



УДК 622.2+658.5:519.1.51-3

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

А.О. Хорольський¹

¹завідувач лабораторії проблем розробки родовищ, e-mail: andreykh918@gmail.com

¹Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, Дніпро, Україна

Анотація. Здійснено кластерний аналіз діючих вугільних шахт України на основі параметрів експлуатації. Проаналізовано кількісні та якісні параметри експлуатації з метою визначення стратегічних кластерів. За допомогою методу ліктя і алгоритму k-середніх встановлено, що для наявних конфігурацій технологічних, гірничо-геологічних, економічних параметрів існує три кластери. Для кожного кластеру можна визначити оптимальну стратегію доробки промислових запасів. В межах першого кластеру знаходяться підприємства зі значним потенціалом до масштабування, тому оптимальна стратегія полягатиме у визначенні раціонального обсягу видобутку. Другий кластер налічує підприємства, які демонструють тенденцію до неконтрольованого згортання виробничих потужностей, тому оптимальною буде стратегія диверсифікації діяльності або розробка техніко-економічного обґрунтування щодо закриття. Третій кластер складається із підприємств які мають негативну динаміку показників видобутку, в першу чергу через незадовільні техніко-економічні показники діяльності, тому слід оптимізувати параметри експлуатації.

Ключові слова: кластер, алгоритм k-середніх, метод ліктя, параметр, стратегія, оптимізація.

MULTICRITERIA CLUSTERING OF UKRAINIAN COAL MINES BASED ON OPERATIONAL PARAMETERS

Andrii Khorolskyi¹

¹Head of the Department of Field Development Problems, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics the NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine, e-mail: andreykh918@gmail.com

Abstract. A cluster analysis of active Ukrainian coal mines was conducted based on their operational parameters. Both quantitative and qualitative operational variables were analyzed to identify strategic clusters. Using the elbow method and the k-means algorithm, it was determined that three distinct clusters exist for the current configurations of technological, geological, and economic parameters. An optimal strategy for the completion of industrial reserves can be defined for each cluster. The first cluster includes enterprises demonstrating a trend toward uncontrolled contraction of production capacity; therefore, the optimal strategy is diversification of activities or the development of a feasibility study for decommissioning. The second cluster consists of enterprises with negative production dynamics, primarily



due to unsatisfactory techno-economic performance; thus, operational parameters should be optimized. The third cluster contains enterprises with significant scaling potential, where the optimal strategy involves determining the rational production volume.

Keywords: cluster, k-means algorithm, elbow method, parameter, strategy, optimization.

Вступ. Україна на шляху до Європейського Союзу прийняла зобов'язання, щодо скорочення вуглевидобутку [1]. Фактично, це стратегія відмови від вугільної генерації. На основі аналізу досвіду країн Європейського Союзу [2, 3] можна констатувати, що цей процес буде тривалим (Німеччина – понад 50 років, Чеська Республіка – триває понад 40 років, Республіка Румунія – триває понад 30 років з великим соціальним напруженням), багата-стадійним, суспільно значущим, потребуватиме економічних трансформацій. Наявна у відкритому доступі урядова інформація свідчить про те, що процес трансформації енергетичного сектору, через активні військові дії, знаходиться на паузі [4-6].

ЗМІ повідомляють про кризу галузі та загрозу втрати вугільної генерації [7, 8], тому вже зараз необхідно напрацьовувати дієвий інструментарій щодо класифікації вугільних шахт для розробки планів стратегічного та оперативного управління. Проблема виокремлення кластерів є не новою. В роботах [9, 10] здійснено ранжування шахт за економічними показниками, в [11, 12] – технологічними, а в [13] запропоновано критерій економічної надійності. Кожен із запропонованих підходів [9-13] має переваги, але, внаслідок невизначеності Кабінету Міністрів України стосовно галузі, в 2015-2022 рр., та повномасштабного військового вторгнення на територію України, зазначені підходи потребують актуалізації.

