

УДК 622.1:528.4

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-28>

ПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ ОБ'ЄКТІВ МАРКШЕЙДЕРСЬКОЇ ЗЙОМКИ ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

Бруй Ганна Валеріївна,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри гірничої справи

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

ORCID ID: 0000-0001-9527-8889

Кириченко Ігор Георгійович,

провідний маркшейдер маркшейдерського відділу

дирекції з технології та якості Гірничодобувного департаменту

ТОВ «Метінвест холдинг»

ORCID ID: 0009-0009-0401-741X

Сучасні гірничі підприємства стикаються з численними викликами, такими як складні геологічні умови, високі вимоги до екологічної безпеки, необхідність оптимізації витрат тощо. У таких умовах інтерактивний електронний генеральний 3D план (IEGP 3D) стає незамінним інструментом для управління виробництвом. Він служить сполучною ланкою в документообігу між різними технічними відділами і службами всередині підприємства, а також у відносинах із промисловими й цивільними об'єктами на прилеглих територіях. Із ним пов'язаний увесь життєвий цикл підприємства: проектні й вишукувальні роботи, будівництво, управління технологічними процесами, гірничо-збагачувальними комплексами, допоміжними службами.

Сьогодні вся інформація щодо генерального плану ПРАТ «Інгулецький ГЗК» представлена у вигляді планів на папері й частково векторизована в ГІС K-MINE за результатами маркшейдерських зйомок, проведених на підприємстві за останні кілька років.

Метою роботи є дослідження основних аспектів створення й упровадження у виробничий процес IEGP 3D та його впливу на операційну ефективність гірничого підприємства. Особливим моментом, відображеним у статті, є роль маркшейдерської служби у створенні й упровадженні інтерактивного генерального плану. Розглянуто інноваційний підхід маркшейдерської служби до створення тривимірних моделей родовищ, що є основою для інтерактивного планування. Використання ГІС K-MINE дає змогу оперативно вносити зміни, ураховуючи нові дані й обставини, що виникають у процесі роботи підприємства, приймаючи обґрунтовані рішення, знижуючи ризики й підвищуючи ефективність виробничих процесів.

Виконано аналіз факторів, за рахунок яких очікується підвищення операційної ефективності роботи підприємства, і проведено попередні розрахунки економії за умови впровадження IEGP 3D.

Ключові слова: гірниче підприємство, інтерактивний електронний генеральний 3D план, маркшейдерська зйомка, операційна ефективність, геоінформаційна система (ГІС).

Bruy Hanna, Kirichenko Ihor. Real-time spatial modeling of mining surveying objects at a mining enterprise

Modern mining companies have numerous challenges, such as complex geological conditions, high environmental safety requirements, the need to optimize costs, etc. In such conditions, an interactive electronic 3D general plan (IEGP 3D) becomes an indispensable tool for production management. It serves as a link in the document flow between various technical departments and services within the enterprise, as well as in relations with industrial and civilian facilities in the surrounding areas. It covers the entire life cycle of an enterprise: design and survey work, construction, management of technological processes, mining and processing facilities, and supporting services.

Currently, all information on the master plan of PJSC "Ingulets Mining" is presented in the form of plans on paper and partially vectorized in the K-MINE GIS based on the results of surveying conducted at the enterprise over the past few years.

The purpose of this paper is to study the main aspects of the creation and implementation of IEGP 3D in the production process and its impact on the operational efficiency of the mining enterprise. A special point reflected in the article is the role of the surveying service in the creation and implementation of the interactive general plan. An innovative approach of the surveying service to the creation of three-dimensional models of deposits, which is the basis for interactive planning, is considered. The use of GIS K-MINE allows to make changes promptly, taking into account new data and circumstances arising in the course of the enterprise's operation, to make informed decisions, reducing risks and increasing the efficiency of production processes.

The factors that are expected to increase the operational efficiency of the enterprise are analyzed and preliminary calculations of savings are made in case of implementation of IEGP 3D.

