цінними запасами заліза стимулює подальший розвиток і дослідження в гірничодобувній промисловості. Одним з основних технологічних комплексів, що визначають ефективність відкритих гірничих робіт, є буропідливний комплекс, який розпушує природну структуру породи та оптимізує технологічні процеси виїмки і транспортування як залишкового ґрунту, так і корисних копалин. Водночас найважливіша фізико-технічна частина гірничого виробництва залежить від ступеня вдосконалення складних, багато компонентних способів видобутку руди і гірничої маси під час відкритих гірничих робіт. Єдиним технічним засобом є енергія вибухових речовин, яка є результатом науково обґрунтованого управління вибухом. Постійне зменшення глибин розробки, погіршення гірничо-геологічних умов і дедалі більший прояв геомеханічних явищ в умовах ринкової економіки висувають нові вимоги до гірничої технології в частині управління вибуховим руйнуванням гірських порід. Актуальність цього дослідження полягає в тому, що буропідливні роботи є першими в ланцюзі технічних процесів видобувного виробництва і суттєво впливають на собівартість продукції. Важливим резервом підвищення ефективності буропідливних робіт є розробка і впровадження сучасних технологій вибухових і гірничих робіт.

Основною метою дослідження є удосконалення способів підвищення ефективності буро-вибухових робіт в умовах кар'єру «Єристівський ГЗК».

ТОВ «Єристівський ГЗК» введений в експлуатацію в 2008 р. Комбінат видобуває сировину для виробництва залізорудних окатків – для металургійних заводів. Сьогодні ТОВ «Єристівський ГЗК» разом з ПрАТ «Полтавський ГЗК» входить до числа найкрупніших світових виробників залізорудних окатків і є одним з найбільш високотехнологічних підприємств металургійного комплексу України.

Сировинною базою «Єристівського гірничо-збагачувального комбінату» є Єристівське родовище залізистих кварцитів Кременчуцької магнітної аномалії. В геологічній будові родовища беруть участь породи архейської, протерозойської і кайнозойської систем.

Скельні породи для розробки буропідливним способом:

- підсвити K_2^1 та K_2^4 складені кварцево-біотитовими і кварцево-слюдними сланцями;
- верхня свита K_3 складена безрудними кварцитами, метапісковиками і кварцево-карбонатними породами;
- рудні є залізисті підсвити K_2^5 , K_2^2 і K_2^3 ;
- поклади K_2^2 містять магнетитові кварцити, довжина покладів 4 800 м, середня потужність 42 м. Середній вміст заліза загального 35,53%, заліза магнетитового 27,47%, заліза у концентраті 66,4%;
- поклади K_2^3 містять кумінгтоніто-магнетитові кварцити. Довжина покладів 4800 м, середня потужність 56 м. Середній вміст заліза загального 26,74%, заліза магнетитового 17,09%, заліза у концентраті 63,9%;
- поклади K_2^5 містять магнетитові та кумінгтоніто - магнетитові кварцити. Довжина покладів 4800 м, середня потужність 210 м. Середній вміст заліза загального 34,26%, заліза магнетитового 27,92%, заліза у концентраті 62,73%.

Найпотужнішими покладами Єристівського родовища є поклади K_2^5 . Коефіцієнт міцності f за шкалою проф. М.М. Протод'яконова скельних порід коливається в межах від 10 до 20.

Вдосконалення організації бурових робіт пов'язане з ім'ям багатьох українських і закордонних учених. Аналіз наукових джерел свідчить, що ефективність буріння вибухових свердловин залежить від точного визначення фізико-механічних властивостей гірських порід при розробці родовищ. Прогнозування категорії буримості порід під час планування робіт є важливим елементом організації процесу та дозволяє раціонально використовувати ресурси бурових верстатів.

До нещодавнього часу в кар'єрах активно використовувалися верстати шнекового буріння (СБШ), основним призначенням яких було: буріння вертикальних і похилих свердловин діаметром від 160 мм до 320 мм; буріння свердловин глибиною до 35 м; буріння в міцних породах.

Однак використання СБШ призвело до значного зниження можливості контролювати параметри вибухових робіт. Серед основних недоліків СБШ можна виділити: погану стійкість доліт при роботі в міцних породах; високий рівень шуму; вібрацію; пилеутворення; низьку швидкість буріння.

Продуктивність бурового обладнання є ключовим чинником для ефективності виконання бурових робіт. Вимоги до бурових верстатів включають: високу продуктивність; низьку собівартість; екологічність; наявність штока для буріння різних діаметрів і глибин; наявність індивідуального приводу; мобільність при пересуванні. З появою нових сучасних вибухових речовин зросла потреба в бурінні свердловин діаметром від 90 до 200 мм. Це поставило завдання покращити якість бурових робіт і знизити енергетичні витрати під час буріння. У зв'язку з цим в кар'єрах почали використовувати бурові установки PV-275, які мають низку переваг: наявність змінних бурових штоків; можливість буріння під кутами від 0° до 90°; висока швидкість буріння; мінімізація операцій; автоматизована система нарощування штанг.

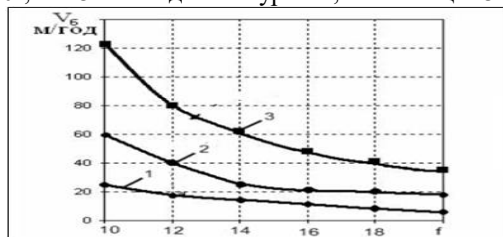


Рис. 1. Графік залежності швидкості буріння від міцності гірської породи: 1 – СБУ-125; 2 – СБШ-250; 3 – Atlas Copco PV-275

Підвищення ефективності бурових робіт за допомогою установок PV-275 можливо досягти завдяки ефективному руйнуванню міцних та надміцних гірських порід, автоматичній заміні та нарощуванню штоків і доліт, що дозволяє заощаджувати час на буріння свердловин. Гідрофікація механізмів Atlas Copco сприяє регулюванню та оптимізації процесу буріння. Використання бурових установок PV-275 у кар'єрах є вигідним кроком для підвищення ефективності бурових робіт.

При виборі діаметра свердловини на кожному підприємстві враховують фізико-механічні властивості гірських порід. Діаметр свердловини не є вирішальним фактором підготовки гірської маси до видобутку. Для визначення оптимального діаметра свердловин у кар'єрі ЄГЗК необхідно врахувати витрати на буріння, витрати на вибухові речовини (анемікс), коефіцієнт використання, а також розмір частинок у гірському масиві залежно від категорії тріщинуватості.

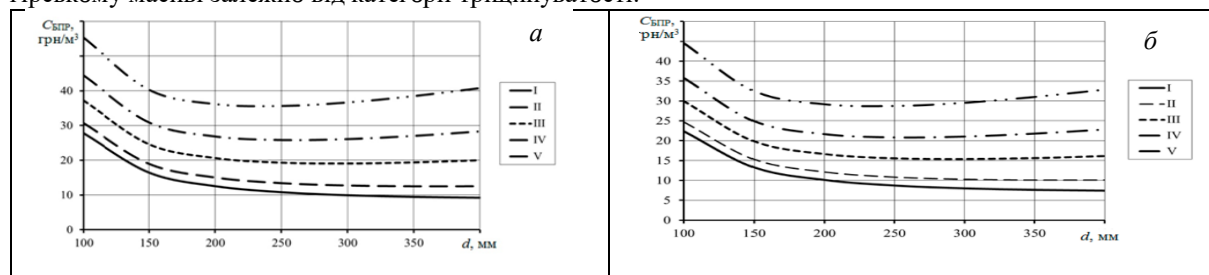


Рис. 2. Залежність собівартості буро-вибухових робіт від діаметру вибухових свердловин магнетитових кварцитів (а) та в окиснених кварцитах (б) при різних категоріях тріщинуватості

Висновки. Проведений аналіз та систематизовано сучасні науково обґрунтовані методи буро-вибухових робіт на залізрудних кар'єрах. Підвищення ефективності процесу буріння в кар'єрах вибуховим способом пов'язане з поліпшенням фізико-механічних властивостей гірської породи в умовах її розробки. Визначені заходи підвищення ефективності буро-вибухових робіт в кар'єрі ЄГЗК, які полягають у застосуванні шахової схеми розташування свердловин, що дозволяє: мінімізувати вихід негабариту; зменшити зони переподрібнення на 10-20%; оптимізувати кількість свердловин на 15-20%; зменшити обсяг буріння; зменшити розхід вибухових речовин та отримати економію витрат при бурінні свердловин на кар'єрі Єриствського ГЗК на близько 1,5 млн. грн на рік.

Список використаних джерел:

1. Фролов О.О. Техніко-економічне обґрунтування вибору діаметру свердловинного заряду для проведення буропідричних робіт на кар'єрах / О.О. Фролов, І.Д. Литвинчук // Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. – 2018. - № 2 (82).
2. Фролов О.О. Визначення ефективного діаметру свердловинного заряду з урахуванням техніко-економічної оцінки буропідричних робіт / О.О. Фролов, Ю.С. Мальцева // Вісник Криворізького національного університету: зб. наукових праць. – 2018.
3. Череп А.Ю. Узагальнення методичного підходу до оцінювання ефективності гірничо-збагачувального виробництва // Збірник наукових праць НГУ. - №66. – 2021. – С. 94-104.
4. Прокопенко В.І., Череп А.Ю., Пілова Д.П. Актуальний еколого-економічний підхід до вибору технології експлуатації родовища // Збірник наукових праць НГУ. - №58. – 2019. – С. 94-110.
5. Прокопенко В.І., Череп А.Ю., Пілова Д.П. Технологіко-економічні аспекти ефективності гірничо-збагачувального виробництва марганцеворудної сировини // Металургія та гірничорудна промисловість, 2019, №3, С. 38-52.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ФОТОГРАММЕТРІЇ У ВИМІРЮВАННІ МІКРОСТРУКТУР З ВИКОРИСТАННЯМ БІНОКУЛЯРНОГО МІКРОСКОПУ

Сучасні дослідження в галузях матеріалознавства, мікробіології, геології, палеонтології та інженерії потребують високоточної візуалізації та вимірювання мікроструктур об'єктів. Одним із передових і ефективних підходів у цьому напрямі є фотограмметрія – метод відновлення просторової геометрії об'єктів за серією зображень. При використанні в поєднанні з бінокулярним мікроскопом, фотограмметрія дає змогу досліджувати мікроскопічні структури у тривимірному просторі з високою точністю, без механічного втручання в об'єкт.

Фотограмметрія – це метод оптичного відтворення форми об'єкта, заснований на геометрії перспективного знімання. У мікроскопічному масштабі принцип залишився тим самим: на основі двох (або більше) зображень об'єкта з різних точок зору виконується обчислення координат відповідних точок у просторі. У разі використання бінокулярного мікроскопа, який уже забезпечує стереозображення, фотограмметричний підхід ідеально інтегрується в процес мікроскопічного аналізу.

Етапи фотограмметричного аналізу:

1. Підготовка зразка. Зразок має бути надійно закріплений, чистий, бажано з вираженим контрастом мікроструктур.
2. Калібрування системи. Проводиться налаштування фокусної відстані, оптичної осі та внутрішніх параметрів камери.
3. Отримання стереозображень. Камера, інтегрована в бінокулярний мікроскоп, виконує знімання з різних кутів. Часто застосовується автоматичне поворотне зміщення зразка або головки мікроскопа на 5-15°. Якщо столик мікроскопа дозволяє виконувати мікрозміщення об'єкта, то можна застосувати метод фотограмметричного знімання з відомим базисом.
4. Обробка зображень та побудова моделі. Використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення, виконується корекція дисторсії оптики, виявлення ключових точок та їх зіставлення. На основі даних будується хмара точок, поверхня або повноцінна 3D-модель.
5. Аналіз та вимірювання. Отримані просторові дані дають змогу вимірювати ширину зерен, глибину пор чи заглибин, нахил тріщин, шорсткість поверхні, об'ємні параметри включень тощо.

Серед найбільш поширених програм, що підтримують фотограмметричний аналіз у поєднанні з мікроскопією, можна виділити: Agisoft Metashape – потужний інструмент для побудови 3D-моделей за стереознімками, підтримує мікроскопічний режим; 3D Survey – професійне рішення для аналізу геометрії, використовується в промисловості та наукових дослідженнях; Meshroom (AliceVision) – безкоштовна програма з відкритим кодом для побудови моделей зі знімків.

Застосування фотограмметричних методів дослідження мікроструктур можливе в різноманітних галузях науки. Під час аналізу мікроструктури металів: дослідження зерен металевих сплавів, їх розмірів, форми, розташування фазових включень. Це важливо для контролю термічної обробки. Дослідження геологічних зразків, наприклад, аналіз пористості та текстури природного каменю, визначення шорсткості або стану поверхні каменю після кожного етапу обробки. Фотограмметрія дозволяє виявити орієнтацію мінеральних зерен і параметри тріщин під час петрографічних досліджень гірських порід. Біологічна мікроскопія: дослідження поверхонь біологічних тканин, оболонок клітин або мікроорганізмів у 3D для відтворення форми, виявлення дефектів або аномалій. Контроль мікродефектів у промисловості – наприклад, у мікроелектроніці контролюються тріщини на кристалах напівпровідників, оцінюється глибина подряпин на мікрочіпах, вимірюється геометрія мікроконтактів.

У майбутньому очікується ще тісніша інтеграція методів фотограмметрії з мікроскопічними платформами. При цьому основні напрями розвитку: повна автоматизація збору стереозображень і побудови моделей; застосування штучного інтелекту для розпізнавання морфологічних особливостей; подальше зниження масштабу вимірювань з використанням електронних мікроскопів; виведення 3D-моделей мікроструктур у віртуальному середовищі для аналізу, навігації та презентацій.

Фотограмметрія у поєднанні з бінокулярним мікроскопом є перспективним і потужним методом дослідження мікроструктур. Вона дозволяє отримувати тривимірну інформацію про форму, розміри, просторову орієнтацію мікрооб'єктів без їхнього руйнування. Це відкриває широкі можливості для точного контролю якості, дослідження мікромеханічних властивостей, а також збереження цифрових копій мікроскопічних об'єктів для подальшого вивчення.

Меринів Р.Р., аспірант
Шамрай В.І., к.т.н., доцент

Кафедра гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОЦІНКА ПЕРЕВАГ У ВИКОРИСТАННІ ДВОДИСКОВИХ КАР'ЄРНИХ ВЕРСТАТІВ ПРИ ВИДОБУВАННІ БЛОЧНОЇ СИРОВИНИ

Видобуток блочної сировини є ключовим етапом у ланцюгу виробництва природного облицювального каменю. Якість та ефективність цього процесу значною мірою залежать від правильного вибору обладнання, яке використовується безпосередньо в кар'єрі. Серед найпоширеніших технічних рішень, що застосовуються у сучасній практиці, — дводискові кар'єрні верстати та алмазно-канатопильні системи. На сьогодні в Україні домінує використання алмазно-канатопильних верстатів, які добре зарекомендували себе завдяки гнучкості застосування та високій точності розпилу. Вони особливо зручні в умовах складної тріщинуватості або при роботі на залишкових масивах. Натомість дводискові верстати майже не застосовуються в українських кар'єрах, попри їхню високу продуктивність і економічність. Основною причиною цього є відсутність досвіду експлуатації, відповідної інфраструктури та недостатнє розуміння їх потенціалу серед користувачів.

У Китаї, навпаки, дводискові верстати надзвичайно поширені — їх активно застосовують на великих каменеобробних підприємствах, де важлива масовість видобутку, швидкість і стабільна геометрія блоків. Там такі машини становлять основу видобувного процесу, тоді як алмазний канат використовується як допоміжне обладнання для спеціальних дорізів.

Таким чином, актуальним є питання дослідження ефективності дводискових верстатів в умовах українських родовищ та можливості їхнього комбінованого використання з алмазно-канатопильними системами для підвищення загальної ефективності та зменшення втрат сировини.

Дводисковий каменерізний верстат працює за принципом синхронного різання кам'яної маси двома алмазними пильними дисками, встановленими паралельно один до одного на рухомій рамі. Його головне завдання — вирізати з масиву гірської породи вертикальні канали, які обмежують бокові поверхні майбутнього блоку. Цей процес суттєво пришвидшує підготовку блоків до відділення від масиву, оскільки дозволяє одночасно сформувати дві паралельні стінки блока з високою точністю. Робота верстата починається з його установки на спеціальні напрямні рейки вздовж фронту кар'єру. Після налаштування потрібної відстані між пильними дисками, яка визначає ширину блока (зазвичай від 1,3 до 3,2 м), машини запускаються. Обидва пильні диски, обертаючись з високою швидкістю, починають одночасно врізатися в масив. Для цього весь пильний механізм вертикально опускається — зазвичай з електромеханічною або гідравлічною подачею — і пильні диски врізаються в породу на глибину до 1,5 м за один прохід.