В роботі [14] проведено ретроспективний аналіз галузі та підходів щодо управління, а в дослідженні [15] здійснено кластеризацію малопотужних вугільних шахт. Однак, кластеризація здійснювалась за співвідношенням продуктивних потоків (вугілля, газ, метан, вода) і не враховувала вихідні умови експлуатації. Функція Кобба-Дугласа [16] та її інтерпретація для шахт [17] базується на зростанні обсягів випуску продукції, але не враховує попередні, часто дестабілізуючі, параметри підприємства. Дослідження [17] показує зміну конфігурації продуктивних потоків в залежності від обсягів видобутку, але жодним чином не враховуються залишкові запаси, глибина розробки, рівень механізації, структура собівартості, тощо. В роботі [18] зроблено важливе уточнення щодо доцільності диверсифікації діяльності підприємств на основі виробничої функції Кобба-Дугласа. Якщо узагальнювати [18], то умовою доцільності диверсифікації шахт є висока зольність гірничої маси, низькі темпи підготовки запасів до виймання, наявність несприятливих гір-



ничо-геологічних умов. Роботи [14-18] створили передумови до проектування параметрів експлуатації, але не врахували умови переходу із одного кластеру в інший.

На основі аналізу робіт [9-18] можна сформувавши актуальну науково-технічну задачу, яка полягає в кластеризації вугледобувних підприємств України на основі параметрів експлуатації.

Мета роботи полягає в дослідженні параметрів експлуатації вугільних підприємств України та визначенні кількості кластерів для яких слід розробити оптимальну стратегію управління. Базою кластеризації є інформація про технологічні параметри, гірничо-геологічні умови, техніко-економічні показники діяльності.

Матеріал і результат досліджень. У відповідності до поставленої мети дослідження проводилось в три етапи. На першому етапі було сформовано набір даних про параметри експлуатації вугледобувних підприємств. Набір даних містить інформацію про кількість запасів готових до вилучення, глибину розробки, зольність гірничої маси, обводненість, добову продуктивність шахти з видобутку вугілля, ступінь механізації, довжину очисних вибоїв, темпи проведення підготовчих виробок, а також собівартість видобутку. Збір здійснювався для 20 підприємств, які функціонують або функціонували на території України у 2014-2026 рр. В наборі даних присутні підприємства, які зараз знаходяться в зоні активних військових дій (зокрема, ШУ «Покровське», ДП ВК «Краснолиманська», шахти об'єднання ДП «Мирноград-вугілля», шахти об'єднання «Селидіввугілля»). Це пов'язано з тим, що для об'єктивної картини і достовірного розподілу слід враховувати не тільки усереднені показники, але і ті, що знаходяться на «протилежних полюсах». Зазначені підприємства функціонували впродовж майже усього етапу дослідження 2014-2024 рр., тому їх можна включити до вибірки.

На другому етапі за допомогою «методу ліктя» [19] визначено кількість кластерів. «Метод ліктя» – це евристичний метод кластерного аналізу, який застосовують для пошуку оптимальної кількості кластерів. Це графічний метод, який дозволяє побудувати залежність внутрикластерної суми квадратів відстаней від кількості кластерів. Залежність представляє собою графік на якому «злам» відповідає оптимальна кількість кластерів, тобто після точки «зламу», яка відповідає оптимальній кількості кластерів, відбувається суттєве зменшення суми квадратів відстаней.

Для визначення кількості кластерів було здійснено програмну реалізацію в IDLE Python. Програма автоматично за допомогою алгоритму к-середніх розраховує квадрат відстані від кожної точки до центру кластеру. Програма дозволяє завантажити набір даних та автоматично розрахувати

внутрішньокластерну відстань. На рис. 1 показано залежність загально внутрішньої кластерної відстані в залежності від кількості кластерів.