Key words: *mining enterprise, interactive electronic general plan 3D, surveying, operational efficiency, geographic information system (GIS).*

Вступ. Зростання витрат на видобуток, екологічні вимоги й необхідність підвищення продуктивності – це основні складні питання для пошуку рішень усіх сучасних гірничих підприємств. Інтерактивний електронний генеральний 3D план (*IEGP 3D*) є сучасним інструментом управління, за допомогою якого можливо ефективно планувати та контролювати виробничі процеси на гірничому підприємстві. Використання інтерактивних технологій у створенні генерального плану сприяє підвищенню точності й оперативності прийняття рішень.

IEGP 3D може бути використаний для оптимізації видобутку корисних копалин, планування й контролю виробничих процесів, підвищення безпеки на підприємстві, поліпшення екологічної ситуації, збереження достовірної інформації про фактичний стан виробничих об'єктів промислового майданчика: трубопроводів різного призначення (підземних, наземних, надземних), колодязів, ліній електромереж і зв'язку, будівель і споруд, транспортних комунікацій тощо. І це тільки невеликий перелік завдань, які вирішуються на його основі. Тривимірна візуалізація служить фундаментальним інструментом для розуміння й управління гірничими роботами [1; 2]. Стаття має на меті дослідити етапи створення й упровадження *IEGP 3D* як засобу підвищення операційної ефективності гірничих підприємств в умовах Інгuleцького ГЗК.

У численних дослідженнях [3–7] розглянуті методи та додатки на основі географічної інформаційної системи (ГІС), які використовуються для вирішення завдань гірничих підприємств. Автори Y. Choi, J. Baek, S. Park роблять висновок щодо широких перспектив використання ГІС під час планування гірничих робіт та ефективної експлуатації підприємства [3].

Маркшейдерська служба відіграє ключову роль у створенні й упровадженні інтерактивного генерального плану. Вона забезпечує точні геодезичні дані, необхідні для моделювання та аналізу виробничих процесів. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як комплекси БПЛА, 3D-сканування й геоінформаційні системи (ГІС), маркшейдери відображають не тільки реальний стан об'єктів інфраструктури, а й безпосередньо сам масив гірських порід. Це дає змогу оперативно вносити корективи в плани, реагуючи на зміни в умовах роботи.

Актуальність теми впровадження інтерактивного генерального плану зумовлена

можливістю оптимізації управлінських рішень щодо підвищення продуктивності, зменшенням витрат і покращенням екологічних показників.

Методи та методики дослідження. Традиційні методи проєктування (рис. 1, а) не завжди забезпечують швидку адаптацію до змінних умов, тому інтерактивні рішення (рис. 1, б) стають критично важливими для успішної діяльності підприємств та оперативного реагування на потреби виробництва.

У роботах [8; 9] підкреслюється важливість масштабованого семантичного підходу, який ураховує динамічні дані на різних рівнях (семантичну інформацію системи керування, сенсорні мережі, соціальні системи та міські артефакти за межами будівель. Семантична інформація про об'єкт дає змогу повністю відстежити всю історію експлуатації об'єкта, визначити його місцезнаходження на плані, виконати швидкий пошук об'єктів за заданими умовами, характеристику й параметри об'єкта, інформацію про ремонти, дані про технічне обслуговування об'єкта, історію виконання різних робіт на об'єкті, паспорти, акти, постанови, розпорядження тощо).

Усі об'єкти *IEGP 3D* розміщуються в окремих тематичних шарах. При роботі з картою реалізується можливість повного або часткового завантаження інформації з шарів і відображення її на зведених картах і планах.

Електронна карта доповнюється векторними й растровими ескізами, схемами, фотографіями підземних споруд (рис. 2). Кожне креслення має зв'язок з місцем розташування на відповідному плані (географічна просторова прив'язка).

Поповнення інформації (редагування наявної, додавання нової) в *IEGP 3D* виконується з урахуванням розмежувань прав доступу. Поповнення графічних даних за результатами маркшейдерсько-геодезичного знімання виконується маркшейдерською службою підприємства. Уведення семантичних даних виконують усі основні підрозділи підприємства, які мають відповідний рівень доступу до бази даних (рис. 3). Усі інші користувачі системи можуть тільки продивлятися план та отримувати інформацію щодо об'єктів *IEGP 3D* без права редагування.