Після досягнення потрібної глибини на певному рівні, верстат починає повільно рухатися вздовж фронту кар'єру. Обидва диски при цьому різуть камінь, формуючи вертикальні канали. По завершенні одного горизонтального проходу система знову опускається вниз — на нову глибину, і різання повторюється. Цей процес триває, поки не буде досягнуто заданої глибини різання, наприклад, рівня підшви майбутнього блоку. Завдяки такій послідовності роботи — циклу вертикального опускання та горизонтального переміщення — у масиві формується паралельна пара глибоких щілин, які відділяють блок з боків. Пильні диски оснащені алмазними сегментами, які різуть навіть дуже тверді породи — граніт, базальт, габро тощо. Щоб уникнути перегріву і зношування сегментів, під час роботи в зону різання подається вода, яка одночасно виконує функцію охолодження та змиву шламів.

До переваг дводискових каменерізних машин можна віднести:

1. Високу продуктивність

- Швидкість різу до 2-3 м²/год для твердих порід (порівняно із 1-2 м²/годину у алмазно-канатних машин);
- Можливість паралельного розпилювання великих обсягів масиву

2. Чітку геометрію блоків

- Регульована ширина між дисками (до 3.5 м)
- Висока точність і повторюваність розпилу

3. Проста конструкція і обслуговування

4. Зменшення втрат сировини

- Відсутність буріння для заведення інструменту

Для роботи дискової машини важливим фактором є довжина фронту робіт, чим більша довжина різання дисковою пилкою тим вища продуктивність роботи дискової машини. Також в дискових машинах обмежена глибина різання. Зазвичай вона становить приблизно 45% від діаметру ріжучого диска, тобто, при використанні дискової машини з діаметром диска 3,6м глибина прорізу сягатиме близько 1,5м. Ширина прорізу між дисками може регулюватись. Для прикладу, у моделі Hualong 2QYKT-3600 ширина прорізу

може варіюватись від 1360 до 3500 мм, що дозволяє змінювати розмір блоків в залежності від потреб підприємства. Таким чином можна зменшити до мінімуму подальше пасирування блоків, оскільки після використання дводискових машин виходять зручні для виймання і транспортування блоки з мінімум двома різними стінками. Важливо: дводискові верстати не можуть здійснити горизонтальний різ масиву (тобто по основі блоку). Тому після вертикального розпилювання потрібно відділити блок знизу:

- або за допомогою **алмазно-канатопильного верстата**, прокладаючи канат горизонтально;
- або шляхом **відбурювання основи** буро-клиновим методом

Для оцінки ефективності впровадження дводискових каменерізних машин необхідно врахувати кількість експлуатаційних витрат. Видобуток блокової сировини неминуче супроводжується втратами, які залежать від типу застосованого обладнання, конфігурації масиву, технології буріння та типу різального інструменту. Основні джерела втрат:

Втрати від товщини пропилу

- **Дводискові верстати** мають пропили шириною ~8–10 см через конструкцію подвійного диска.
- **Алмазно-канатні верстати** мають тонший пропили (~4–6 см), що забезпечує менше втрат

Втрати від буріння

- **Алмазно-канатні машини** вимагають значної кількості свердловин:
 - Заведення канату (3+ свердловини);
 - Пасирування видобутого блоку;
 - Кожна свердловина Ø38–45 мм створює втрати від 0.05 до 0.15 м³.
- **Дводискові верстати** потребують значно менше буріння:
 - Буріння шпурів по краях моноліту для зрізання кромки
 - Пасирування не потрібне, або зведене до мінімуму, якщо точно виставлена відстань між дисками.
 - Буріння горизонтальної площини для відділення блоку з масиву

Розрахунок втрат сировини при використанні дводискових каменерізних машин

Через умов залягання горизонтальних тріщин в родовищі в розрахунках було прийнято використання алмазно-канатної машини для підготовки горизонтальної площини задля подальшого зменшення кількісних втрат при використанні дводискової каменерізної машини

Розрахунок проводився в умовах Покостівського родовища гранодіоритів, підприємства “Юнікам-граніт”, з річним видобутком корисних копалин 8562 м³/рік.

Технологічна схема видобування блоків природного каменю за допомогою дискових машин представлена на рис. 1.

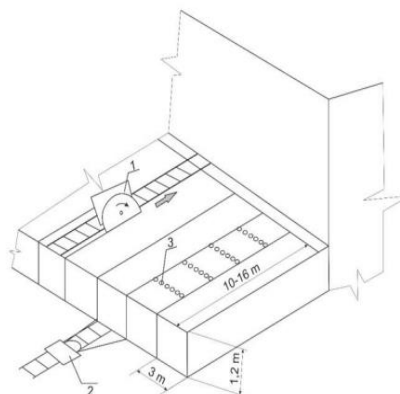


Рис. 1. Схема видобування блоків за допомогою дискових каменерізних машин:
1 – дискова машина; 2 – канатна машина; 3 – шпури

Нижче наведено таблицю втрат сировини при діючій технології видобування на кар'єрі

Таблиця 1

Втрати сировини за умов використання алмазно-канатних верстатів

Вид втрат	Обсяг втрат (м³)	Частка від загального видобутку (%)
Буріння шпурів для заведення канату	27,9	0,33%
Різання щілин	60,5	0,71%
Буріння для відділення блоку	9,3	0,11%
Пасирування блоків	59,7	0,7%
Загальні втрати	157,4	2,05%

Далі наведено таблицю витрат сировини при технології видобування блоків за допомогою дводискових каменерізних верстатів

Таблиця 2

Втрати сировини за умов використання дводискових каменерізних машин

Вид втрат	Обсяг втрат (м³)	Частка від загального видобутку (%)
Буріння шпурів для прибирання кромки	15,3	0,18%
Різання щілин	98,5	1,15%
Пасирування блоків	26,4	0,31%
Загальні втрати	140,2	1,64%

На наступному рисунку зображено порівняльний графік втрат сировини при використанні обох типів верстатів.

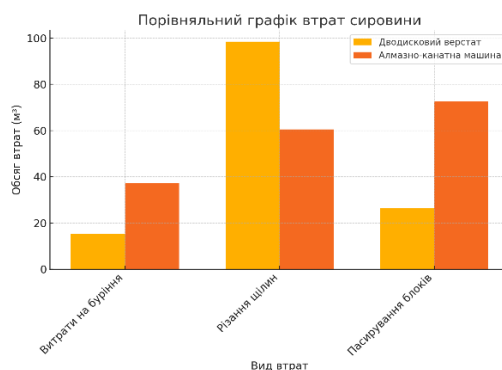


Рис. 2. Порівняльний графік втрат сировини

Попри товщі пропили, дводискові верстати загалом демонструють менші втрати сировини за рахунок меншої потреби в бурінні та стабільної геометрії блоку. Алмазно-канатна технологія, хоча й точна, супроводжується додатковими втратами при бурінні та пасируванні.

Висновки. Проведені розрахунки показують, що при реалізації технології видобування блоків із застосуванням дискової каменерізної машини в цілому експлуатаційні втрати сировини становитимуть 1,64% порівняно із 2,05% при діючій схемі виробництва. При цьому очевидним буде цілий ряд переваг:

Дводискові верстати демонструють високу продуктивність, стабільну геометрію блоків і знижені втрати сировини завдяки меншій потребі в бурінні пасируванні, підвищиться якість блочної сировини, яка буде відповідати вимогам міжнародних стандартів, зменшиться собівартість видобування блоків за рахунок застосування дешевшого алмазного інструменту на дискових каменерізних машинах, порівняно із алмазно-канатними установками. Найефективнішим підходом є комбіноване використання обох типів верстатів: дводискові — для основного вертикального розкрою масиву, алмазно-канатні — для горизонтального дорізу та роботи на складних ділянках. Такий підхід дозволяє оптимізувати процес видобутку, зменшити обсяг втрат, знизити витрати та підвищити загальну ефективність роботи кар'єру.

Комбінована технологія є доцільною для впровадження на українських родовищах, зокрема в умовах Покостівського родовища, і має перспективу для масштабного використання на підприємствах з видобутку природного каменю.

Список використаних джерел:

1. Власюк Д. Індустрія природного каменю – бізнес не для аутсайдерів / Д. Власюк // КДК. – №1 (55). – 2009. – С. 5-9
2. Гелета О. Дослідження зовнішньоекономічного обігу декоративного каменю в Україні / О.Гелета // Коштовне та декоративне каменю. – № 2 (56). – К. : ДГЦУ, 2009. – С. 28–33.
3. Дриженко, А.Ю. (2014). Відкриті гірничі роботи. Дніпропетровськ: НГУ, 590 с.
4. Мамрай, В. В., Коробійчук, В. В., Толкач, О. М., & Шлапак, В. О. (2019). Дослідження показників очікуваних експлуатаційних втрат сировини при видобуванні блочної сировини дисковими каменерізними машинами. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки, (1 (83)), 270-275.
5. Мамрай, В.В., Коробійчук, В.В., Шлапак, В.О., Іськов, С.С., Панасюк, А.В. (2019). ВСТАНОВЛЕННЯ ПИТОМОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ РІЗАННЯ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ДИСКОВИМИ ПИЛАМИ. Збірник наукових праць НГУ, 58, 75-83. <http://doi.org/10.33271/crpnmu/58.075>

Ніколюк Д.С., студентка гр. ГГ-29,
Куницька М.С., ст. викладач кафедри маркшейдерії
Державний університет «Житомирська політехніка»

СУЧАСНІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ: ІННОВАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ В ТОЧНИХ ВИМІРЮВАННЯХ

Геодезичні прилади є фундаментальним інструментарієм для високоточних вимірювань земної поверхні та просторових об'єктів. Розвиток супутникових систем позиціонування, лазерного сканування та цифрової обробки даних відкриває нові перспективи у застосуванні геодезичних приладів для вирішення складних інженерних завдань та наукових досліджень.

Сучасні геодезичні системи стають все більш компактними та мобільними, що розширює сферу їх застосування. Безпілотні літальні апарати, оснащені спеціалізованими геодезичними приладами, дозволяють проводити високоточні вимірювання у важкодоступних місцях та створювати детальні тривимірні моделі місцевості за короткий час.

Сучасні геодезичні технології, особливо безпілотні літальні апарати (БПЛА) та GNSS-приймачі, мають високі показники мобільності, що дозволяє суттєво пришвидшити польові роботи та проводити вимірювання у раніше недоступних місцях.

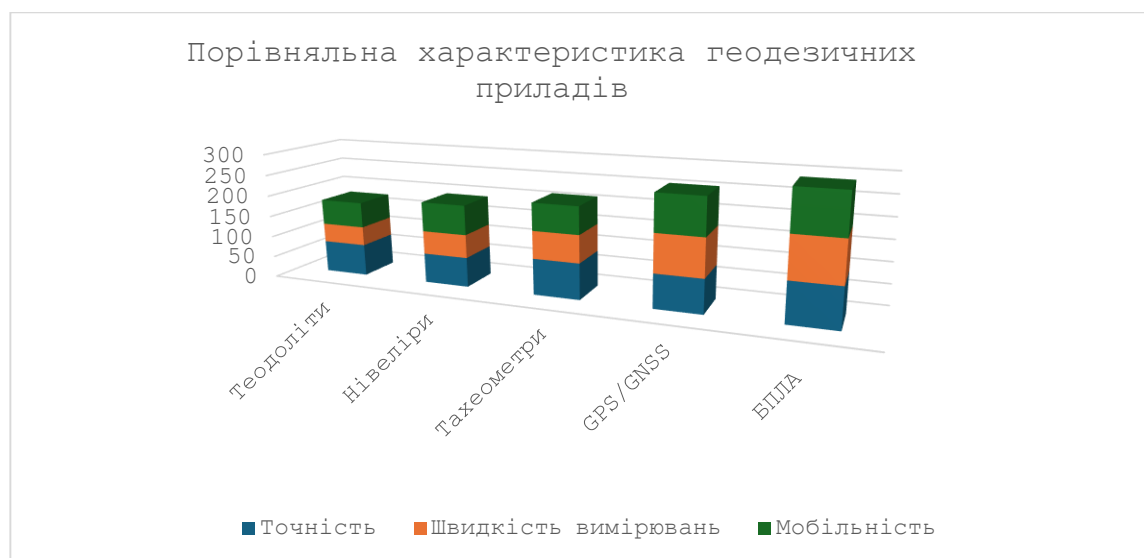


Рис. 1. Графік порівняння різних типів геодезичних приладів за точністю, швидкістю та мобільністю

Графік демонструє порівняльну характеристику різних типів геодезичних приладів за трьома ключовими параметрами: точність, швидкість вимірювань та мобільність. Як бачимо, сучасні технології, такі як 3D сканери та БПЛА системи, значно перевищують традиційні прилади за швидкістю та мобільністю, зберігаючи при цьому високий рівень точності.

У маркшейдерській справі відбувається активне впровадження інноваційних методів вимірювань, що забезпечують підвищену безпеку гірничих робіт та оперативний контроль за станом гірничих виробок. Зокрема, лазерні сканери дозволяють створювати високоточні 3D-моделі підземних просторів за лічені години, що раніше вимагало днів польових робіт. Це має особливе значення при моніторингу деформацій та зсувів у шахтах, кар'єрах та на інших об'єктах гірничодобувної промисловості.

Роботизовані тахеометри з функцією автоматичного розпізнавання цілей (ATR - Automated Target Recognition), прилади здатні самостійно наводитися на спеціальні відбивачі, автоматично виконувати серії вимірювань та документувати результати без постійної участі оператора. Завдяки інтегрованим системам позиціонування та використанню прецизійних серводвигунів, сучасні тахеометри досягають кутової точності до 0,5" та лінійної точності до 0,6 мм на 1 км ходу. Це дозволяє суттєво підвищити продуктивність праці маркшейдера, особливо при виконанні моніторингових спостережень, коли необхідно регулярно виконувати вимірювання на одних і тих самих пунктах для відстеження динаміки деформацій масиву гірських порід.

Інтегровані системи моніторингу, що поєднують традиційні геодезичні прилади з новітніми сенсорами та IoT-технологіями, забезпечують постійний контроль за критичними параметрами стійкості гірничих виробок та інженерних споруд. Це дозволяє оперативно виявляти потенційно небезпечні зміни та приймати своєчасні рішення щодо запобігання аваріям.

Технологія RTK (Real-Time Kinematic) у поєднанні з GNSS-приймачами забезпечує сантиметрову точність вимірювань у реальному часі, що критично важливо для контролю за будівництвом складних інженерних об'єктів та моніторингу деформацій земної поверхні над підземними виробками.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика сучасних геодезичних приладів

Тип приладу	Точність вимірювань	Швидкість збору даних	Мобільність	Автономність роботи	Вартість
Електронні тахеометри	Висока ($\pm 1-5$ мм/км)	Середня	Середня	8-12 годин	Висока
GNSS-приймачі RTK	Середня ($\pm 10-20$ мм)	Висока	Висока	6-8 годин	Середня
Лазерні сканери	Висока ($\pm 2-6$ мм/100 м)	Дуже висока	Середня	4-6 годин	Дуже висока
Безпілотні літальні апарати	Середня ($\pm 2-5$ см)	Дуже висока	Дуже висока	0,5-2 години	Середня
Наземні радари (InSAR)	Дуже висока ($\pm 0,1-1$ мм)	Середня	Низька	24-48 годин	Дуже висока
Цифрові нівеліри	Дуже висока ($\pm 0,3$ мм/км)	Низька	Середня	10-15 годин	Середня

Аналіз великих даних (Big Data) та використання хмарних технологій для обробки результатів геодезичних вимірювань дозволяють виявляти приховані закономірності у динаміці просторових змін та прогнозувати розвиток геодинамічних процесів. Це особливо актуально для моніторингу техногенних впливів на навколишнє середовище та запобігання екологічним катастрофам.

Моніторинг у поєднанні з високоточними геодезичними вимірюваннями забезпечує комплексний контроль за станом масиву гірських порід та дозволяє виявляти зони концентрації напружень ще до виникнення видимих деформацій. Така інтеграція різних методів моніторингу значно підвищує надійність прогнозування геомеханічних процесів.

Порівняльний аналіз ефективності різних типів геодезичних та маркшейдерських приладів показує, що цифрові технології не лише підвищують точність та швидкість вимірювань, але й суттєво розширюють функціональні можливості інструментів.

Розвиток сучасних геодезичних та маркшейдерських приладів характеризується конвергенцією різних технологій, що забезпечує синергетичний ефект у підвищенні ефективності вимірювань. Інтеграція GNSS, лазерного сканування, дистанційного зондування та автоматизованих систем обробки даних створює розвиток геодезії та маркшейдерії, де точність, швидкість та безпека вимірювань досягають високого рівня.

Подальший розвиток цієї галузі буде спрямований на підвищення їхньої енергоефективності, розширення функціональних можливостей та інтеграцію з іншими технологіями для вирішення комплексних завдань просторового аналізу та моніторингу.

Практичне впровадження інноваційних геодезичних технологій у гірничодобувній галузі України демонструє їхню високу ефективність та економічну доцільність. Наприклад, використання лазерних сканерів дозволяє скоротити час на моніторинг стану кар'єрних схилів на 70%, одночасно підвищивши точність вимірювань на 40%. Це забезпечує своєчасне виявлення зон потенційного обвалення та запобігло аварійним ситуаціям, що могли б призвести до значних економічних втрат та загрози життю робітників.