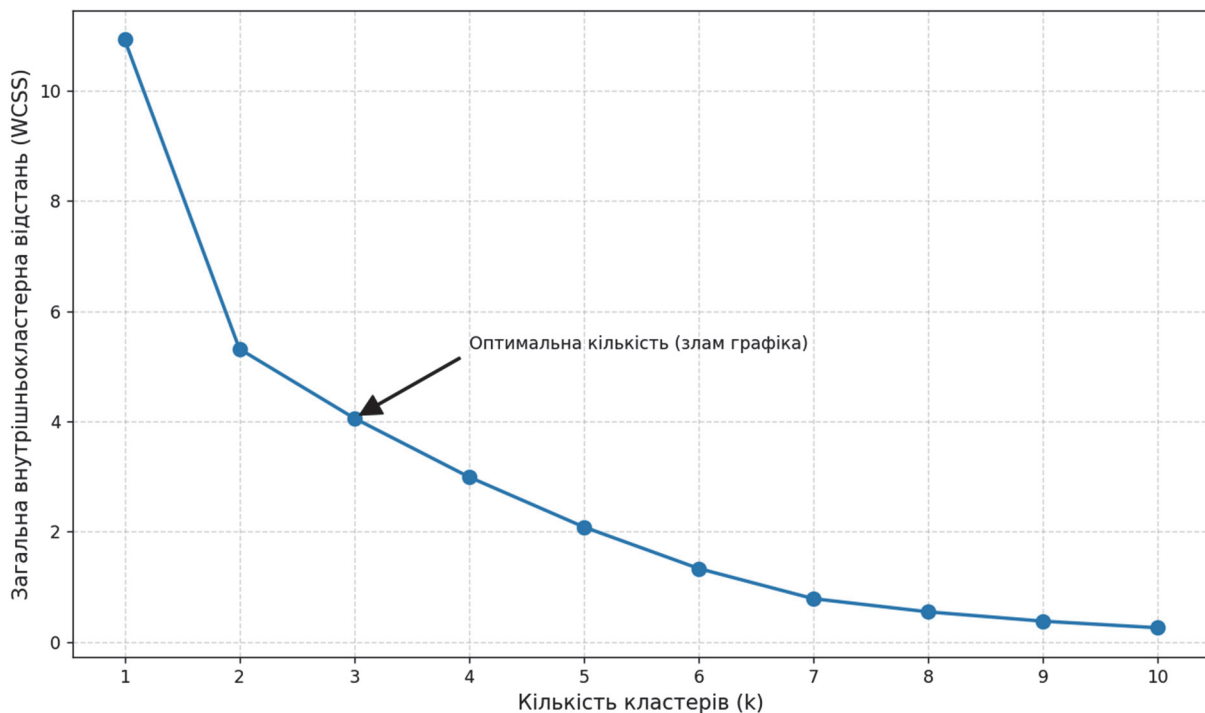


Рис. 1. – Залежність загальної внутрішньокластерної відстані від кількості кластерів

Як видно із рис. 1 оптимальним є поділ на три кластери. Поділ на більшу кількість кластерів є недоцільним, адже квадрат відстані між точками та центром кластеру несуттєво зменшується. Інформація про кількість кластерів є вихідною для третього етапу.

На третьому етапі здійснювалась кластеризація вугледобувних підприємств. Вона передбачала наступні дії: завантаження даних, масштабування даних, розрахунок положення підприємства на графіку, візуалізація. Кластерний аналіз на фінальному етапі передбачає побудову двовимірних матриць, які утворені парами параметрів – «двійками». Змінюючи «двійки» параметрів можна здійснювати віднесення підприємств до певного кластеру.

На рис. 2 показано кластеризацію підприємств за парою параметрів: собівартість (грн/т) – рівень механізації (%). Це важливі параметри, які описують техніко-економічні та технологічні параметри функціонування шахт.