Використання сучасної потужної високопродуктивної комп'ютерної техніки дає можливість перевести роботу з електронними картами на якісно новий рівень. K-MINE дає можливість користувачам працювати не тільки з двовимірними картами, а й із тривимірними (3D) моделями

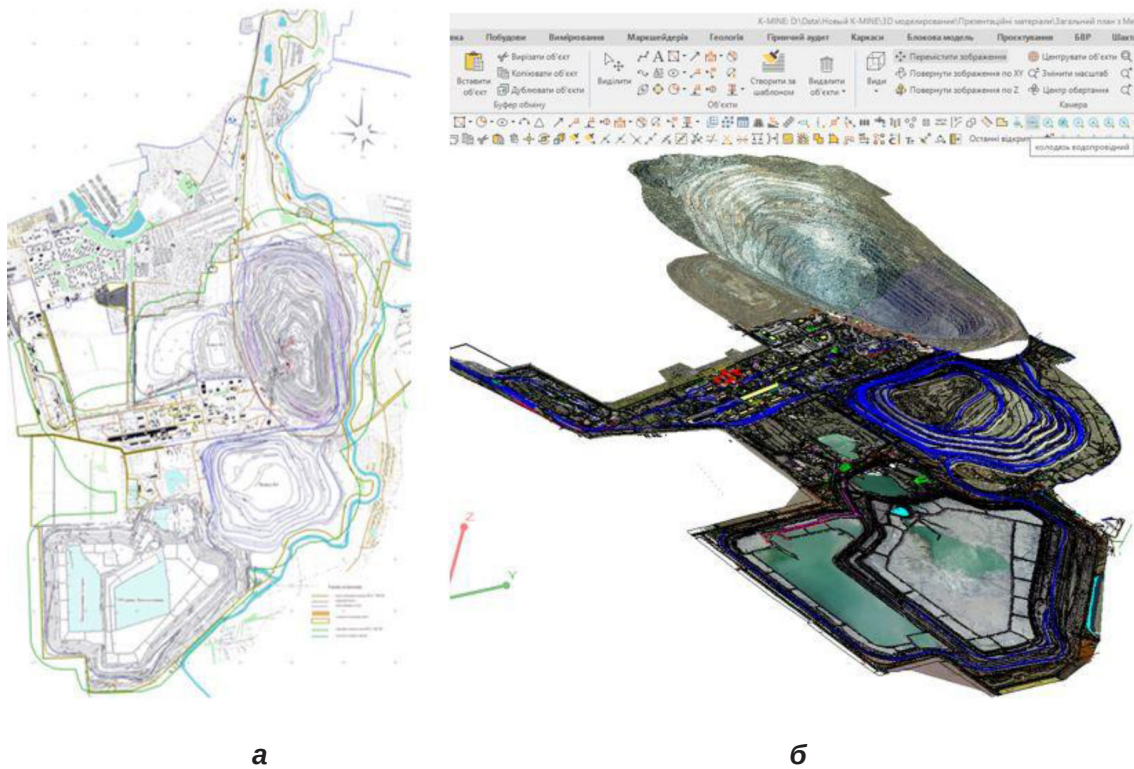


Рис. 1. Вигляд генерального плану: а) генплан 2D; б) генплан 3D з ортофотопланом

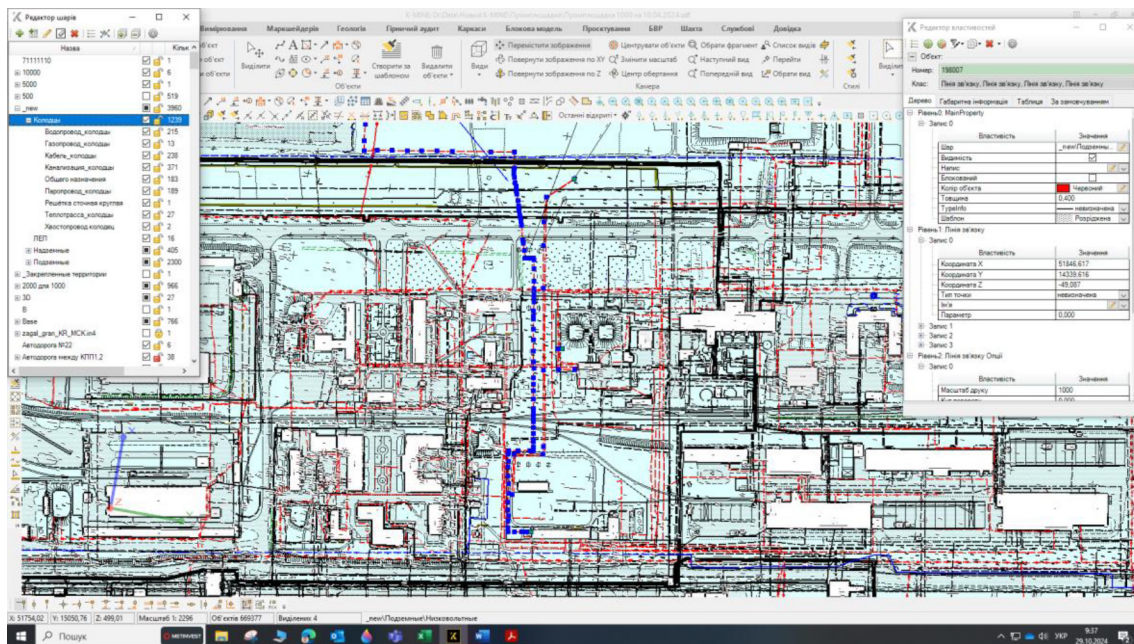


Рис. 2. План промислового майданчика у двовимірному виконанні зі структурованою інформацією

[10; 11]. Для створення 3D моделей об'єктів IEGP 3D використовуються спеціальні засоби роботи з просторовими каркасними моделями.

Проведений розгляд результатів комплексної структуризації маркшейдерської, технічної та технологічної інформації відносно об'єктів підземних і наземних комунікацій у єдиний інформаційний масив уже дав змогу зробити низку технологічних

покращень, які проаналізовані й систематизовані. Як чинники, за рахунок яких можливо підвищити операційну ефективність гірничого підприємства, ми виділили такі фактори:

1. Зниження аварійності. Значне зниження аварійності в системах тепловодопостачання та водовідведення при мінімальних затратах – за рахунок автоматизованої розробки

обґрунтованих програм точкових ремонтів ділянок мереж та обладнання, які мають найменший фактичний ресурс.

2. Зменшення втрат води. Застосування наявних інструментів оптимізації систем водопостачання дасть змогу за декілька років знизити втрати чистої води. Ефект досягається за рахунок комплексу заходів щодо зниженню тиску на насосних станціях другого підйому

й у трубопроводах (при забезпеченні нормативних параметрів режиму у споживачів) і зменшення кількості поривів і витоків.

3. Економію електроенергії. За рахунок використання інструментів розробки пусконаладжувальних заходів та оптимізації режимів роботи мереж досягається економія електроенергії на перекачку по трубопроводах об'ємів чистої та технічної води.