Дослідження сучасних геодезичних приладів та інновацій у сфері точних вимірювань демонструє, що ця галузь перебуває на етапі динамічного розвитку, який кардинально змінює підходи до геодезичних та маркшейдерських робіт. Технологічна конвергенція, інтеграція різноманітних сенсорів та автоматизація процесів збору й обробки даних створює абсолютно нові можливості для підвищення ефективності, точності та безпеки вимірювань.

Подальші дослідження в цій сфері доцільно спрямувати на розробку методики інтеграції різних типів даних, отриманих за допомогою комбінованих систем вимірювань, вдосконалення алгоритмів обробки великих обсягів просторової інформації та створення програмних комплексів для моделювання та прогнозування геодинамічних процесів на основі високоточних геодезичних вимірювань.

Остапчук А.О., аспірант
Сагало Н.С., студентка IV курсу
Науковий керівник: Фролов О.О., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВСТАНОВЛЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИДОБУТКУ НЕПЕРЕКРИСТАЛІЗОВАНИХ ВАПНЯКІВ В БОРТУ КАР'ЄРА

Після відробки родовищ корисних копалин в межах ліцензійної площі, за граничними контурами кар'єрів, а саме в його бортах, залишаються ще значні запаси. Світовий досвід показує, що запаси в бортах кар'єрів можуть досягати до 45 % прикар'єрних запасів. Тому вибір і обґрунтування технології виймання корисних копалин в бортах кар'єру та визначення параметрів систем розробки є дуже важливим завданням і повинен забезпечувати ефективність та безпечність видобутку при найбільш можливій повноті вилучення корисних копалин.

Для відробки прибортових запасів застосовують як традиційні підземні гірничі технології (залишення ціликів і проведення гірничих робіт), так і сучасні технології безлюдного виймання корисних копалин з відкритих виробок кар'єру. Кожна з цих технологій має свої переваги і недоліки. Зокрема, традиційні гірничі роботи дозволяють проводити виймання прибортових запасів від масиву до борту кар'єра, але суттєвими недоліками цього способу є низька ефективність виконання гірничих робіт, незначний коефіцієнт вилучення корисних копалин, висока безпека праці та ін.

Гірничі комплекси безлюдного виймання є відносно безпечними в експлуатації та зазвичай економічно доцільними, але мають обмежене застосування по гірничо-технічним та технологічним умовам. Розробку гірського масиву можуть проводити лише в одному напрямку – від борта в глибину масиву. Це негативно впливає на формування напруженого стану розроблюваного борту кар'єра, що робить його поведінку менш прогнозованою. Комплекси безлюдного виймання можуть утворювати отвори прямокутної форми в гірському масиві міцністю $f = 3,8...7$ за шкалою Протод'яконова, довжина яких може досягати до 350 м, та круглі отвори довжиною до 100 м та діаметром 0,5 м і більше. Остання система більш маневрена, але міцність гірських порід не повинна бути більшою $f = 3$. Практичний досвід використання комплексів безлюдної виїмки корисних копалин на кар'єрах показав, що шнекові гірничо-видобувні системи забезпечують більш високу стабільність гірничих виробок та стійкість підробленого борта кар'єру.

В Україні існує значна кількість кар'єрів, в яких можливе виймання прибортових запасів корисних копалин. До них належать кар'єри з видобутку бурого вугілля, марганцевих руд, гіпсу, вапняку, горючих сланців, каоліну та ін. Тому геомеханічне обґрунтування можливості використання технології безлюдної виїмки неперекристалізованих вапняків в кар'єрі Гуменецького родовища цементної сировини є актуальним.

Згідно даних технічного проекту, об'ємна маса вапняків коливається від 1,52 до 2,70 т/м³, тобто середня об'ємна маса вапняків по кар'єру дорівнює 2,3 т/м³. Продуктивна товща представлена по своїй структурі двома різновидами – перекристалізованими і неперекристалізованими вапняками. Потужність корисної товщі вапняку в межах кар'єру коливається від 45 до 120 м. Міцність на стиснення перекристалізованих вапняків, в залежності від ступеня перекристалізації і кавернозності, знаходиться в межах 300-1300 кг/см², найбільш характерна становить 500-800 кг/см². Міцність неперекристалізованих вапняків Гуменецького родовища коливається від 44 до 300 кг/см², найбільш характерна міцність дорівнює 150-200 кг/см². Зважаючи на це, саме ці неперекристалізовані вапняки рекомендовані нами до виймання гірничими комплексами безлюдного виймання зі шнековим виконавчим органом.

З метою геомеханічного обґрунтування можливості підземної розробки прибортових запасів неперекристалізованих вапняків виконано моделювання поведінки борта кар'єра у програмному комплексі PLAXIS, застосувавши при цьому критерій міцності Мора-Кулона, та визначено величину вертикального осідання на поверхні борта в місці проведення видобувних робіт.

Приймаємо тривимірну модель частини борта висотою 30 м, шириною 25 м, глибиною 40 м.

Основні фізико-механічні властивості неперекристалізованих вапняків, які прийняті для розрахунків, наступні:

- середня об'ємна маса – 23 кН/м³;
- модуль пружності (Юнга) – $2,23 \cdot 10^7$ кН/м²;
- коефіцієнт Пуассона – 0,3;
- щеплення породи – 200 кН/м²;
- кут внутрішнього тертя – 31°.

Моделювання поведінки борта кар'єру під час виймання вапняку комплексом типу Highwall зі шнековим виконавчим органом діаметром 2,0 м виконано на глибину 40 м. При встановленні величини вертикального осідання гірського масиву, відстані між виймальними отворами приймалися наступні: 2,5; 2,0; 1,5; 1,0 та 0,5 м (рис. 1).

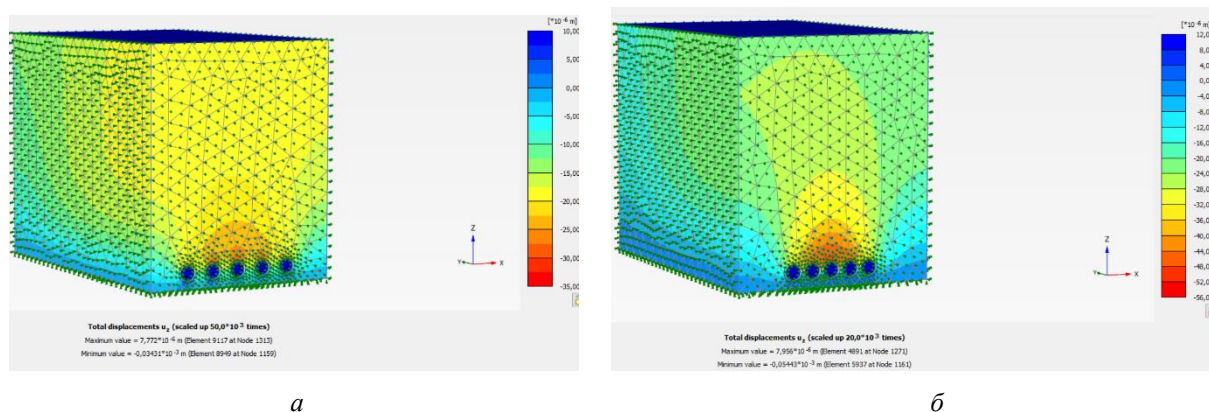


Рис. 1. Результати моделювання поведінки гірського масиву в борту кар'єру після виймання прибортових запасів шнековим виробками на відстанях: а – 2,5 м; б – 0,5 м

Вертикальне осідання поверхні борта кар'єру для зазначених відстаней між пройденими шнековими отворами наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Вертикальне зміщення поверхні борта кар'єру залежно від відстані між отворами

Відстань між виймальними отворами, м	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5
Вертикального осідання поверхні борта, 10^{-3} м	0,02948	0,03156	0,03431	0,03846	0,05443

На підставі даних табл.1, побудована графічна залежність величини зміни вертикальних осідань на поверхні гірського масиву від відстані між шнековими отворами в борту кар'єра (рис. 2).

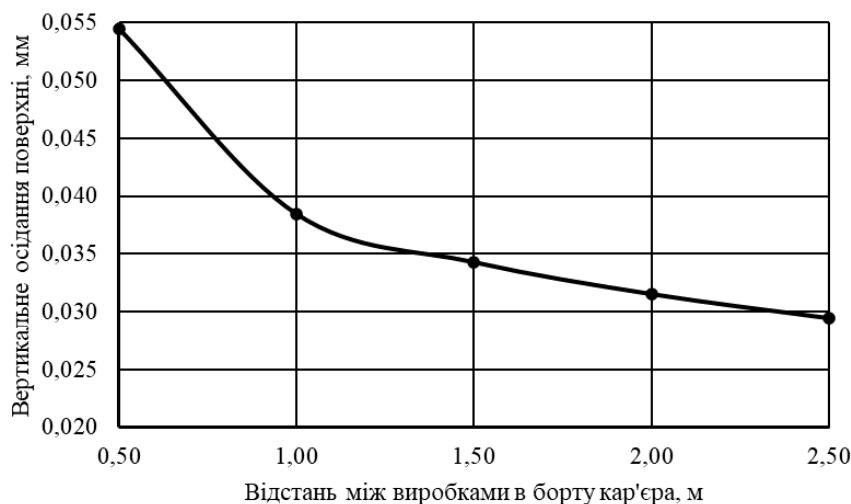


Рис. 2. Залежність величини зміни вертикальних осідань на поверхні гірського масиву від відстані між шнековими отворами в борту кар'єра

Таким чином, чисельне моделювання поведінки борта під час виймання неперекристалізованих вапняків комплексом зі шнековим виконавчим органом діаметром 2,0 м на глибину 40 м показало, що, при відстанях між виймальними отворами від 2,5 до 0,5 м, значення вертикальних осідань поверхні є незначними і змінюються в межах від 0,0295 до 0,0544 мм відповідно, тобто перевищення припустимого осідання в 15 мм не зафіксовано.

Пилипко В.І., студентка 3 курсу, групи ГГ-30
Іськов С.С., к.т.н., доц., кафедра маркшейдерії
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЕКТНИХ РОБІТ У ГІРНИЧІЙ ГАЛУЗІ

Капітальне будівництво, зокрема і гірничих підприємств, проводиться та фінансується тільки за затвердженими проектами та кошторисами. Тому перед початком будівництва кар'єру (перед виконанням будівельно-монтажних та гірничо-капітальних робіт) повинні бути виконані проектні та інші інжинірингові роботи. **Проектні роботи** – роботи, які пов'язані зі створенням проектної документації на будівництво (в тому числі у разі необхідності, інформаційної моделі об'єкту будівництва). **Інжинірингова діяльність у сфері будівництва (інжиніринг)** – діяльність з надання послуг інженерного та технічного характеру, до яких належать проведення попередніх техніко-економічних обґрунтувань і досліджень, експертизи проекту, розробка програм фінансування будівництва, організація виготовлення проектної документації, проведення конкурсів і торгів, укладання договорів підряду, координація діяльності всіх учасників будівництва, а також здійснення технічного нагляду за будівництвом об'єкта архітектури та консультації економічного, фінансового або іншого характеру.

У світі, де економічні умови, технології та соціальні вигоди швидко розвиваються, проектна діяльність має особливе значення. Організація проектної роботи – це не технічна процедура, а цілісний комплекс управлінських дій, що гарантує наявність ідей. Ефективність реалізації проекту залежить не лише від якості організації, але й від репутації команди або організації як єдиного цілого. Проектна діяльність включає певні обмеження щодо часу, бюджету та ресурсів, спрямовані на досягнення конкретної мети. Саме тому організації потрібен системний підхід: чітке планування, раціональне використання ресурсів, ефективна комунікація та постійне слідування за процесом виконання.

Процес проектування гірничого підприємства включає кілька основних етапів:

- підготовка вихідних даних замовником проекту і їх передача проектній організації, яка буде здійснювати проектування; техніко-економічне обґрунтування кондицій на мінеральну сировину проектною організацією для встановлення економічної доцільності розробки родовища; техніко-економічне обґрунтування необхідності проектування будівництва, розширення або реконструкції гірничого підприємства; розробка проекту експлуатації родовища; розробка робочої документації з усіма специфікаціями на матеріали та устаткування, зокрема проекту організації будівельно-монтажних робіт, з інвесторською кошторисною документацією; передача розробленої проектної документації замовнику.

Проекти і кошториси виконують спеціалізовані проектні організації та проектні інститути. В цілому за проект, за якість і терміни його виконання відповідає головний інженер проекту (ГІП), який призначається по кожному проектуваному об'єкту керівництвом проектної організації. Головний інженер проекту є відповідальною особою за архітектурно-технічні, економічні, екологічні, санітарно-гігієнічні якості проекту у цілому. Хоча роботи з розробки проектної документації це значною мірою є творчий процес, однак проектна документація повинна розроблятися з урахуванням вимог містобудівної документації, вихідних даних на проектування та дотриманням вимог законодавства, будівельних норм, нормативно-правових актів з охорони праці, вимог з питань інженерно-технічних заходів цивільного захисту та інших нормативних документів. Тому при виконанні проектних робіт проектною організацією повинні забезпечуватись:

- відповідність проектної документації вимогам чинних нормативних документів;
- захист навколишнього природного середовища, екологічну безпеку і раціональне використання природних ресурсів;
- відповідність вимогам з енергозбереження;
- експлуатаційну надійність;
- ефективність інвестицій;
- патентну чистоту прийнятих технічних рішень та застосованого обладнання;
- відповідність проектних рішень вихідним даним.

Документація проекту є основою для:

- підприємства – для рішення про будівництво кар'єра і ефективності інвестування;
- банку – для фінансування будівництва і контролю витрат згідно кошторису і календарю капітальних вкладень;
- дирекції кар'єру, що будується – для організації будівництва кар'єру;
- дирекції діючого підприємства – для планування гірничих робіт і контролю експлуатаційних витрат.

Висновок. Організація проектної діяльності є складним, але ключовим процесом, що потребує системного підходу, стратегічного мислення та ефективної командної роботи. Успішне управління проектом базується на чіткому плануванні, злагодженій комунікації, раціональному використанні ресурсів і правильному виборі управлінської методології. У сучасному мінливому світі лише цілісна та гнучка організація проектів забезпечує досягнення цілей і конкурентоспроможність підприємств.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БІОЧАРУ ЯК ЗАСОБУ ВІДНОВЛЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ, ПОРУШЕНИХ ВИДОБУТКОМ ТИТАНОВОЇ СИРОВИНИ

Видобуток ільменіту в Україні здебільшого відбувається відкритим способом, що спричиняє помітне порушення природних ландшафтів, зменшення площ родючих земель, а також ерозію ґрунтів і порушення водного балансу. Унаслідок таких антропогенних змін нагальною стає потреба у комплексній рекультиваци ділянок, яка має на меті відновлення екосистеми та повернення земель до стану, придатного передусім для сільськогосподарського використання, що особливо актуально для України.

Аналіз стану ґрунтів на територіях, що пройшли рекультивацію після видобування ільменіту, засвідчує їхню переважно піщану або супіщану структуру з низькими вологоутримуючими властивостями та обмеженим вмістом поживних речовин. З огляду на це застосування добрив і агротехнічних заходів стає визначальним чинником для прискорення відновлення продуктивності ґрунтів і підвищення їх економічної цінності. Пошук і впровадження нових, більш ефективних методів рекультиваци надзвичайно важливі для забезпечення стійкого розвитку гірничої галузі та збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь. Особливого значення ця проблема набуває в умовах сьогодення, коли через збройний конфлікт країна вже втратила значну частину сільськогосподарських угідь [1].

Метою роботи є комплексне обґрунтування ефективності біочару як фіторе mediaційної добавки для відновлення агрохімічних властивостей ґрунтів, порушених гідромеханізованим видобутком ільменіту.

Відвали гірничих підприємств, що займаються розробкою ільменітових родовищ, формуються переважно з відходів видобутку та збагачення руди. Хімічний склад цих відвалів істотно залежить від мінералогічних особливостей конкретного родовища та застосовуваних технологічних процесів. Як правило, серед основних компонентів присутні оксиди кремнію (SiO_2), алюмінію (Al_2O_3), заліза (Fe_2O_3 та FeO), титану (TiO_2) та інші сполуки в менших кількостях [2].

Для прикладу, Валки-Гацьківське розсипне родовище ільменіту (Іршанська група родовищ в Україні) обране в якості об'єкта дослідження, сформоване переважно алювіальними і елювіальними відкладами різнозернистого піску, суглинків, супісків і вторинних каолінів. Основний рудний мінерал у цих відкладах — ільменіт, зерна якого коливаються за розмірами у діапазоні від 0,1 до 2–3 мм. Вміст ільменіту в розсипах може змінюватися від 15–20 до 200–400 кг/м³, а середній показник становить 60–80 кг/м³. Водночас до уваги слід брати вплив таких чинників, як вивітрювання, гідрологічні умови та ступінь вилугування, адже вони можуть призводити до суттєвих відмінностей у хімічному складі відвалів, тож у кожному конкретному випадку варто проводити детальні аналітичні дослідження.