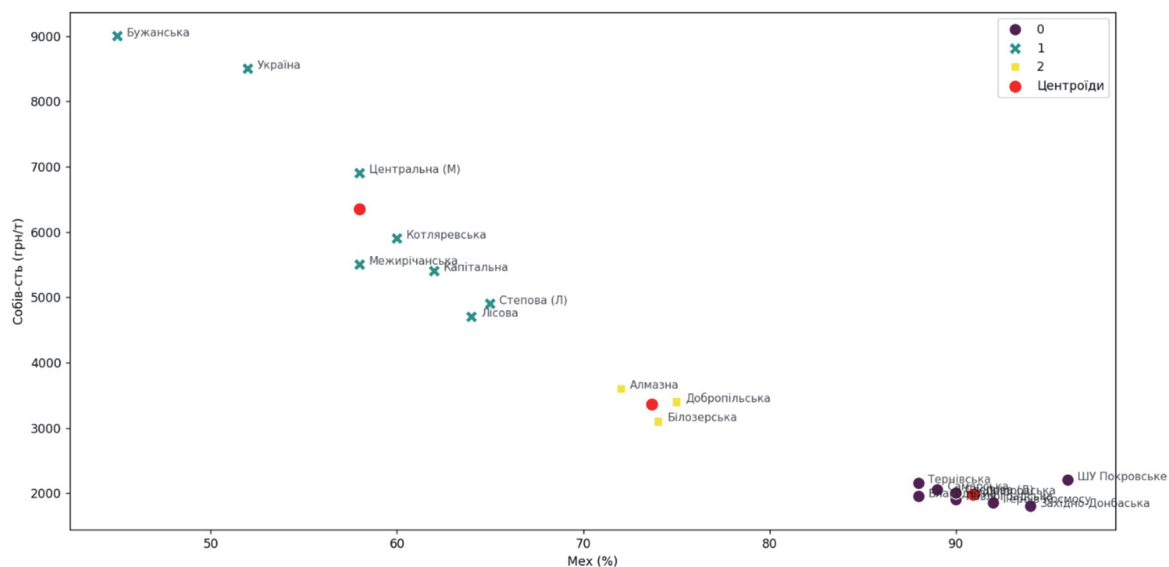


Рис. 2. – Розподіл підприємств за рівнем механізації та собівартості

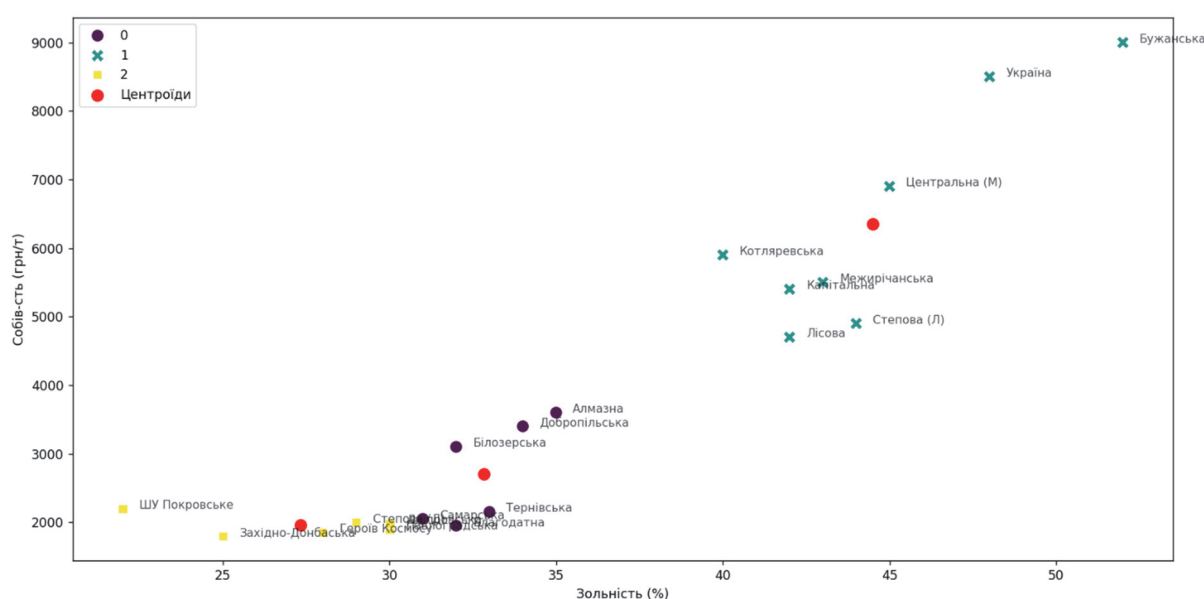
Як видно із рис. 2 більша частина підприємств належить до другого кластеру (на рис. 2 позначено синім хрестиком) це шахти «Бужанська», «Україна», «Центральна», «Котляревська», шахти ДП «Львіввугілля», і т.д. Для цих підприємств характерні висока собівартість видобутку та низький рівень механізації. Судити про доцільність експлуатації цих підприємств слід на основі оцінки коефіцієнту готовності технологічних схем. В роботі [20] запропоновано на основі мереж Петрі оцінювати рівень технологічної схеми. Встановлено, що для шахт, які ми відносимо до другого кластеру, збільшення кількості вибоїв і рівня механізації не приводить до покращення техніко-економічних показників. В той же час, підприємства першого та третього кластерів мають здатність системи до адаптації і коефіцієнт готовності практично не змінюються, що в довгостроковій перспективі призводить до підвищення рівня видобутку та зменшення собівартості.