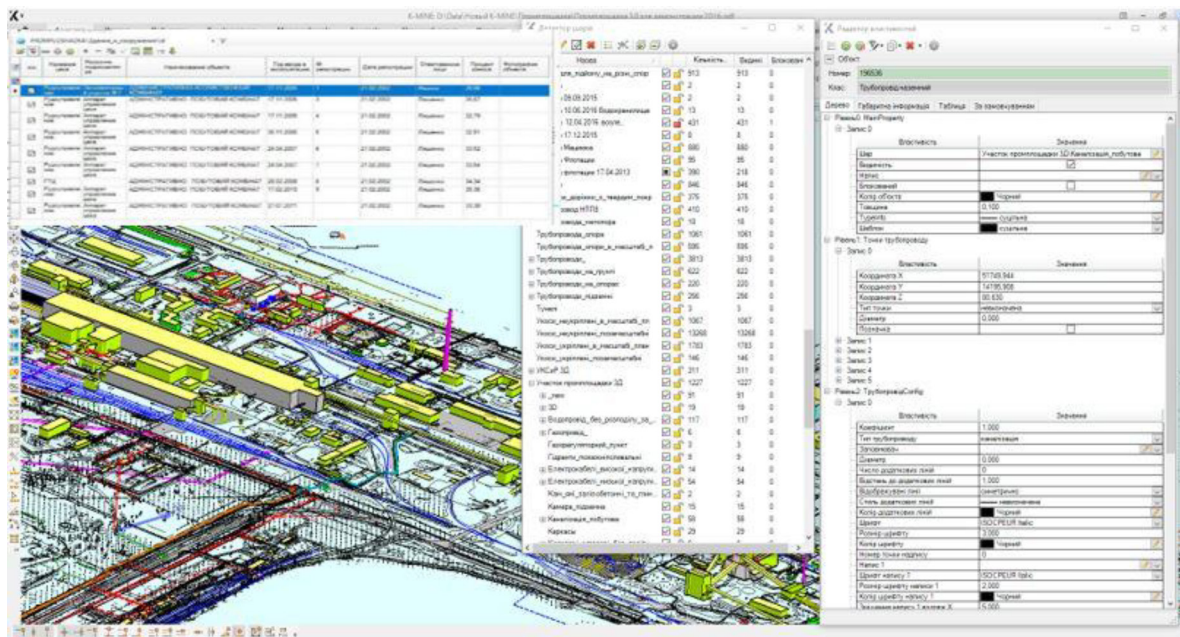


Рис. 3. Приклад структурованої інформації: топографічний план промайданчика з 3D об'єктами й уведена семантична інформація

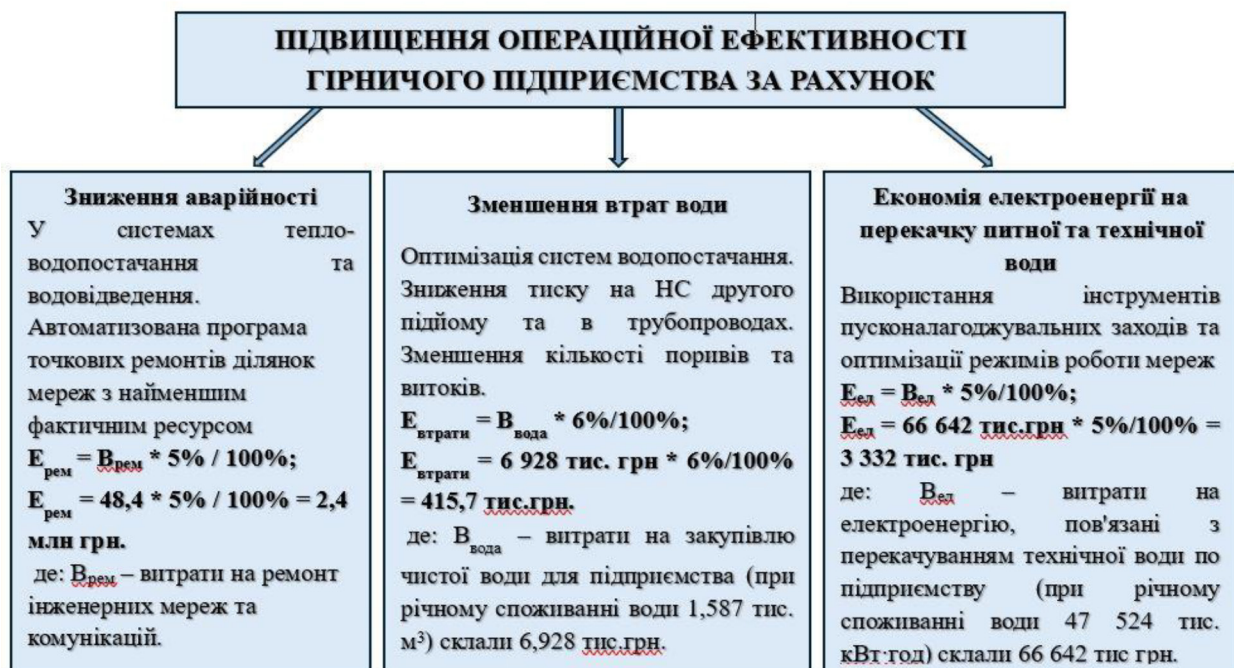


Рис. 4. Підвищення оперативної ефективності підприємства в частині комунікацій за умови використання інтерактивного генерального плану

Результати. Аналіз упровадження інтерактивного генерального плану Інгuleцького ГЗК вказує на можливість скорочення бюджетних коштів на проведення ремонтних і відновлювальних робіт для будівель і споруд, зниження ризиків аварійних ситуацій, пов'язаних із неузгодженими діями інженерних служб, а також зниження витрат на відновлювальні роботи.