З огляду на описані мінеральні особливості та потенційну наявність важких металів у таких відвалах, постає питання щодо ефективних способів поліпшення їх фізико-хімічних властивостей і зменшення токсичного впливу на рослини та довкілля. У цьому контексті потенційно вагому роль може відіграти внесення біочару як перспективного матеріалу для рекультиваци та відновлення родючості деградованих ґрунтів [3].

Біочар (біовугілля) являє собою пористий матеріал, що отримується методом піролізу органічних решток (деревини, сільськогосподарських відходів чи іншої біомаси) [4]. Серед важливих аспектів дії біочару окрему увагу варто звернути на вплив на кислотно-лужний баланс, адже він частіше за все підвищує або стабілізує показник рН, що є важливим для кислих хвостів з високим вмістом сульфідів, здатних утворювати сірчану кислоту при окисленні. З урахуванням того, що у хвостосховищах, де відбувається видобуток ільменіту гідромеханізованим способом, рН часто зміщується в кислу зону (аж до значень нижче 5), внесення біочару сприяє його поступовій нейтралізації.

Ефективна витрата біочару залежатиме від типу ґрунту в який він вноситься. Для забруднених ґрунтів (з оксидами металів чи важкими металами) рекомендується додавання біочару у кількості 5–15% за масою залежно від рівня забруднення. У випадку піщаних, або малородючих ґрунтів це значення становить 5–8% за масою, що дозволяє покращити утримання води та поживних речовин. Для легких ґрунтів (з низькою структурою) достатньо 3–5% за масою, що дозволить забезпечити покращення структури та зменшення ущільнення. Для підтвердження доцільності застосування біочару з метою відновлення порушених гірничими роботами площ було проведено емпіричне дослідження, яке дозволить зробити прогноз стосовно ефективності запропонованих рішень за умов рекультиваци ільменітових родовищ. В ході виконання дослідження в межах рекультивованих водогосподарським методом ільменітових родовищ було відібрано 4 зразки ґрунту по 2 кг кожен.

Кожну первинну пробу ґрунту було квартовано, унаслідок чого одержано чотири лабораторні зразки масою по 0,5 кг. До трьох з них було додано біочар у дозах 5, 10 та 15 % за масою. Четвертий зразок, з огляду на потенційну синергетичну дію органічних компонентів, збагачено комплексною добавкою, яка містила 5 % біочару та 5 % верхового торфу, хімічно та фізично спорідненого з біочаром і здатного посилювати сорбційно-буферні властивості суміші. Після ретельного перемішування добавок із субстратом визначено початкову кислотність (рН) кожного зразка, а подальший моніторинг цього показника здійснювали з інтервалом 14 діб упродовж періоду у 42 дні.

Таким чином було зібрано початкові дані, що дозволили кількісно оцінити швидкість та амплітуду нейтралізації кислотності під впливом різних доз біочару та його комбінації з торфом.

Часові криві рН для чотирьох місць відбору проб (рис. 1) демонструють одноманітну тенденцію підвищення кислотно-лужного показника, яке зберігає зростаючий характер. Найбільший ефект спостерігається у випадку внесення 15 % біочару, середнє зростання рН становить $\approx 0,3$ од. Доза 10 % забезпечує дещо меншу нейтралізацію ($\approx +1,5$ од.), так само як і 5 % біочару (окрім 4-ї проби).

Комбінована добавка «5 % біочару + 5 % торфу» також демонструє приріст рН, подібний до додавання 15 % біочару, перевищуючи його на окремих часових відрізках. Це свідчить про синергетичний ефект, коли торф, збагачений гуміновими кислотами, підсилює катіонообмінну ємність та сприяє додатковій буферизації, дозволяючи зменшити витрати біочару без втрати ефективності.

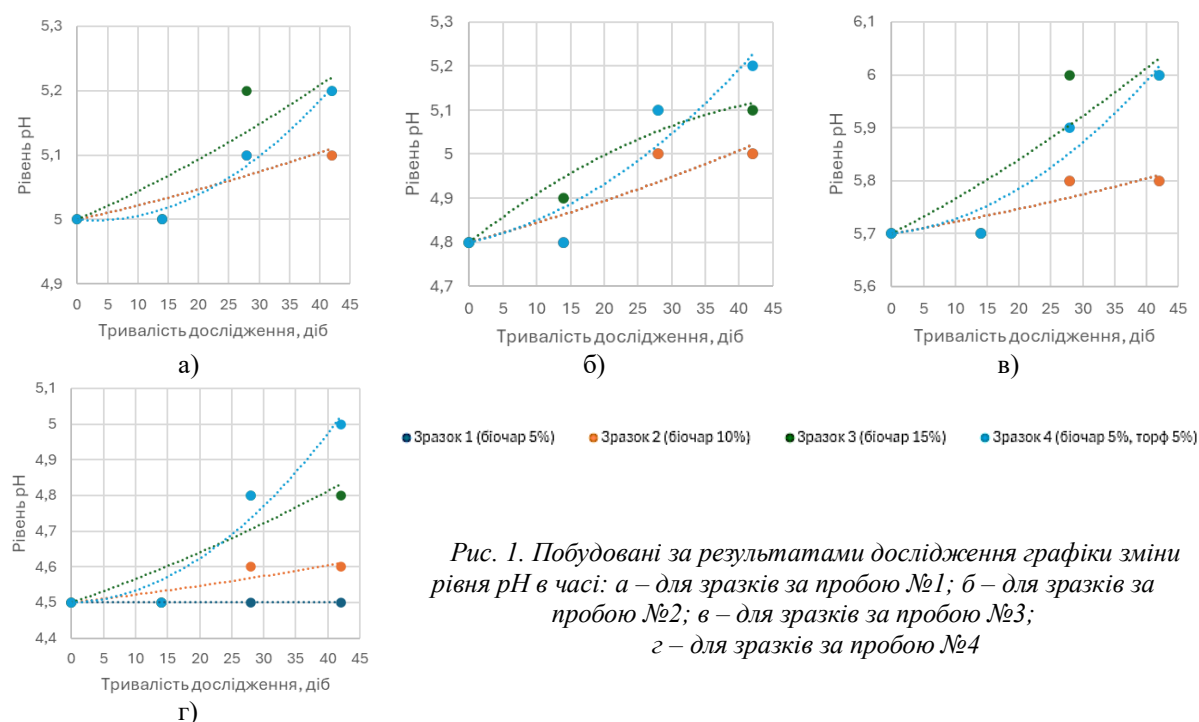


Рис. 1. Побудовані за результатами дослідження графіки зміни рівня рН в часі: а – для зразків за пробою №1; б – для зразків за пробою №2; в – для зразків за пробою №3; г – для зразків за пробою №4

Проведене дослідження було спрямоване на удосконалення методів сільськогосподарської рекультивації відвалів та хвостосховищ, утворених унаслідок гірничих робіт з видобування ільменіту. Експериментально доведено, що внесення біочару істотно покращує агрохімічний стан деградованих субстратів, оскільки вже на четвертому тижні після застосування спостерігалось підвищення показника рН, причому найбільша нейтралізація кислотності відбулася у варіантах із 15 % біочару та з комплексною добавкою 5 % біочару + 5 % торфу. У першому випадку рН зсунувся у бік нейтральних значень, що свідчить про високу буферну здатність карбонізованої біомаси, а у другому, помітний приріст рН може бути пояснений збагаченням ґрунту гумусом завдяки торфу, що потенційно підвищує його родючість.

Отже, результати дослідження підтверджують доцільність використання біочару як добавки для рекультивації відвалів ільменітових родовищ. Оптимальним з огляду на ефективність і економічну доцільність є застосування 15 % біочару або його поєднання з торфом у співвідношенні 5 % + 5 % відповідно, що забезпечує не лише нейтралізацію кислотності, а й створює сприятливі умови для росту рослин-піонерів. Подальше масштабування цієї технології, доповнене висаджуванням невибагливих бобових культур (зокрема люпину), здатне пришвидшити формування гумусового горизонту, покращити водний режим і сприяти стійкому відновленню родючості порушених земель. Впровадження таких підходів відповідає стратегії сталого розвитку й екологічної реабілітації промислових ландшафтів України.

Список використаних джерел:

1. Іванов Є. А., Біланюк В. І. Проблеми рекультивації і ревіталізації земель, порушених гірничими роботами. Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування", Трускавець, Україна, 6–10 листопада. 2017. С. 262–270
2. Смірнов А., Богданова М., Венглівська В. Мінералогічні особливості та умови формування ільменітових руд Валки-Гацківського родовища. Вісник Львівського університету. Серія геологічна. 2016. Вип. 30. С. 63-69.
3. Крюченко Н.О., Язвинська М.В., Жовинський Е.Я. Еколого-геохімічна оцінка поверхневих відкладів території Іршанського родовища ільменіту. Scientific Journal «ScienceRise». 2015. Вип. 3, № 1(8). С. 25-28. URL: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.38728>
4. Заліван Д.І., Піскун І.А. Мультидисциплінарний підхід до рекультивації порушених гірничими виробками площ на прикладі ільменітових кар'єрів. Тези II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми гірництва та будівництва» 21 листопада 2024 року. Житомир: «Житомирська політехніка», 2024. С. 30-31.

Побігайло Д.П., аспірант, курс 2, група PhD 184-23-2
Факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Іськов С.С., к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ ДОПОВНЕННЯ SBAS: ОГЛЯД І ЗАСТОСУВАННЯ

Глобальні навігаційні супутникові системи (Global Navigation Satellite System, GNSS), такі як Global Positioning System (GPS), Galileo, GLObal Navigation Satellite System (GLONASS) та BeiDou Navigation Satellite System (BeiDou), стали невід'ємною частиною для сучасних геодезичних, транспортних та наукових застосувань [1]. Проте відкритий режим GNSS забезпечує точність порядку 5–10 метрів і не гарантує необхідного рівня цілісності сигналу для критичних операцій, зокрема в авіації та землеробстві. Для підвищення точності позиціонування були розроблені супутникові системи доповнення (Satellite-Based Augmentation Systems, SBAS). У цій роботі здійснено комплексний огляд принципів роботи SBAS, порівняння основних регіональних реалізацій, аналіз сфер застосування та перспектив подальшого розвитку цих систем.

Функціонування супутникових систем доповнення ґрунтується на трьох ключових етапах: зборі GNSS-спостережень наземними референційними станціями, обробці цих даних у центральному пункті та трансляції корекцій через геостационарні супутники.

Спочатку наземні референційні станції (наприклад, EGNOS Reference Integrity Monitoring Stations, EGNOS RIMS) збирають сирі спостереження GNSS від супутників GPS, Galileo та інших систем і передають ці дані до Master Control Center (MCC).

У MCC, згідно з вимогами стандарту RTCA DO-229C, здійснюється розрахунок поправок орбіт супутників і годинникових зсувів, а також побудова іоносферної моделі на основі даних International GNSS Service (IGS) для забезпечення регіональної корекції затримок сигналу [2, 3].

Далі сформовані корекційні повідомлення у форматі SBAS (Fast Corrections, Ionospheric Grid, Integrity Messages) передаються на борту геостационарних супутників, які ретранслюють їх на користувацькі приймачі в діапазоні L1.

Нарешті, GNSS-приймачі з підтримкою SBAS декодують отримані повідомлення та застосовують корекції в реальному часі, що дозволяє знизити позиційну похибку до 1–2 м та своєчасно повідомляти про порушення цілісності сигналу.

Супутникові системи доповнення нині функціонують у шести основних регіонах:

Wide Area Augmentation System (WAAS), США: забезпечує покриття Північної Америки з 2003 р. Система використовує 38 референційних станцій та два MCC у Колорадо та Флорида для обчислення корекцій. Нещодавні випробування розширення WAAS на південний схід Канади показали збереження горизонтальної точності ≈ 1 м навіть за широт 55° N. WAAS застосовує алгоритм адаптивної фільтрації для компенсації тропосферних збурень, що знижує помилку в дощові дні на 10 % [4].

European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), Європа: після офіційного запуску в 2009 р. наразі об'єднує 40 RIMS-станцій і три контрольні центри (Тулуза, Фучино, Берн) для формування іоносферної карти з сіткою $5^\circ \times 5^\circ$ та часовим кроком 5 хв. Через сервіс EGNOS Data Access Service (EDAS) користувачі можуть отримувати SBAS-корекції через Інтернет (TCP/IP), що відкриває застосування в мобільних додатках. EGNOS EDAS Application Programming Interface (API) відкрито для розробників, що дозволяє інтегрувати SBAS-корекції в GIS-додатки та автономні системи [5, 6, 7].

Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS), Японія: з 2007 р. обслуговує Японські острови та прилеглі моря; має 14 RIMS і один MCC у Токіо. Точність позиціонування становить $\sim 1,5$ м, що використовується в авіації й риболовецьких судах [8].

GPS Aided GEO Augmented Navigation (GAGAN), Індія: введена в експлуатацію у 2013 р., охоплює Індійський субконтинент. Мережа з 30 RIMS і два MCC забезпечує точність ~ 1 м і час реакції на збої < 3 с [9].

System for Differential Corrections and Monitorin (SDCM), Росія: з 2011 р. підтримує GLONASS; 13 референційних станцій і Центр у Москві видають корекції з точністю ~ 2 м [9].

BeiDou Satellite-Based Augmentation System (BDSBAS), Китай: з 2016 р. експлуатується на базі BeiDou; має 24 RIMS і три центри обробки, забезпечує точність 1–2 м на території Китайської Народної Республіки [9].

Супутникові системи доповнення значно розширюють функціональні можливості базових GNSS, забезпечуючи високоточні корекції та безперервний моніторинг цілісності сигналу. У авіаційній навігації SBAS застосовується для сертифікованих підходів до посадки категорії CAT-I, що дозволяє зменшити мінімальну висоту візуального контакту з 550 до 200 футів над смугою, підвищуючи безпеку польотів за складних метеоумов. Водночас у прецизійному землеробстві SBAS інтегрується із системами

автопілотування тракторів і сівалок, зменшуючи перекриття проходів і забезпечуючи економію пального та добрив; це призводить до збільшення врожайності завдяки точності позиціонування близько 1 м. В морській і річковій навігації SBAS доповнює традиційний Differential Global Positioning System (DGPS), сприяючи більш точному входу в порти й маневруванню великих суден у вузьких каналах, що в середземноморському регіоні доведено моделлю EGNOS. Окрім того, у сфері безпілотних літальних апаратів (БпЛА) SBAS-приймачі дозволяють виконувати картографічні та інспекційні польоти з точністю 1–2 м без розгортання локальних базових станцій, що значно спрощує операції БпЛА [7].

Попри численні переваги, SBAS має і певні обмеження. Затримка передачі корекційних повідомлень, яка становить приблизно 250 мс, може бути критичною для застосувань із високою динамікою руху, наприклад у деяких безпілотних і роботизованих системах. Крім того, SBAS менш ефективний у зонах зі значними перешкодами супутниковому сигналу — у щільній міській забудові чи гірській місцевості, де виникає багаторазове відбиття сигналу та затінення горизонту.

Висновки. Використання SBAS дозволяє зменшити горизонтальну похибку стандартного GNSS із 5–10 м до 1–2 м і в режимі реального часу сповіщати про неприпустимі збої сигналу. Це забезпечує необхідний рівень безпеки для авіаційних підходів категорії CAT-I та широкого спектра промислових застосувань.

Оскільки SBAS використовують існуючу інфраструктуру GNSS і геостационарні ретранслятори, користувачі не потребують власних базових станцій. Це робить технологію привабливою для сільського господарства, морської навігації й безпілотних систем, де розгортання локальних мереж економічно не виправдане.

Затримка передачі корекцій (~250 мс) і зниження ефективності в умовах багатопляхового поширення та затінення сигналу (міські каньйони, гірські райони) вимагають комбінування SBAS із системами Ground-Based Augmentation System (GBAS), Real-Time Kinematic (RTK) або інерційними датчиками для критичних високодинамічних задач.

Інтеграція SBAS з мульти-GNSS (EGNOS V3 із Galileo) та розширення покриття (Southern Positioning Augmentation Network, SouthPAN) підвищать доступність і надійність високоточних корекцій. Впровадження SBAS-приймачів у мобільні пристрої сприятиме масовому застосуванню технології в споживчій електроніці й Internet of Things (IoT).

Для досягнення сантиметрової точності в складних умовах слід комбінувати SBAS із локальними методами (GBAS, RTK) або з Inertial Measurement Unit (IMU). Дослідникам варто звернути увагу на розвиток адаптивних алгоритмів фільтрації й машинного навчання для покращення моделювання іоносферних та тропосферних збурень.