Підприємства першого кластеру (на рис. 2 позначено синім кружком) описуються високими показниками видобутку, низькою собівартістю, високим коефіцієнтом готовності технологічних схем. До першого кластеру можна віднести ШУ «Покровське» (до початку 2025 року) та практично всі підприємства, які ведуть видобуток на території Дніпропетровської області (ДХК «Павлоградвугілля», шахтоуправління «Першотравенське», тощо). Основною стратегією є визначення обсягів видобутку та супутніх процесів (наприклад, раціональний обсяг доставки кріпильних матеріалів).

Третій кластер є найменш чисельним (на рис. 2 позначено жовтим квадратом) та представлений шахтами «Алмазна», «Добропільська», «Білозерська». Підприємства третього кластеру мають потенціал до збільшення об-

сягів видобутку, але мають тенденцію до швидкого скорочення продуктивності зростання собівартості. Це обумовлено об'єктивними причинами – наближення лінії фронту, а також організаційними – низька механізація, не оптимальна довжина очисного вибою, низькі темпи проведення підготовчих виробок. Умовою переходу до першого кластеру є оптимізація технологічних схем і, як наслідок, зменшення собівартості.

При дослідженні взаємозв'язку між якістю (зольність гірничої маси) та собівартістю (рис. 3) тенденція щодо віднесення підприємств до відповідних кластерів зберіглась. Підприємства другого кластеру так і залишились у другому кластері, що свідчить про те, що підвищення якості гірничої маси не призведе до суттєвого покращення техніко-економічних показників.



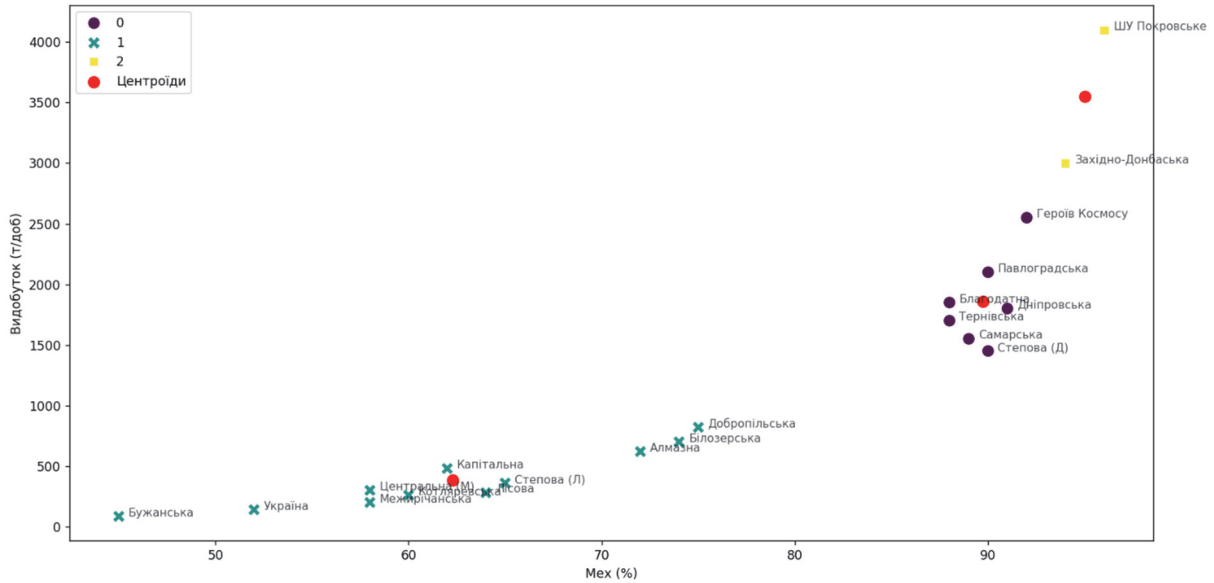


Рис. 4. – Розподіл підприємств за рівнем механізації та продуктивністю одного очисного вибою

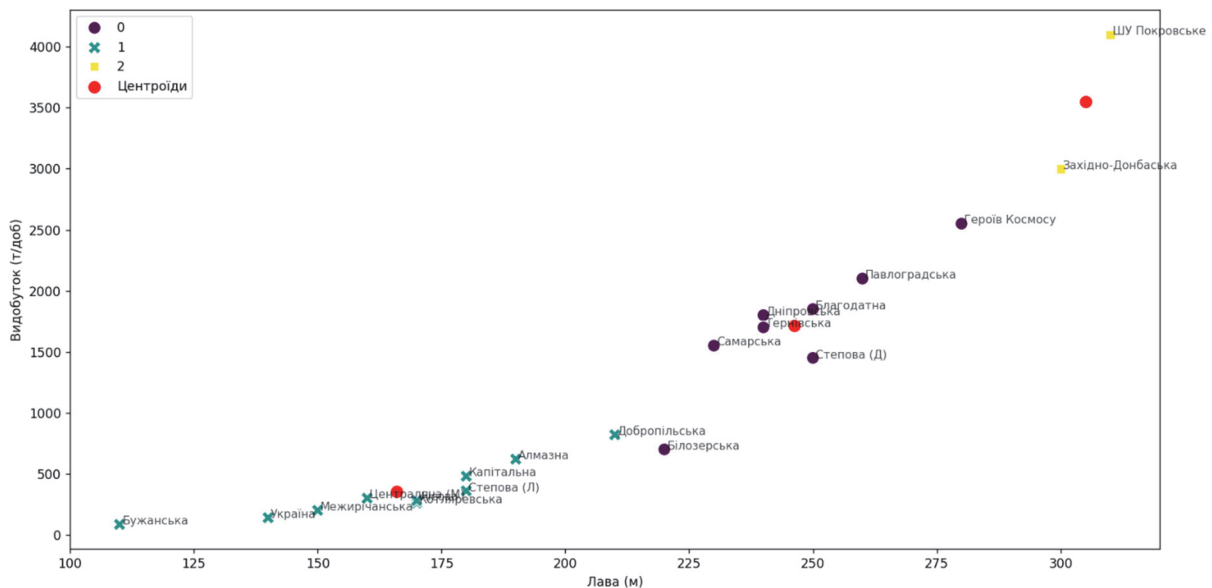


Рис. 5. – Розподіл підприємств за довжиною очисного вибою та продуктивністю одного очисного вибою

На рис. 4, 5 простежується зв'язок між продуктивністю очисного вибою та технологічними параметрами: довжина очисного вибою, рівень механізації, тощо. На рис. 5 підтверджено доцільність збільшення довжини очисного вибою до 320 м, тобто технологічні параметри є пріоритетними керуючими факторами. Рівень механізації є статистично значущим (рис. 4) – жо-

дна оптимізація технологічного процесу не призводить до значного збільшення продуктивності очисного вибою, однак може сприяти покращенню техніко-економічних показників. Наявна інформація дозволила побудувати стратегічну матрицю вугільних шахт (рис. 6).