Список використаних джерел:

1. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and E. Wasle, GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more, Springer, 2007.
2. RTCA. DO-229C: Minimum Operational Performance Standards for Satellite-Based Augmentation System Airborne Equipment. RTCA, Inc., December 12, 2018. (доступно через RTCA Store або академічну бібліотеку).
3. IGS – International GNSS Service. <https://www.igs.org/>.
4. Federal Aviation Administration. Satellite Navigation - Wide Area Augmentation System (WAAS). https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas.
5. Battrick, B., & Danesy, D. (Eds.). (2006). The European Geostationary Navigation Overlay System – A Cornerstone of Galileo (ESA SP-1303). Noordwijk, The Netherlands: ESA Publications Division. ISBN: 92-9092-453-5.
6. European Space Agency. EGNOS PRO Service. <http://www.egnos-pro.esa.int/>.
7. European Satellite Services Provider SAS. EGNOS User Support. <https://www.essp-sas.eu/>.
8. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), Japan. MSAS Overview. <https://www.mlit.go.jp/en/index.html>.
9. European Space Agency – GNSS Supervisory Control Center. SBAS Systems. Navipedia. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/SBAS_Systems.

ГЕОДЕЗИЧНИЙ СУПРОВІД БУДІВНИЦТВА ВИСОТНИХ СПОРУД

Геодезичний супровід будівництва будь-яких споруд, зокрема, і висотних можна поділити на 6 основних етапів (рис.1): підготовчий етап, коли проводиться топографічна зйомка будівельного, інженерно-геодезичні вишукування, створення геодезичної розмічувальної основи (гро та розробка проекту виконання геодезичних робіт (пвгр) з обґрунтуванням точності на всіх етапах будівництва та визначенням методики передачі координат і висот на монтажні горизонти; етап нульового циклу, на якому починається розмічування котловану, здійснюється контроль земляних та розмічування осей фундаменту; етап зведення надземної частини, де відбувається перенесення осей і висот на монтажний горизонт; етап оздоблювальних робіт і благоустрою, який включає розмічування осей для монтажу фасадних систем та контроль монтажу фасадних конструкцій та елементів благоустрою території; етап введення в експлуатацію, а також етап моніторингу під час експлуатації.

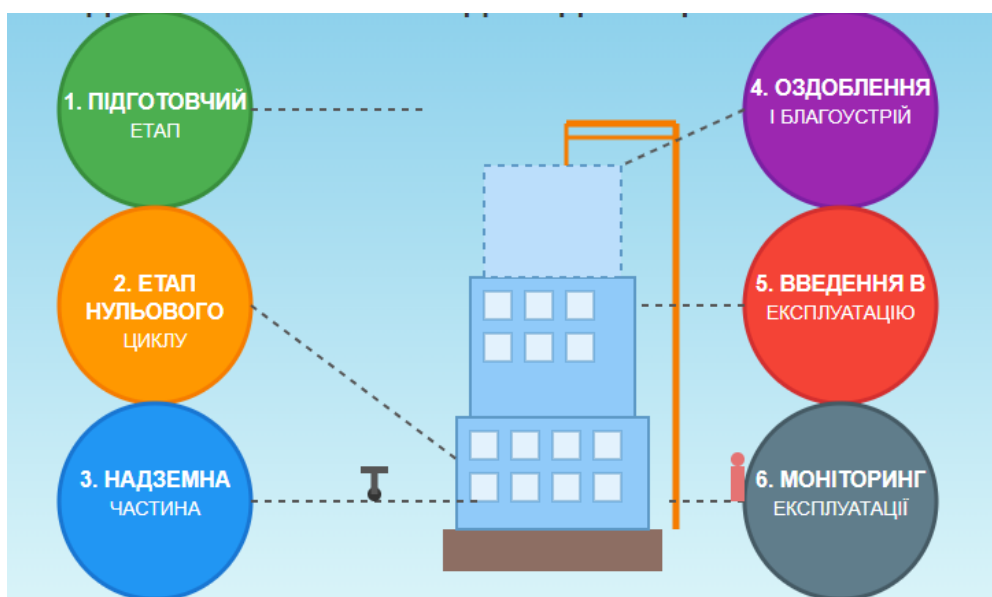


Рис. 1. Геодезичний супровід будівництва висотних споруд

При цьому вимоги до точності вимірювань при будівництві висотних споруд регламентуються державними будівельними нормами дбн в.1.3-2:2010 "геодезичні роботи в будівництві", середня квадратична похибка (СКП) розмічування основних осей повинна становити $\pm 1-2$ мм, а СКП передачі висот – $\pm 2-3$ мм. Згідно з ДБН В.2.2-41:2019 "Висотні будівлі. Основні положення", відхилення осей від вертикалі для висотних будівель не повинно перевищувати $1/1500$ висоти, а відхилення осей у плані – не більше 3 мм. Ці жорсткі вимоги обумовлені особливою важливістю забезпечення геометричної точності при зведенні висотних об'єктів.

Геодезичний супровід будівництва висотних споруд може відбуватися традиційними методами геодезичного забезпечення: метод прямокутних координат, полярний метод, метод вільної станції, метод геометричного нівелювання, метод тригонометричного нівелювання та метод вертикального проектування. Кожен з перерахованих способів має ряд

Для пришвидшення проведення геодезичного супроводу все частіше використовуються супутникові системи. Сучасне геодезичне забезпечення будівництва неможливо уявити без використання глобальних навігаційних супутникових систем. Супутникові вимірювання можуть виконуватися в різних режимах: абсолютному (з використанням одного приймача), диференціальному (з використанням базової станції і рухомого приймача), режимі реального часу (RTK) та статичному (тривалі спостереження на пункті). Вибір режиму залежить від необхідної точності та умов виконання робіт.

В таблиці 1 проведено порівняльну характеристику використання традиційних, супутникових та комбінованих методів

Таблиця 1

Порівняльна характеристика використання традиційних, супутникових та комбінованих методів геодезичний супровід будівництва висотних споруд

Критерій порівняння	Традиційні методи	Супутникові методи	Комбіновані методи
Точність планових координат	1-3 мм	10-20 мм (RTK), вища у статиці, але поступається традиційним	Залежить від застосування методів на різних етапах (може досягати високої точності традиційних методів для розмітки та контролю)
Точність висот	0,5-1 мм	15-30 мм (RTK), поступається традиційним навіть у статиці	Залежить від застосування методів (може досягати високої точності традиційних методів для контролю вертикальності)
Продуктивність	Низька, послідовні вимірювання, потрібна геодезична мережа	Висока, паралельні вимірювання, не обов'язкова наявність розвинутої мережі, швидке визначення координат (RTK)	Висока на етапах створення основи та моніторингу, може бути нижчою на етапах точних розмічувальних робіт, але загалом ефективніша
Умови застосування	Будь-які умови (в приміщеннях, тунелях, щільній забудові), потрібна пряма видимість між точками, стабільні до електромагнітних перешкод та сонячної активності	Потрібне відкрите небо для прийому сигналів, обмежене застосування в щільній забудові, під мостами, всередині будівель, чутливі до електромагнітних перешкод та сонячної активності	Поєднують можливості обох методів, дозволяючи працювати як на відкритих майданчиках, так і в складних умовах (в приміщеннях, при обмеженій видимості - традиційними методами)
Вартість	Вища вартість виконання робіт через трудомісткість, нижча вартість обладнання	Нижча вартість виконання робіт завдяки продуктивності, вища вартість обладнання, можливі додаткові витрати на RTK-мережі	Економічно доцільне рішення, оптимізує витрати за рахунок ефективного розподілу завдань між методами
Застосування для висотного будівництва	Основні для робіт, що вимагають високої точності (розмітка, контроль)	Створення геодезичної основи, моніторинг деформацій (часто в комбінації з традиційними)	Оптимальний підхід: супутникові методи для створення основи та моніторингу, традиційні - для розмічувальних робіт та контролю точності

Для забезпечення ефективного геодезичного супроводу будівництва висотних споруд рекомендується застосовувати комплексний підхід, який поєднує традиційні та супутникові методи. Таке поєднання дозволить максимально використати переваги кожного методу та зменшити їхні недоліки. Супутникові методи особливо ефективні на початкових етапах будівництва для створення ГРО, що забезпечує швидке і продуктивне формування опорної мережі з необхідною точністю. Також супутникові технології доцільно застосовувати для геодезичного забезпечення благоустрою території та зовнішніх інженерних мереж.

Традиційні методи є незамінними на етапах, що вимагають найвищої точності: при розмічувальних роботах, контролі монтажу конструкцій та проведенні зйомки. Особливого значення вони набувають при забезпеченні вертикальності висотної споруди, контролі геометричних параметрів каркасу та при роботах всередині будівлі, де супутникові сигнали недоступні. Моніторинг деформацій висотних споруд, як під час будівництва, так і в процесі експлуатації, найефективніше здійснюється комбінованими методами. Це дозволяє контролювати як вертикальні осідання та нахили будівлі (традиційними методами з міліметровою точністю), так і горизонтальні переміщення (супутниковими методами в режимі реального часу), тим самим забезпечуючи контроль стану висотної споруди при її експлуатації.

Поєднання традиційних та супутникових методів з сучасними технологіями (лазерне сканування, безпілотні літальні апарати, інформаційне моделювання будівель) дозволяє значно підвищити надійність, точність та інформативність геодезичного забезпечення. В умовах постійного зростання висотності будівель, ускладнення їхньої конструкції та підвищення вимог до безпеки, комбінований підхід до геодезичного забезпечення стає обов'язковим елементом сучасних технологій висотного будівництва, тим самим забезпечуючи оптимальне співвідношення точності, продуктивності та економічної ефективності геодезичних робіт, гарантуючи надійність і безпеку висотних споруд.

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ AGISOFT METASHAPE В ГІРНИЦТВІ

На сьогодні застосування БПЛА для проведення маркшейдерської зйомки стає дедалі поширенішим способом. Маркшейдерська зйомка за допомогою БПЛА може проводитися для різних цілей, та з певною метою. Основні завдання які можна виконувати за допомогою БПЛА є: замір складів готової продукції, проведення зйомки відпрацьованого простору кар'єру, створення топооснови підприємства.

В організаційному плані проведення маркшейдерських робіт за допомогою БПЛА вимагає від спеціалістів певних знань та вмінь. Поряд з навичками управління БПЛА потрібно мати і навички правильної оцінки технічних характеристик БПЛА та їх функціональних властивостей, для вибору БПЛА які застосовуються для конкретних завдань.

Щоб усунути людські помилки під час отримання зйомки 3D, дослідники постійно працюють над пошуком точного, стійкого рішення. Найбільш точними та повними способами отримання 3D хмари точок серед методів 3D зйомки, які зараз використовуються, є фотограмметрія та лазерне сканування [3]. Лазерний сканер — це активний датчик, який передає імпульси для визначення відстані, створення тривимірної хмари точок і оцінки координат за допомогою бортових навігаційних систем, таких як глобальна система позиціонування (GPS) або інерціальна навігаційна система (INS). Висота польоту, швидкість платформи, поле зору датчика та частота вибірки датчика – це лише деякі змінні, які впливають на щільність точок лазерного сканера. Використовуючи фотографії, зроблені візуальними датчиками, фотограмметрія — це технологія, яка отримує 3D-геометричні дані та хмари точок[1]. Фотограмметрія пропонує кілька ключових переваг перед лазерним скануванням, включаючи можливість використовувати відеокадри як вхідні дані та універсальність використання цифрових зображень, знятих різними пристроями для обробки зображень, навіть смартфонами. Крім того, він створює тривимірні хмари точок, які містять інформацію про колір, яку можна ущільнити. Фотограмметрія також відома своїми можливостями автоматизації, а головне, своєю економічною ефективністю[4]. З іншого боку, безпілотні літальні апарати (БПЛА) все частіше використовуються для фотограмметричних завдань через їх низьку вартість, низьку висоту польоту, можливості збору даних у реальному часі, швидку доступність датчиків широкого діапазону та здатність збирати географічні дані.

При використанні БПЛА для проведення маркшейдерських робіт основним з етапів є процес обробки матеріалів зйомки. На сьогодні існують наступні програмні рішення, такі як Pix4D, Reality Capture, Photoscan та інші, призначені для ефективної генерації тривимірних моделей за допомогою фотограмметричних методів. Ці програми особливо популярні з появою доступних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які дозволяють швидко та ефективно проводити аерофотозйомку. У результаті, виникла окрема категорія програм для автоматизованої обробки фотограмметричних даних, які використовуються в аерофотозйомці[2].

Основні напрями застосування Agisoft Metashape у гірництві:

1. Фотограмметрична зйомка та створення ортофотопланів. За допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) здійснюється аерозйомка гірничого об'єкта. Отримані знімки завантажуються в Agisoft Metashape, де відбувається їх автоматизована обробка: вирівнювання, побудова хмари точок, сітки (mesh), текстурування та генерація ортофотоплану. Такий ортофотоплан відображає реальний стан території з сантиметровою точністю, що дає змогу точно оцінити масштаби робіт, стан доріг, насипів і відвалів.

2. Побудова цифрових моделей рельєфу та обчислення обсягів. Agisoft Metashape дає змогу створити точні цифрові моделі рельєфу кар'єру, з яких можна обчислити об'єми ґрунту, що був видобутий або запланований до розробки. Це важливо для контролю виробничих показників та ведення звітності. Порівнюючи моделі, отримані в різні періоди, можна швидко оцінити зміни у рельєфі та уточнити динаміку розробки родовища.

3. Моніторинг геометрії гірничих виробок. Постійний контроль стану бортів кар'єру, крутизни укосів, глибини розкриття та інших параметрів є важливою умовою безпеки. За допомогою Metashape ці параметри можуть бути визначені автоматично або напівавтоматично на основі фотограмметричних моделей. Це значно знижує ризики, пов'язані з обвалами та іншими аварійними ситуаціями.

4. Інтеграція з іншими програмними продуктами. Отримані результати з Metashape легко експортуються у популярні формати (.dxf, .tif, .las, .obj тощо) і можуть бути інтегровані з CAD/GIS-системами — такими як AutoCAD, Civil 3D, MapInfo, Surpac, ArcGIS та ін. Це забезпечує безперервність виробничого циклу: від збору даних до аналітики, проєктування та прийняття рішень.

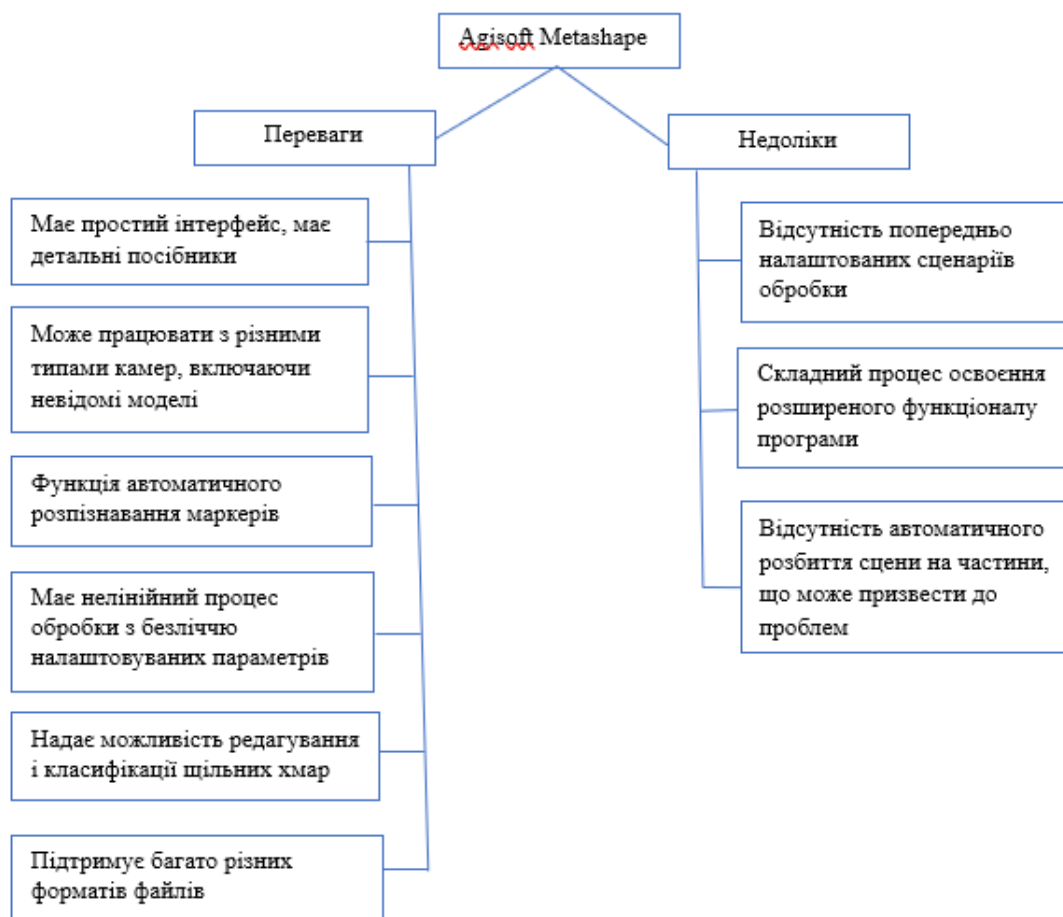


Рис. 1. Перелік основних переваг та недоліків AgiSoft Metashape

Використання Agisoft Metashape у гірничій справі значно покращує якість та ефективність моніторингу кар'єрів, шахт і відвалів. Завдяки фотограмметричним технологіям можна оперативно отримувати точні цифрові моделі місцевості, що сприяє підвищенню безпеки та ефективності гірничих робіт. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію цих методів з іншими технологіями, такими як лазерне сканування та супутниковий моніторинг.