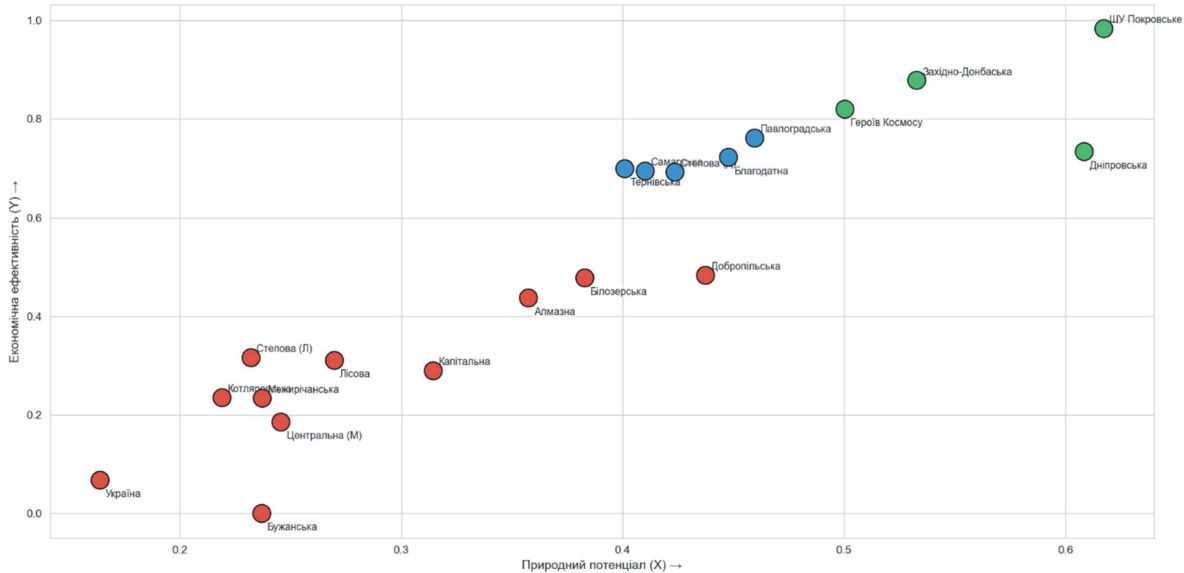


Рис. 6. – Стратегічна матриця вугільних шахт

Як видно із рис. 6 шахти на стратегічній матриці розташовані вздовж діагоналі, що свідчить про вірний розподіл на кластери. Віднесення шахт до кластеру за певною групою ознак дозволяє обрати оптимальну стратегію управління.

Висновки. В представленому дослідженні здійснено класифікацію вугледобувних підприємств України на основі параметрів експлуатації. Встановлено, що в існуючих умовах існує три кластери. В межах другого кластеру спостерігається неконтрольоване згортання виробничих потужностей. При цьому, другий кластер є найбільшим і налічує підприємства, які потребують розробки проєктів техніко-економічного обґрунтування на подальшу експлуатацію. При розробці проєктів варто враховувати коефіцієнт готовності технологічної схеми, рівень механізації, технологічні параметри очисного вибою – це є пріоритетні керуючі параметри. Наявність кластерів і описані умови дозволяють запропонувати оптимальні стратегії доробки промислових запасів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pochepov, V.M., Mamaikin, O.R., Sheka, I.V., Krukovskiy, O.P., Lapko, V., & Ashcheulova, O.M. (2024). Tool for management and planning of the fuel and energy complex taking



into account the production potential of coal-mining enterprises. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, (1415), 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012045>

2. Diachuk, O., Kholod, N., Podolets, R., Graham, N., Semeniuk, A., Evans, M., ... & Zagoruichyk, A. (2025). Pathways for decarbonization of the buildings sector in Ukraine. *Energy and Climate Change*, 6, 100195.

3. Kolasinski, T. W., Tłuczak, A., & Wigier, M. J. (2025). Perspective on decarbonization in Ukraine: Selected issues. *Journal of International Studies* (2071-8330), 18(4).

4. *Україна на шляху вступу до ЄС*. (н.д.). https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/ukraines-path-towards-eu-accession_uk

5. Ukraine 2025. Report Accompanying the document. Communication from the commission to the European Parliament, The Council, the european economic and social committee and the committee of the regions 2025 Communication on EU enlargement policy, 111.

6. *Переговори про членство в ЄС: Єврокомісія відзначила прогрес України у сфері енергетики* (н.д.). <https://mev.gov.ua/novyna/perehovory-pro-chlenstvo-v-yes-yevrokomisiya-vidznachyla-prohres-ukrayiny-u-sferi-enerhetyky>

7. Шевченко Ю. *Вугільна галузь України на межі: видобуток обвалився у п'ять разів, борги перед шахтарями зростають до сотень мільйонів* (н.д.). <https://fbc.biz.ua/news/ekonomika-uk/vugilna-galuz-ukrayini-na-mezhi-vidobutok-obvalivysya-u-p-yat-raziv-borgi-pered-shahtaryami-zrostayut-do-soten-miljoniv/>

8. Міністерство енергетики України. *Трансформація вугільних регіонів: Мінерго напрацювало рішення для модернізації вуглевидобутку*. <https://mev.gov.ua/novyna/transformatsiya-vuhilnykh-rehioniv-minenerho-napratsyuvalo-rishennya-dlya-modernizatsiyi>

9. Васишина, Л. М. (2013). Організаційні передумови кластеризації вуглевидобувних підприємств. *Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності*, 1(1), 164-167.