Список використаних джерел:

1. Jarahizadeh, S.; Salehi, B. A Comparative Analysis of UAV Photogrammetric Software Performance for Forest 3D Modeling: A Case Study Using AgiSoft Photoscan, PIX4DMapper, and DJI Terra. *Sensors* 2024, 24, 286.
2. Polishchuk D & Panasyuk Andriy & Davydova I & Bondarchuk V. (2024). Researching the optimal combination of UAV equipment for performing surveying measurements and software for processing the results. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1415. 012029. 10.1088/1755-1315/1415/1/012029.
3. Куницька М.С. Використання аерофотозйомки в гірничій галузі / М.С. Куницька, А.О. Криворучко : Тези VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів», 16–17 квітня 2020 року. – Житомир : Житомирська політехніка, 2020. – С. 23–25.
4. Панасюк, А. В., Поліщук, Д. С. (2024). Обґрунтування вибору оптимального приладу БПЛА для проведення маркшейдерської зйомки. *Технічна інженерія*, (1(93), 420–427.

ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ КАПІТАЛЬНИХ ВИТРАТ НА СУЧАСНОМУ КАР'ЄРІ

У сучасних умовах динамічного розвитку гірничодобувної галузі питання оптимізації капітальних витрат на будівництво та модернізацію кар'єрів набуває особливої важливості, так як новітні технології дозволяють забезпечити безперервність виробничих процесів, знизити собівартість видобутку корисних копалин і підвищити конкурентоспроможність, а проектування гірничих підприємств із сучасними знаннями людства та програмним забезпеченням для обрахування витрат проекту може забезпечити максимальну економічну вигоду та точність у підрахунку витрат.

Але, на жаль, сьогодні це не тільки про технологічний розвиток та спрощення деяких процесів життєдіяльності, а також і про економічну нестабільність.

Тож, розглянемо, що таке капітальні витрати на кар'єрі, від чого залежить величина капітальних витрат та як негативна економічна ситуація впливає на цей вид витрат.

Капітальні витрати - це витрати на придбання довгострокових активів, які функціонують протягом тривалого періоду, з поступовою амортизацією ціни. Довгострокові активи – це такі матеріальні та нематеріальні активи, а також довгострокові фінансові інвестиції, строк служби яких становить більше одного року, які придбані для використання в господарській діяльності та не призначені для реалізації. На кар'єрах до матеріальних активів відносяться земля, адміністративні та промислові будівлі і споруди на ній, основне виробниче (гірниче та збагачувальне) та допоміжне обладнання тощо, а до нематеріальних – права оренди земельної ділянки та право на розробку родовища (спецдозвіл на користування надрами) та інші.

Загальні капітальні витрати поділяються на:

- 1) Витрати, пов'язані із створенням нової виробничої потужності для видобутку корисних копалин і виконання розкривних робіт як на етапі будівництва, так і під час експлуатації нового кар'єру;
- 2) Витрати на збільшення виробничих можливостей шляхом часткової реконструкції об'єкта в період його функціонування;
- 3) Витрати, спрямовані на підтримання наявної виробничої потужності, які виникають через фізичне або моральне старіння обладнання, необхідність видобутку на більшій глибині, збільшення відстані транспортування чи зростання міцності порід;
- 4) Витрати на повну реконструкцію або розширення кар'єру з метою збільшення його виробничої потужності. Такі інвестиції зазвичай здійснюються після того, як попередні вкладення будуть повністю окуплені, що зазвичай відбувається не раніше ніж через 10–12 років експлуатації.

Капітальні вкладення у відкриті гірничі роботи виконуються:

- у період будівництва кар'єру – для створення виробничої потужності підприємства (на гірничо-капітальні роботи, на придбання та монтаж обладнання, на будівництво промислових будівель і споруд, на соціально-побутове будівництво тощо);
- у період експлуатації кар'єру – для підтримки виробничої потужності кар'єру по гірничій масі та, при потребі, для розвитку виробничої потужності по корисним копалинам або збільшення річних об'ємів розкриву (на додаткові гірничо-капітальні та будівельні роботи, на придбання та монтаж додаткового обладнання, необхідного для збільшених об'ємів робіт, дальності транспортування, глибини робіт, а також нового обладнання замість фізично і морально зношеного тощо).

Приклади капітальних витрат, необхідних для забезпечення різних складових проектування та розробки кар'єру, наведені у таблиці 1.

Розмір капітальних вкладень у будівництво кар'єру визначається низкою природних, економічних і географічних чинників.

Природні чинники. Обсяг гірничо-капітальних робіт визначається переважно не стільки проектною потужністю підприємства, скільки умовами залегання корисних копалин, особливостями рельєфу, глибиною закладання траншей та довжиною фронту робіт, необхідного для розміщення обладнання при введенні кар'єру в експлуатацію. Найбільший вплив на сумарні капітальні витрати мають саме гірничо-капітальні роботи, пов'язані з розкриттям родовища. Їх частка зазвичай складає близько 9–12% від усього обсягу розкривних робіт кар'єру. Для зменшення цих витрат розкривні траншеї зазвичай проектують у місцях, де поклад знаходиться найближче до поверхні. Таким чином, чим менша потужність розкриву, тим менший обсяг гірничо-капітальних робіт, а відповідно і меншими будуть капітальні витрати.

Таблиця 1

Напрями витрат	Опис	Приклади витрат
Розвідувальні роботи	Вартість польових геологічних і маркшейдерських вимірювань, буропроби	Витрати на буріння шпурів, лабораторні аналізи, ГІС-моделювання
Документація та проектування	Вартість документів, дозволів та проектів	Витрати на отримання спецдозволу, права на користування земельною ділянкою, складання проектів тощо.
Основні виробничі будівлі та споруди	Виробничі будівлі та цехи	Витрати на будівництво виробничих будівель та цехів
Адміністративні та допоміжні будівлі і споруди	Адміністративні, ремонтні, господарчі будівлі, споруди та службові зони, дороги	Витрати на будівництво адмінбудівель, майстерень, складів тощо
Транспортне господарство	Автомобільні гаражі, залізничні депо та інші об'єкти кар'єрного транспорту, залізничні дороги та автошляхи	Витрати на будівництво гаражів, депо, проведення доріг тощо
Підготовчі роботи	Підготовка робочої зони до видобутку	Витрати на виконання земляних робіт, проведення капітальних та розрізних траншей тощо.
Технічне обладнання	Закупівля, монтаж і пусконаладження машин і механізмів	Витрати на придбання екскаваторів, транспорту, допоміжного обладнання, переробного та збагачувального обладнання тощо.
Інженерні мережі та комунікації	Інфраструктура забезпечення енергією, водою, зв'язком тощо	Витрати на проведення ліній електропередач, мереж водопостачання та водовідведення, створення насосних станцій, радіомереж
Екологічна інфраструктура	Системи водоочистки, утилізації відходів, рекультивації	Витрати на будівництво очисних споруд, відстійник, систем рекультивації

Економічні чинники. Ці чинники здебільшого залежать від економічної ситуації в державі: стабільність курсу валюти (впливає на вартість матеріалів для будівництва, електроенергії, транспортних засобів для кар'єра, палива, розхідників для автомобільного або залізничного транспорту), міжнародні відносини з іншими країнами (з одного боку, багато автосамоскидів, екскаваторів, бульдозерів та інших транспортних засобів купується закордоном, а з іншого – часто там знаходяться споживачі продукції).

Географічні чинники. Ці чинники залежать від розташування безпосередньо самого кар'єра: на якій території знаходиться родовище, на скільки далеко від логістичного центру, який тип землі (чим родючіша земля тим більшою буде вартість її оренди чи придбання, а також рекультивація).

Якщо за природними та географічними факторами ми відносно нічого не можемо вдіяти, то за економічними ми можемо приймати певні рішення. Наприклад: у несприятливій економічній ситуації ми можемо зекономити на транспорті (придбати більш старіший та дешевший транспорт), що значно зменшить амортизаційний період, однак це призведе до збільшення витрат на ремонт застарілого обладнання або транспорту, що негативно відобразиться на терміні будівництва та продуктивності обладнання при його подальшій експлуатації.

Щоб не купляти застарілу техніку та обладнання, можна залучити інвесторів до цього процесу. Інвестором може бути контрагентом цього підприємства, тобто людина або підприємство, яке зацікавлена у вихідному продукті кар'єра, або шукати інвесторів закордоном. Таким чином, ми збільшуємо початкові капітальні витрати але, разом з тим, ми також збільшуємо термін амортизації, це означає, що транспорт або обладнання пропрацює на підприємстві довше та надійніше, а новітні технології зможуть зменшити самовартість видобутку корисних копалин на кар'єрі та зменшити негативний вплив на екосистему.

Перспективним також є не купівля вартісного гірничого обладнання, а його лізинг – тобто отримання необхідного обладнання у користування з можливістю подальшого його викупу або повернення після закінчення терміну договору. Використання лізинг дозволяє значно зменшити капітальні витрати на купівлю техніки або обладнання.

Сарнацький Ю.Т., студент 3-го курсу, гр. РР-52
 Науковий керівник: Піскун І.А., асистент
 Державний університет «Житомирська політехніка»

ОЦІНКА ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЩЕБЕНЕВОЇ СИРОВИНИ ПОЛОНСЬКОГО КАР'ЄРУ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Полонський щебеневий кар'єр розташований у Шепетівському районі Хмельницької області, та є одним із важливих об'єктів видобутку будівельних матеріалів у регіоні. Кар'єр розташований у північно-західній частині Українського кристалічного щита та займає площу, що характеризується складною геологічною будовою. В якості корисної копалини на Полонському родовищі вивчалися в основному граніти Кіровоградсько-Житомирського комплексу нижнього протерозою, так як мігматити на родовищі мають незначну область поширення.

Мінералогічний склад граніту наступний: плагіоклаз 50-55%, калішпат 55-60%, що переважають один з них над іншим, кварц 25-35%, в окремих випадках 15-20%, мікроклін 10-15% в окремих випадках 55-60%, біотит 2-5%, мусковіт 1-4%. Акцесорні мінерали представлені апатитом, цирколітом, рідше цирконом. Іноді апатит досягає розмірів 0,5-1,0 мм. На контакті калішпату і плагіоклазу часто спостерігаються реакційні взаємодії з виділенням мірмекітових вкраплень. Плагіоклаз-олігоклаз в незначній мірі пелітизований. Шкідливих домішок в породі не спостерігається.

Оцінка придатності корисної копалини як сировини для виробництва щебеню проводилася за результатами фізико-механічних випробувань гірської породи з зразків керн свердловин, а також щебеню, отриманого від дроблення керн і монолітів в лабораторних умовах (табл. 1).

Якість корисної копалини по пробам, відібраним з керн свердловин, оцінювалася відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-206:2009 «Щебінь і гравій із природного каменю для будівельних робіт. Технічні умови».

При випробуваннях за розширеною програмою визначалися наступні показники фізико-механічних властивостей: щільність справжня, щільність середня, водопоглинання, пористість, межа міцності на стиск у насиченому водою стані, марка породи по міцності. Всього за розширеною програмою досліджено 41 пробу.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості граніту Полонського родовища

Види визначення	Незмінені граніти	Порушені вивітрюванням граніти	Вивітрілі граніти
Справжня щільність, г/см ³	2,73	2,69	2,73
Середня щільність, г/см ³	2,68	2,6	2,57
Водопоглинання, %	0,14	0,52	0,37
Пористість, %	1,1	3,69	4,76
Межа міцності при стисненні (у сухому стані), кгс/см ²	1442	880	282
Межа міцності при стисненні (у водонасиченому стані), кгс/см ²	1167	880	282
Коефіцієнт зниження міцності	0,85	-	-
Зниження міцності при 10 циклах заморожування, %	1,8	-	-
Марка за морозостійкістю	100	-	-

Згідно з результатами дослідження фізико-механічних властивостей корисних копалин Полонського щебеневого кар'єру, особливу увагу привертають три основні типи гранітів: незмінені, порушені вивітрюванням та вивітрілі. Кожен із цих типів демонструє різну ступінь відповідності чинним європейським стандартам, зокрема EN 12620:2002+A1:2008, який регламентує вимоги до заповнювачів для бетону, та EN 13242:2002+A1:2007, що визначає характеристики щебеню для дорожніх і гідротехнічних споруд. Незмінені граніти характеризуються високими показниками справжньої та середньої щільності — 2,73 та 2,68 г/см³ відповідно. Ці значення повністю відповідають нормативам європейських стандартів, які вимагають мінімальної щільності природного каменю не менше 2,00 г/см³. Водопоглинання незмінених гранітів становить 0,14%, що значно нижче гранично допустимого показника у 0,5%, що позитивно вплине на кількість циклів заморожування й відтавання. Пористість таких порід складає 1,1%, що свідчить про мінімальну кількість мікротріщин і високу структурну цілісність. Міцність при стиску в сухому стані сягає 1442 кгс/см² (близько 141 МПа), що значно перевищує мінімально допустимі 100 МПа. Навіть у водонасиченому стані граніти зберігають 85% своєї міцності, що говорить

про їхню стабільність. Морозостійкість на рівні F100 додатково підтверджує придатність цих порід для використання у всіх кліматичних зонах Європи.

Порушені вивітрюванням граніти вже демонструють дещо нижчі показники. Справжня щільність залишається прийнятною — 2,69 г/см³, однак середня щільність знижується до 2,6 г/см³, що свідчить про появу мікротріщин. Водопоглинання сягає 0,52%, що перевищує встановлену норму, і ставить під сумнів морозостійкість цих матеріалів. Пористість зростає до 3,69%, а міцність при стиску падає до 880 кгс/см² (86 МПа), що є граничним значенням для дорожніх робіт, але не відповідає вимогам для конструкцій з підвищеним навантаженням. Інформації щодо морозостійкості цієї групи порід не надано, однак за сукупністю параметрів можна припустити, що вона нижча за мінімально допустиму марку F50.

Вивітрілі граніти мають найбільш послаблені фізико-механічні характеристики. Попри те, що їх справжня щільність задекларована на рівні 2,73 г/см³, середня щільність падає до 2,57 г/см³, що свідчить про значне порушення внутрішньої структури. Водопоглинання складає 0,37%, що формально відповідає нормам, однак у поєднанні з високою пористістю 4,76% ці значення стають критичними. Найнижчий показник — це міцність на стиск: всього 282 кгс/см² (близько 28 МПа), що робить їх непридатними для будь-яких навантажених конструкцій. Морозостійкість не визначалася, але з урахуванням інших параметрів вона, ймовірно, є дуже низькою.

Таким чином, порівняльний аналіз показує, що основна група продукції, яка може бути цікавою для зовнішніх партнерів — це щебінь з незмінених гранітів. Ці породи відзначаються високою справжньою і середньою щільністю, низьким водопоглинанням та високою морозостійкістю. Їхні характеристики повністю відповідають або навіть перевищують вимоги європейських стандартів EN 12620:2002+A1:2008 та EN 13242:2002+A1:2007, що регламентують параметри заповнювачів для бетонів і дорожнього будівництва. Зокрема, міцність на стиск понад 1400 кгс/см² і морозостійкість F100 роблять цей щебінь придатним для використання в інфраструктурних проєктах у кліматично подібних до України регіонах Європи. Щодо порушених вивітрюванням та вивітрілих гранітів, то їхній експорт доцільний лише після сортування та чіткого розмежування за якістю. У разі необхідності ці породи можуть використовуватись як технічний заповнювач у другорядних будівельних роботах або для ландшафтного оздоблення, однак їхнє постачання повинне супроводжуватись чітким описом обмежень у використанні. У підсумку, Полонський щебеневий кар'єр має повний потенціал для виходу на ринки близького зарубіжжя з продукцією високої якості, яка задовольняє технічні вимоги ЄС. Подальші інвестиції в логістику, сертифікацію продукції за європейськими нормами та активне маркетингове позиціонування дозволять ефективно реалізувати цей потенціал.

Список використаних джерел:

1. Полонський щебеневий кар'єр. Опис діяльності та технологічних процесів видобутку. — Шепетівський район, 2022. — 45 с.
2. Геологічна характеристика Полонського родовища. Технічна документація щодо структури покладів. — Житомир: УКРГІПРОДОР, 2021. — 72 с.
3. Zhang Q., Liu E., Zhang J., Zhang C. Mechanical properties and microstructure of granite subjected to high-temperature treatment // *Engineering Geology*. — 2016. — Vol. 204. — P. 33–40. — DOI: 10.1016/j.enggeo.2016.02.004
4. ДСТУ Б В.2.7-206:2009. Будівельні матеріали. Сировина для виробництва піску, гравію та щебеню із гравію для будівельних робіт. Технічні умови [Електронний ресурс] / Науково-технічний комітет "Будстандарт"; наук. керівник Г. Желудков; розробники: О. Бобунов, О. Бобунова, В. Захарчук. — Введено: ІМЦ, Київ, 2010. — Режим доступу: https://dnaop.com/html/60247/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_%D0%91_%D0%92.2.7-206_2009
5. Pereira P., Faria P. Granite as a natural aggregate for road construction: Influence of mineralogy and weathering // *Construction and Building Materials*. — 2015. — Vol. 101. — P. 119–128. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.027
6. Polonne Stone — офіційний вебсайт виробника природного каменю (вироби з граніту, габро, лабрадориту, базальту тощо) [Електронний ресурс] / Polonne Stone. — Електронні дані. — Україна, 2025. — Режим доступу: <https://polonnestone.com.ua>
7. BS EN 12620:2002+A1:2008. Aggregates for concrete [Електронний ресурс] / British Standards Institution. — London: BSI, 2008. — 58 с. — Режим доступу: https://ibst.vn/upload/documents/file_upload/1655718098BS-EN-12620-2002-A1-2008.pdf
8. Török Á., Török G. Influence of physical properties on frost resistance of building stones // *Environmental Earth Sciences*. — 2015. — Vol. 74. — P. 7013–7023. — DOI: 10.1007/s12665-015-4674-6
9. SIST EN 13242:2003+A1:2008. Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction [Електронний ресурс] / Slovenski inštitut za standardizacijo. — Ljubljana: SIST, 2008. — 41 с. — Режим доступу: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/28909/d72095b8458f479ca45eb40ab50eb8ea/SIST-EN-13242-2003-A1-2008.pdf>

ОСОБЛИВОСТІ ЗАЛЯГАННЯ БУРШТИНУ В ПІЩАНИХ ҐРУНТАХ В РАЙОНІ ВОЛИНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Бурштин застосовується в різних галузях. Основним напрямом використання бурштину є ювелірно-виробнича галузь, широко застосовуються продукти його хімічної переробки в медичній та хімічній промисловостях. У ювелірній справі використовуються фракції бурштину великих та середніх розмірів для виготовлення прикрас. У медицині застосовують бурштинову кислоту. Для того, щоб її отримати, бурштин подрібнюють у порошок. Також слугують і фракції розміром менше 5 мм, що становлять понад 40 % загальної кількості бурштину, які знаходяться у даних родовищах. Однак в основному даний масив бурштину так і залишається в надрах землі не представляючи для шукачів великої матеріальної цінності. Заодно й залишаються й інші супутні корисні компоненти, які можуть представляти користь для народного господарства та використовуватись у різних промислових галузях.

Світовий запас бурштину в Україні становить близько шести відсотків. Основні поклади бурштину знаходяться на Поліссі – Прип'ятському бурштиноносному басейні (північна частина Волинської, Рівненської, Житомирської та Київської областей). Промислова розробка ведеться в Рівненській області на родовищах в Сарненському (Клесівське, Вільне) та Володимирецькому районах.

Сучасні ландшафти Волинського Полісся оточені з півночі державним кордоном України з Білоруссю, зі сходу – виходами на доантропогену та денну поверхню порід кристалічного фундаменту Українського щита, з півдня – уступом Волинської лесової височини, а з заходу – руслом ріки Західний Буг. Загальна площа близько 30 тис. км². Особливістю Волинського Полісся є значна лісистість — ліси (представлені дубово-грабовими та сосново-дубовими угрупованнями) та чагарники займають близько 40 % території. Заплави лучно-болотного ландшафту займають близько 10 %.

Ґрунтовий покрив неоднорідний, понад 30% території охоплюють дерново-підзолисті ґрунти, поширені також дернові оглеєни, торфово-болотні різновиди. Ґрунтоутворюючими породами є піщані і глинисто-піщані відклади. Дерново-підзолисті піщані ґрунти, слабо- і середньо-підзолисті переважають на більшості території. Дерново-підзолисті супіщані і суглинкові займають менші площі і зустрічаються переважно на південній частині району. Поширені болотні ґрунти, які зосереджені на пониженнях ділянках, заплавах і долинах річок в межиріччях. Приблизно половину всіх боліт складають торфовища.

Основні польові дослідження проведені на ділянці, яка розташована у Сарненському районі Рівненської області поблизу с. Лютинськ. Для проведення досліджень розроблена методика, яка включає багаторазове дослідження із використанням методу буріння шпурів за допомогою ручного буру на невелику глибину, яке складається із бурового інструменту, подовжувальної штанги та рукоятки.

Перед початком роботи, за допомогою ручної лопати, підготовлювали місце для буріння шляхом зняття рослинного шару та шару родючого ґрунту, товщина якого не перевищувала 10-15 см.. За допомогою ручного бурового інструменту на дослідній ділянці було проведено буріння шпурів із взяттям проб ґрунту на глибину до 4 метрів. За результатами буріння виявлено, що основною складовою шару родовища, який досліджувався, складається із крупнозернистого піску. На глибині більше 3,5 метрів, інколи 4 метрів, зустрічається поклади глини. Глибше буріння не проводилося, оскільки технічні характеристики бурового інструменту не підходили для таких робіт. Процес буріння відбувався наступним чином. Спочатку встановлювався бур на місці для буріння без додаткової подовжувальної штанги. Прикріплювалася рукоятка у спеціальні отвори на бурі. Далі круговими обертами та із зусиллям бурильника, бур занурювали у масив на глибину 30-40 см, після чого підіймали його на поверхню, щоб вилучити, в нашому випадку, пісок, який нагромадився на самому бурі для полегшення процесу буріння і прискоренню занурення. Після цього бур повертали у висхідне положення і цикл повторювався, доки повністю бур з рукояткою дійде до поверхні землі, а для подальшого буріння використовували допоміжну штангу для збільшення глибини занурення у масив. У результаті проведених бурових робіт були відібрані проби ґрунту та бурштину для подальшого проведення фізико-хімічних параметрів у лабораторії та відображення даних результатів дослідження у наступних наукових роботах.

За результатами дослідження встановлено, що на дослідній ділянці бурштин залягає на глибинах до 4 м виключно у піщаних ґрунтах, що дозволяє проводити ефективний видобуток із застосуванням різних відомих способів видобутку бурштину із мінімальними витратами, а також дає змогу вибрати спосіб із мінімальною шкодою для навколишнього середовища.

УДК 622.1:528.7

Скорик М.А., аспірант, 2 курс, PhD-184-23-2,
Гнітецький О.М., аспірант, 2 курс, PhD-184-23-1,
Котенко В.В., к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ GNSS-ПРИЙМАЧА MATRIX II З IMU І ТЕХНОЛОГІЮ SMART LASER RTK ДЛЯ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ РОБІТ

Актуальність. Виконання геодезичних робіт на відкритих гірничих виробках традиційно супроводжується підвищеними ризиками для маркшейдерів через небезпечні геотехнічні умови, зокрема при виконанні зйомок поблизу уступів і укосів. Стандартні методи GNSS-знімання в підосах кар'єрів часто ускладнені через обмежену видимість супутників та слабе покриття GSM-мереж, що унеможлиблює стабільне отримання корекцій у режимі RTK.

Сучасні GNSS приймачі підтримують кілька супутникових мереж (GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO та інші), що підвищує якість позиціонування. Використання інерційної системи IMU дозволяє виконувати знімання під кутом нахилу 60°-120° не центруючи віху на точці. Для вирішення проблем відсутності GSM сигналу GNSS приймачі комплектують радіомодемами, що дозволяють здійснювати вимірювання працюючи в парі база-приймач. GNSS приймач Matrix II від компанії AlphaGEO додатково має технологію SMART Laser RTK -це лазерний віддалемір, що в поєднанні з системою GNSS та IMU дозволяє отримувати точні координати недоступних точок.

Постановка задач. Метою дослідження є оцінка точності виконання вимірювань стінки нижнього уступу GNSS приймачем Matrix II в режимі лазерного віддалеміра та оцінка ефективності використання даної технології для маркшейдерських робіт.

Викладення матеріалу. Для проведення дослідження було обрано GNSS приймач Matrix II від компанії AlphaGEO, який обладнаний модулем IMU, технологією SMART Laser RTK та двома камерами, які забезпечують точне наведення на об'єкт навіть при яскравому сонячному освітленні поверхні та слугують для візуального відображення проектних точок на місцевості, що робить винос точок максимально ефективним.

Досліджуваний об'єкт, Родовище габро – Кам'янобрідське, розташоване північніше села Кам'яний Брід із площею родовища 3,9 га, складається з 3-х уступів, відмітки висот в межах від 173,2 м до 195,8 м. На бічній стінці нижнього уступу у західній частині родовища було закріплено 10 марок (рис. 1, 2) координати яких визначені електронним тахеометром SOUTH NTS355R у безвідбивному режимі.

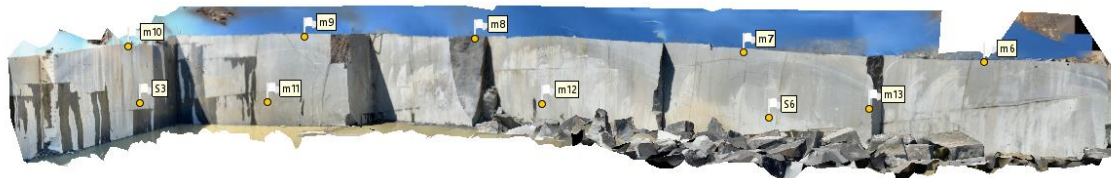


Рис. 1. Схема закріплення контрольних марок на стінці нижнього уступу

Управління GNSS приймачем здійснюється в програмному забезпеченні SurPro 6.0. Перед початком робіт було проведено калібрування модуля IMU та отримано результат калібрування 23 мм, також був відкалібрований лазерний віддалекомір на відстані 3-5 м. Калібрування лазерного віддалеміра полягає у визначенні координат точки калібрування на марці в увімкненому режимі IMU, а далі рухаючись по півколу, на відстані 3-5 м, потрібно наводитись на визначену точку та здійснювати вимір. В процесі калібрування по 5 вимірах було отримано середнє

значення $\Delta X=14$ мм, $\Delta Y=12$ мм, $\Delta Z=21$ мм, що відповідає заявленим значенням виробника.

Для зменшення похибки вимірювань при наведенні на контрольну марку використовувався біпод, рис. 3.



Рис. 2. Марка

Деякі знімання виконувались на відстані більше 5 м, у зв'язку з неможливістю підійти на ближчу відстань. Після опрацювання даних знімання проведено порівняння даних, результат наведений в таблиці 1.

Середнє модульне значення відхилень складає $\Delta X=23$ мм, $\Delta Y=36$ мм, $\Delta Z=19$ мм. Максимальне значення відхилень $X=79$ мм, $Y=69$ мм, $Z=35$ мм.

Максимальне відхилення від центру марки складає 85 мм. Мінімальне відхилення від центру марки 21 мм.



Рис. 3. Виконання знімання центрів контрольних марок GNSS приймачем Matrix II від компанії AlphaGEO за технологією SMART Laser RTK

Таблиця 1

SOUTH NTS355R у безвідбівному режимі, м				GNSS приймач Matrix II з технологією SMART Laser RTK, м			Різниця відміток, м		
№	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
S3	5595126,830	331611,516	175,891	5595126,801	331611,515	175,874	0,029	0,001	0,017
S6	5595142,659	331645,890	175,711	5595142,650	331645,857	175,697	0,009	0,033	0,014
m10	5595125,773	331612,069	179,404	5595125,852	331612,084	179,431	-0,079	-0,015	-0,027
m9	5595134,951	331617,309	179,659	5595134,966	331617,378	179,683	-0,015	-0,069	-0,024
m8	5595141,380	331625,992	179,477	5595141,418	331626,054	179,512	-0,038	-0,062	-0,035
m7	5595142,583	331644,273	179,188	5595142,588	331644,316	179,207	-0,005	-0,043	-0,019
m6	5595144,725	331656,665	179,007	5595144,722	331656,686	179,009	0,003	-0,021	-0,002
m13	5595142,819	331651,457	176,529	5595142,826	331651,485	176,539	-0,007	-0,028	-0,010
m12	5595142,165	331630,678	175,548	5595142,177	331630,727	175,569	-0,012	-0,049	-0,021
m11	5595133,689	331615,049	175,479	5595133,726	331615,092	175,496	-0,037	-0,043	-0,017

Висновки. Результати дослідження підтвердили ефективність використання GNSS-приймача Matrix II з технологією SMART Laser RTK для маркшейдерських робіт на відкритих виробках гранітного каменю. Проведені вимірювання стінки нижнього уступу продемонстрували середні модульні відхилення координат у межах $\Delta X=23$ мм, $\Delta Y=36$ мм, $\Delta Z=19$ мм, що відповідає заявленим технічним характеристикам приладу та вимогам до точності маркшейдерських зйомок. Максимальне відхилення від центру марки склало 85 мм, що свідчить про прийнятний рівень точності навіть при обмежених умовах доступу та великій відстані зйомки. Отримані результати засвідчують доцільність впровадження GNSS-приймачів із лазерними віддалемірами у маркшейдерську практику для підвищення оперативності та безпеки робіт у складних умовах.

ЗАСТОСУВАННЯ НОВОАВСТРІЙСЬКОГО МЕТОДУ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ В СКЕЛЬНИХ ПОРОДАХ

У сучасному підземному будівництві буровибуховий спосіб (БВС) залишається одним із ключових методів проходження тунелів, особливо в умовах скельних або щільних порід, де інші технології, зокрема щитовий спосіб, є технічно або економічно невиправданими. Його актуальність зумовлена високою технологічною гнучкістю, економічною ефективністю, швидкістю реалізації та здатністю адаптуватися до складного гірничо-геологічного середовища. Завдяки БВС стало можливим ефективне спорудження підземних об'єктів навіть у складнопрофільних зонах, включаючи ділянки з обмеженим простором або неоднорідною геологічною структурою.

Процес проходження тунелю буровибуховим способом охоплює низку послідовних операцій, зокрема буріння шпурів за визначеною схемою, заряджання їх вибуховими речовинами, підриг, видалення обуреної породи з вибою та закріплення виробки. У разі якісного проєктування вибухових робіт досягається оптимальне руйнування породи з мінімальним впливом на навколишнє середовище, з дотриманням вимог промислової безпеки та нормативів сейсмічного навантаження. Вибір типу вибухової речовини та схеми буріння здійснюється з урахуванням фізико-механічних характеристик гірських порід, ступеня тріщинуватості, вологості, стійкості масиву, глибини залягання тощо. Як правило, застосовуються віялові, контурні або концентричні схеми буріння, а серед вибухових речовин найбільше поширення мають амоніт, водогелеві та емульсійні ВР, що характеризуються стабільністю, безпекою у зберіганні та високою енергією детонації.

Перевагами БВС є можливість локального регулювання об'єму підригу відповідно до умов масиву, відносно низький рівень капіталовкладень, висока продуктивність (до 6 м проходки за зміну) та незалежність від складного або великогабаритного устаткування. До недоліків методу належать високий рівень шуму та вібрацій, пиловиділення, необхідність у посиленому контролі за стійкістю порід після вибуху, ризик утворення зон надмірного руйнування або мікротріщин у прилеглих масивах, що особливо критично в умовах міської забудови. У таких випадках додатково застосовують заходи щодо зниження динамічного впливу, зокрема використання маловібраційних зарядів, електронних систем ініціювання з мілісекундними затримками та обмеженого обсягу вибуху.

У геологічно складних регіонах, де спостерігається чергування твердих і м'яких порід, застосування буровибухового способу потребує детального інженерно-геологічного обґрунтування та адаптивного підходу до проєктування вибухових робіт. Надзвичайно важливим є забезпечення контролю сейсмічного впливу на оточуючу забудову, комунікації та об'єкти інфраструктури. У зв'язку з цим особливого значення набувають сучасні технічні рішення: автоматизовані системи буріння, лазерне 3D-сканування фронту забою, дистанційне моніторування тріщиноутворення в навколишньому масиві. Суттєвим технічним досягненням стало впровадження цифрових електронних детонаторів, які дозволяють точно регулювати послідовність підригу зарядів з кроком у мілісекунди, що забезпечує ефективне управління фронтом вибуху, зменшення обсягу відскоку породи та контрольоване формування профілю тунелю.

Прикладами ефективного застосування буровибухового способу є численні проєкти у сфері транспортної інфраструктури. Так, при спорудженні перегінного тунелю між станціями «Виставковий центр» та «Іподром» Київського метрополітену було використано віялову схему буріння з амонітовими зарядами та електронною системою підригу. Це дозволило досягти стабільності забою і значно зменшити сейсмічний вплив на прилеглі житлові будинки. У Карпатському регіоні, при будівництві Бескидського автодорожнього тунелю, вперше на державному рівні застосували емульсійні вибухові речовини з дистанційним ініціюванням, що дозволило підвищити безпеку у важкодоступних умовах та забезпечити високу якість поверхні вибою. Також впроваджено технології тривимірного лазерного сканування, які дозволили адаптувати схеми буріння в реальному часі, виходячи з актуальної геометрії фронту робіт.