10. Волинець, В. І., & Грицюк, Ю. В. (2017). Класифікація електротехнічних комплексів вугільних шахт за допомогою кластерного аналізу. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, (187), 46-47.

11. Mamaikin, O. R., Salli, S. V., Pochepov, V. M., & Ashcheulova, O. M. (2015). Complex assessment of the recovery ratio of unprofitable mines. *Mining of Mineral Deposits*, 9(1), 135-139.

12. Salli, S., Mamaykin, O., Ashcheulova, O., & Salieiev, I. (2014). On the building a system of reduction of loss ratio level of coal mines. *Mining of Mineral Deposits*, 8(1), 41-47.

13. Denisov, S., & Mamaikin, A. (2010). Specialties of low thickness seams mining in conditions of Western Donbass. *Naukoviy Vistnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 7-8.

14. Хорольський, А. О., & Грін'юв, В. Г. (2018). Проектування технологічних схем гірничого виробництва в умовах невизначеності. *Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва*, (20), 132-146.

15. Хорольський, А.О. (2025). Результати моделювання виробничих показників та кластеризація малопотужних вугільних шахт в умовах доробки запасів. *Вісті Донецького гірничого інституту*, (56), 144-154.



16. Mahaboob, B., Ajmath, K. A., Venkateswarlu, B., Narayana, C., & Praveen, J. P. (2019, December). On Cobb-Douglas production function model. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2177, No. 1, p. 020040). AIP Publishing LLC.
17. Khorolskyi, A., Mamaikin, O., Lisovytska, I., Sheka, I., & Delehan, S. Investigation of Coal Reserve Recovery Indicators in Low-Capacity Mines Considering the Reprocessing of Mining Waste. In *1st DIM-ESEE 2025 conference: Development and Innovations in Mineral Resourcing*, MR47-MR53.
18. Хорольський, А. О., Зеленакова, М., Круковський, О. П., Мамайкін, О. Р., & Делеган, С. В. (2025). Strategic selection of coal mining enterprises' industrial stock finalization based on the analytic hierarchy process (AHP method). *Мінеральні ресурси України*, (4), 59-64.
19. Syakur, M. A., Khotimah, B. K., Rochman, E. M. S., & Satoto, B. D. (2018, April). Integration k-means clustering method and elbow method for identification of the best customer profile cluster. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 336, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
20. Хорольський, А.О. (2026). Застосування мереж Петрі для оцінки коефіцієнту готовності технологічних схем вугільних шахт. *Потураївські читання 2026*, 52-54.

УДК 622.271:504.064:528.8:004.94

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНІ МУЛЬТИСЕНСОРНІ БПЛА-СИСТЕМИ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ВІЯВЛЕННЯ ТЕРМІЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ВІДХОДІВ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

І.І. Чоботько¹

¹старший викладач кафедри спеціальної фізичної підготовки, e-mail: efilonov79@gmail.com

¹Дніпровський державний університет внутрішніх справ, Дніпро, Україна

Анотація. У роботі розглянуто проблему утворення значних обсягів відходів вуглевидобувної промисловості в Україні та їхній негативний вплив на довкілля внаслідок наявності осередків самозаймання. Проаналізовано сучасні підходи до моніторингу термічного стану відходів із використанням безпілотних літальних апаратів. Узагальнено можливості застосування мультисенсорних систем, зокрема RGB-, мультиспектральних, інфрачервоних камер і LiDAR-технологій. Висвітлено переваги інтегрованих підходів, що поєднують дистанційне зондування, 3D-моделювання та методи обробки даних. Обґрунтовано ефективність БПЛА для раннього виявлення зон самозаймання, підвищення точності локалізації та оперативності реагування. Визначено перспективи розвитку автоматизованих систем моніторингу на основі мультисенсорних платформ і технологій штучного інтелекту.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати; мультисенсорний моніторинг; відходи вуглевидобутку; самозаймання; дистанційне зондування.