Таким чином, буровибуховий спосіб залишається незамінним інженерним рішенням для проходження тунелів у гірських, урбанізованих або складно побудованих геологічних умовах. Його подальший розвиток пов'язаний із цифровізацією проєктування, впровадженням екологічно безпечних вибухових речовин нового покоління, застосуванням автоматизованих систем моніторингу та прогнозування поведінки масиву. Це дозволить суттєво підвищити безпечність, точність і технологічну ефективність проходження тунелів, відповідаючи вимогам сталого розвитку сучасного будівництва.

ДО ПИТАННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЩЕБЕНЕВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Промисловість будівельних матеріалів із гірських порід є однією з самих великих за масштабами видобувної галузі. Причому найбільша частка припадає на виробництво нерудних будівельних матеріалів, зокрема на щебеневу продукцію. Для будівництва щебін є найважливішим матеріалом, отримання якого пов'язане з досить енергоємними процесами. У наш час, в умовах ринкової економіки на підприємствах, попит на продукцію обумовлює її виробництво. Підприємствам дуже складно зберігати рентабельність, так як висока вартість матеріальних ресурсів не дозволяє забезпечувати невисоку собівартість продукції та отримувати прибуток. Так як ціни постійно коливаються (зі зростанням), необхідно більше уваги звертати на енергетичні показники технологічних процесів.

Технологія виробництва щебеню включає послідовність наступних основних технологічних процесів: видобування сировини з проведенням буровибухових робіт, виймально-навантажувальні роботи (із використанням екскаваторів) в кар'єрі, переміщення гірничої маси з кар'єру до приймального бункеру дробарно-сортувального заводу, дроблення, сортування та складування кінцевої (готової) продукції. Тому аналіз та оцінка окремих технологічних процесів виробництва з точки зору енергетичних затрат дасть можливість встановити найбільш слабкі ланки технологічного потоку та шляхом оптимізації конкретного процесу позитивно впливати на економічну ефективність випуску товарної продукції.

При зазначених вище різних технологічних процесах можуть споживатися різні види енергії (електрична – при бурінні, екскавації, переробці на дробарно-сортувальному заводі; теплова – при бурінні, екскавації, перевезенні автосамоскидами; хімічна – при підготовці порід до виймання вибухом). Відповідно важливим кількісним показником, який у значній мірі відображає як властивості об'єкту розробки, так і параметри технологічного потоку, може бути величина питомих енергозатрат. Єдиною фізичною величиною, яка характеризує будь-який вид енергії, є Джоуль (Дж). Шляхом введення перевідних коефіцієнтів енергія будь-якого виду може бути приведена до єдиної розмірності, зокрема виражена в найбільш сприятливому масштабі – МДж. Це дозволяє привести енерговитрати у різних технологічних процесах до спільного знаменника та порівняти їх між собою.

Економія енергоресурсів у гірничій та переробній промисловості – проблема, вирішення якої неможливе за окремими технологічними процесами, а їх загальній сукупності, шляхом досягнення мінімуму енерговитрат на отримання одиниці кінцевого продукту. Проте, остаточний результат залежить від встановлення нормативів енерговитрат на окремі технологічні процеси з урахуванням фізико-механічних властивостей корисних копалин.

Рівень енерговитрат у загальному випадку визначається властивостями об'єкта розробки, технологічними характеристиками обладнання та вимогами до якості продукції на кожній стадії. У різних процесах поєднання цих факторів проявляється по-різному, тому, перш ніж перейти до загального аналізу питомих енерговитрат по всьому технологічному потоку, необхідно в кожному випадку виділити ті фактори, які істотно впливають на енергоємність даного технологічного процесу. Такий аналіз, крім визначення частки процесу у загальних енергетичних витратах, дозволить намітити основні напрями вдосконалення виробництва, які мають кінцеву мету економію енергоресурсів.

Можна виділити три основні категорії факторів: незалежні чи природні (властивості порід); залежні від технічних характеристик обладнання та вимог технології видобутку та переробки (технологічні параметри, якість вихідного та кінцевого продукту) та залежні від розмірів об'єкта (геометричні параметри кар'єру).

Ефективність використання енергії у технологічних процесах відкритих гірничих робіт здебільшого визначається гранулометричним складом підірваної гірничої маси. Причому енерговитрати на буріння та вибухове розпушування визначають витрати на навантаження та первинну переробку на дробарках крупного дроблення та залежать від властивостей масиву, що руйнується. У структурі питомих витрат енергії найбільш енергоємними є процеси переміщення гірничої маси та першої стадії дроблення. Питомі витрати енергії у процесах екскавації та крупного дроблення визначаються середнім розміром шматка підірваної гірничої маси.

ВПРОВАДЖЕННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ У ГЕОПОЛІМЕРНІ СУМІШІ

Накопичення промислових відходів, зокрема каменеобробної та каменевидобувної промисловості, постає однією з ключових екологічних та економічних проблем в Україні. Зважаючи на масштаб утворення таких відходів та обмеженість ресурсів для їх зберігання, постає потреба в їх повторному використанні. Одним із сучасних підходів до вирішення цієї проблеми є створення геополімерних матеріалів на основі мінеральних відходів. Геополімери відзначаються високими показниками міцності, термостійкості та мають менший вуглецевий слід порівняно з традиційними цементними матеріалами [1].

У межах цього дослідження було запропоновано застосування дрібнодисперсних відходів природного каменю як сировини для геополімерних сумішей. Дослідження охопило аналіз хімічного та гранулометричного складу відходів із підприємств ТОВ «Омельянівський кар'єр» та ТОВ «Ніка-Гран». Хімічний аналіз показав високий вміст діоксиду кремнію (до 75%), що разом з присутністю Al_2O_3 , Na_2O , K_2O та Fe_2O_3 сприяє лужній активації та утворенню стійких структур у геополімерах [2]. Було підготовлено 2-молярний розчин $NaOH$ (220 мл, 10% до маси відходів), витриманий 24 години, після чого змішаний з сухою сировиною та додаванням рідкого скла (Na_2SiO_3) у кількості 10% від маси відходів. Проведені експериментальні випробування показали (табл. 1), що суміші з дрібнодисперсних відходів каменевидобування (розмір частинок 0,5–1,0 мм) мають міцність при стиску від 14,72 до 17,18 МПа. У той час як зразки на основі відходів каменеобробки (фракції 0,05–0,1 мм) показали нижчі значення — від 8,01 до 11,37 МПа, що пояснюється вищою водопоглинальністю суміші при дрібнішому зерні. Результати вказують на те, що крупніші частинки формують більш щільну структуру, тоді як надмірна кількість дрібних фракцій ускладнює ущільнення та знижує міцність [3].

Таблиця 1

Результати експериментальних випробувань застосування дрібнодисперсних відходів природного каменю у виробництві геополімерів

№ п/п	Тип відходів, маса сухої суміші, кг	Витрата розчину луку ($NaOH + H_2O$), мл	Витрата рідкого скла (Na_2SiO_3), кг	Міцність при стиску, МПа
1	дрібнодисперсні відходи каменевидобування, 2,2 кг	220	0,220	17,18
2		220	0,220	14,95
3		220	0,220	14,72
4	дрібнодисперсні відходи каменеобробного виробництва, 2,5 кг	500	0,250	11,37
5		500	0,250	8,01
6		500	0,250	10,01

Таким чином, впровадження технології виробництва геополімерних матеріалів на основі кам'яних відходів дає змогу не лише зменшити обсяги накопичених шлаків, а й створити конкурентоспроможні будівельні матеріали. Отримані результати підтверджують доцільність подальших досліджень у напрямку оптимізації складу сумішей з урахуванням гранулометричних характеристик сировини, а також впровадження цієї технології у виробничу практику з метою підвищення рівня екологічної безпеки та ресурсоефективності в будівельній галузі.

Список використаних джерел:

1. В. І. Шамрай, В. В. Мельник-Шамрай, А. Г. Темченко, А. М. Махно, Р. М. Ігнатюк, «Дослідження якісних властивостей відходів каменевидобування та каменеобробки з метою їх використання як сировини для виготовлення геополімерного бетону», Технічна інженерія, вип. 1(91), с. 385–397, 2023. DOI: 10.26642/ten-2023-1(91)-385-397.
2. В. І. Шамрай, І. В. Леоніс, «Перспективи використання дрібнодисперсних відходів каменевидобування та каменеобробного виробництва у геополімерних сумішах», Збірник матеріалів XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Коштовне та декоративне каміння: актуальні питання геологічної експертизи, геології, видобутку, обробки і використання», 2024.
3. V. Shamrai, I. Leonets, V. Melnyk-Shamrai, I. Patseva, and Y. Naumov, "Reuse of stone working enterprise slurry in geopolymer and concrete products," Mining of Mineral Deposits, vol. 18, no. 4, pp. 10–17, 2024. doi: 10.33271/mining18.04.010.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАМІНИ ЦЕМЕНТУ НА ДРІБНОДИСПЕРСНІ
ВІДХОДІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ У БЕТОННИХ СУМІШАХ**

Зростання обсягів відходів каменеобробної промисловості становить одну з найбільш актуальних екологічних проблем сучасності. В Україні щороку накопичуються значні обсяги дрібнодисперсних залишків природного каменю, які не піддаються утилізації й спричиняють забруднення довкілля, зокрема ґрунтів і поверхневих вод. Одночасно такі відходи можуть бути цінною вторинною сировиною для будівельної галузі, зокрема як часткова або повна заміна цементу в бетонних сумішах.

Метою цього дослідження є аналіз ефективності використання дрібнодисперсних відходів природного каменю як цементозамінника з оцінкою їх впливу на фізико-механічні характеристики бетонів. У ході роботи здійснено відбір зразків на ТОВ «Омелянівський кар'єр», визначено їх хімічний та гранулометричний склад, проведено лужну активацію у 12М розчині NaOH. Було виготовлено серії бетонних сумішей з різним вмістом кам'яного шламу (0–100%), з постійним співвідношенням пісок–щебінь–вода (табл. 1). Фізико-механічні властивості досліджувалися методами ультразвукового контролю, молотка Шмідта та пресового випробування.

Таблиця 1

Рецептура виготовлення бетонних зразків

Заміна цементу, %	Цемент (кг)	Кам'яний шлам (кг)	Пісок (кг)	Щебінь (кг)	Вода (л)
0	0,84	0	2,25	3,6	0,48
10	0,756	0,084	2,25	3,6	0,48
20	0,672	0,168	2,25	3,6	0,48
30	0,588	0,252	2,25	3,6	0,48
40	0,504	0,336	2,25	3,6	0,48
50	0,42	0,42	2,25	3,6	0,48
60	0,336	0,504	2,25	3,6	0,48
70	0,252	0,588	2,25	3,6	0,48
80	0,168	0,672	2,25	3,6	0,48
90	0,084	0,756	2,25	3,6	0,48
100	0	0,84	2,25	3,6	0,48

Отримані результати показали, що при заміні цементу до 15–20% спостерігається незначне покращення або стабільність таких параметрів, як час і швидкість проходження ультразвукової хвилі, що може свідчити про ущільнення структури. Однак подальше збільшення вмісту відходів викликає різке зростання часу проходження ультразвуку та зниження його швидкості, що вказує на збільшення пористості й зменшення щільності бетонної структури. Міцність на стиск за даними пресового випробування та молотка Шмідта також знижується зі збільшенням частки шламу, що апроксимується поліноміальною залежністю другого ступеня з високими коефіцієнтами детермінації ($R^2 > 0,99$). Найгірші показники міцності спостерігались при повній заміні цементу, що робить повну заміну недоцільною.

Отже, застосування дрібнодисперсних відходів природного каменю як часткової добавки до цементу (до 20%) може бути ефективним з екологічного та економічного погляду, не погіршуючи фізико-механічні характеристики бетонних сумішей. Водночас збільшення їх кількості понад зазначений поріг спричиняє істотне зниження міцності та однорідності матеріалу, що обмежує доцільність використання таких відходів без додаткових модифікаторів або активаторів.

Список використаних джерел:

1. В. І. Шамрай, В. В. Мельник-Шамрай, А. Г. Темченко, А. М. Махно, Р. М. Ігнатюк, «Дослідження якісних властивостей відходів каменевидобування та каменеобробки з метою їх використання як сировини для виготовлення геополімерного бетону», Технічна інженерія, вип. 1(91), с. 385–397, 2023. DOI: 10.26642/ten-2023-1(91)-385-397.
2. В. І. Шамрай, І. В. Леонєць, «Перспективи використання дрібнодисперсних відходів каменедобувного та каменеобробного виробництва у геополімерних сумішах», Збірник матеріалів XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Коштовне та декоративне каміння: актуальні питання гемологічної експертизи, геології, видобутку, обробки і використання», 2024.
3. V. Shamrai, I. Leonets, V. Melnyk-Shamrai, I. Patseva, and Y. Naumov, "Reuse of stone working enterprise slurry in geopolymer and concrete products," Mining of Mineral Deposits, vol. 18, no. 4, pp. 10–17, 2024. doi: 10.33271/mining18.04.010.

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ МАРКШЕЙДЕРСЬКОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ RTK-ТЕХНОЛОГІЙ В БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ

В умовах інтенсифікації відкритих гірничих робіт критичного значення набуває точність маркшейдерських вимірювань, зокрема при моніторингу об'ємів видобутих і розкривних порід. Традиційні методи маркшейдерських зйомок потребують значних часових та трудових витрат, особливо при використанні наземних контрольних точок (GCP). Впровадження безпілотних літальних апаратів (БПЛА) із системами RTK (Real Time Kinematic) дозволяє суттєво підвищити ефективність та точність маркшейдерських робіт при відкритій розробці родовищ.

Метою дослідження є аналіз ефективності застосування RTK-технологій в БПЛА для підвищення точності маркшейдерського забезпечення гірничих робіт та оцінка перспектив їх впровадження в умовах вітчизняних гірничодобувних підприємств.

Технологія RTK дозволяє вирішити дві ключові проблеми, характерні для споживчих БПЛА зі стандартними системами GPS: низьку точність позиціонування (з похибками до 5-6 метрів) та залежність від компаса для визначення азимута, що створює значні обмеження при роботі в умовах електромагнітних перешкод, типових для промислових об'єктів гірничодобувної галузі.

У дослідженні проаналізовано три основні методи забезпечення RTK-позиціонування БПЛА:

- Використання фізичної базової станції (на прикладі DJI D-RTK2), що розміщується на місці проведення зйомки;
- Підключення до віртуальної базової станції через NTRIP-сервіс з використанням мобільного інтернет-з'єднання;
- Застосування сторонніх базових станцій, сумісних з NTRIP-протоколом.

Експериментальні дослідження проводились на території відкритого кар'єру Шадурського родовища габро з використанням БПЛА DJI Mavic 3 Enterprise. Для порівняння також використовувався споживчий дрон DJI Mini3 pro без RTK-системи.

Маркшейдерська зйомка включала:

- Аерофотозйомку поверхні відвалів розкривних порід з висоти 100 м;
- Обробку даних у програмному комплексі Agisoft Metashape Professional 2.1.3 ;
- Побудову цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та розрахунок об'ємів розкривних порід;
- Порівняння отриманих результатів з даними традиційної тахеометричної зйомки.

За результатами дослідження встановлено:

- Точність визначення координат точок місцевості при використанні RTK-системи становить $\pm 2,5$ см в плані та $\pm 3,5$ см за висотою, що значно перевищує показники GPS споживчого рівня ($\pm 2-5$ м);
- Застосування RTK-технології дозволяє повністю відмовитись від використання наземних контрольних точок (GCP), що скорочує час підготовчих робіт на 70-85%;
- Похибка визначення об'ємів розкривних порід при використанні RTK не перевищує 0,8% порівняно з контрольними вимірами, тоді як при використанні стандартного GPS без GCP похибка складає 5-8%;

Найбільш практичним з точки зору балансу між точністю, оперативністю та вартістю є використання фізичної RTK-базової станції безпосередньо на об'єкті зйомки. При цьому слід враховувати, що для стабільної роботи необхідно забезпечити:

- 1) відкрите небо для отримання супутникового сигналу як для базової станції, так і для дрона;
- 2) стабільне з'єднання між базовою станцією та БПЛА.

Впровадження RTK-технологій у маркшейдерську службу гірничодобувних підприємств дозволяє:

- Підвищити точність визначення об'ємів гірничих робіт;
- Зменшити трудомісткість маркшейдерських робіт у 4-5 разів;
- Забезпечити регулярний моніторинг стану гірничих виробок та відвалів;
- Підвищити безпеку праці маркшейдерів шляхом зменшення обсягу польових робіт у зонах підвищеної небезпеки.

Подальші дослідження спрямовані на вдосконалення методики інтеграції даних RTK-зйомки з існуючими геоінформаційними системами підприємств та розробку автоматизованих систем оперативного планування гірничих робіт на основі високоточних цифрових моделей.