За виділеними факторами виконано попередні розрахунки оперативної ефективності впровадження інтерактивного електронного генерального плану для умов Інгuleцького ГЗК. Результати розрахунків за означеними факторами представлені на рисунку 4.

Таким чином, упровадження електронного генерального плану не лише оптимізує поточні робочі процеси підприємства, а й дасть змогу суттєво економити кошти.

Висновки. Інтерактивний електронний генеральний 3D план (*IEGP 3D*) є потужним інструментом для підвищення операційної ефективності гірничого підприємства. Маркшейдерська служба відіграє важливу роль у створенні й упровадженні цього інструменту, забезпечуючи точність і надійність даних.

У процесі досліджень розглянуто основні фактори, за рахунок яких можливо підвищення

операційної ефективності роботи підприємства. Проведені розрахунки доводять суттєву економію коштів за умови використання інтерактивного генерального плану. Окрім розглянутих факторів, упровадження *IEGP 3D* дасть змогу:

- скоротити бюджетні кошти на проведення ремонтних і відновлювальних робіт для будівель і споруд;
- забезпечити актуальною та найбільш повною інформацією про об'єкти інфраструктури підприємства;
- миттєво отримувати необхідні відомості;
- знизити ризики аварійних ситуацій, пов'язаних із неузгодженими діями інженерних служб, знизити витрати на відновлювальні роботи;
- прискорити процеси виконання проектно-конструкторських і ремонтно-будівельних робіт завдяки зниженню трудовитрат і часу на підготовку документації;
- скоротити терміни виробництва та здешевлення ремонтних робіт інженерних мереж і комунікацій;
- забезпечити безпечне зберігання даних про інфраструктуру підприємства з розмежуванням прав доступу й контролем дій користувачів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Lian g R., Zhang C., Li B., Saydam S., Canbulat I. Data-driven visual model development and 3D visual analytics framework for underground mining. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2024. Vol. 153. 106054. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.106054>
2. Quansheng Liu, Xinyu Wang, Xing Huang, Xin Yin. Prediction model of rock mass class using classification and regression tree integrated AdaBoost algorithm based on TBM driving data. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2020. Vol. 106. 103595. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103595>
3. Choi Y., Baek J., Park S. Review of GIS-Based Applications for Mining: Planning, Operation, and Environmental Management. *Appl. Sci*. 2020. № 10 (7). 2266. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10072266>
4. Spatial targeting using queries in a 3-D GIS environment with application to mineral exploration / K. Sprague, E. de Kemp, W. Wong, J. McGaughey, G. Perron, T. Barrie. *Comput. Geosci*. 2006. № 32. P. 396–418.
5. Park B., Choi Y., Park H. S. Creation of Vector Network Data with Considering Terrain Gradient for Analyzing Optimal Haulage Routes of Dump Trucks in Open Pit Mines. *Tunn. Undergr. Space*. 2013. № 23. P. 353–361.
6. Lechner A. M., Devi B., Schleger A., Brown G., McKenna P., Ali S. H., Rachmat S., Syukril M., Rogers P. A Socio-Ecological Approach to GIS Least-Cost Modelling for Regional Mining Infrastructure Planning: A Case Study from South-East Sulawesi, Indonesia. *Resources*. 2017. № 6, 7.
7. Xueqin Liao, Wei Li, Jinxiang Hou. Application of GIS Based Ecological Vulnerability Evaluation in Environmental Impact Assessment of Master Plan of Coal Mining Area. *Procedia Environmental Sciences*. 2013. Vol. 18. P. 271–276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.04.035>
8. Calin Boje, Annie Guerriero, Sylvain Kubicki, Yacine Rezgui. Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research *Automation in Construction*. 2020. Vol. 114. 103179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>
9. Pauwels P., Zhang S., Lee Y.-C. Semantic web technologies in AEC industry: a literature overview. *Autom. Constr.* 2017. № 73. P. 145–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.003>
10. Рудько Г.І., Назаренко М.В. Геоінформаційні технології в надрокористуванні: на прикладі ГС К-MINE : монографія. Київ : Академпрес, 2011. 336 с.
11. Комплексні рішення для гірничодобувної промисловості. URL: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2023/01/uaModules2023.pdf> (дата звернення: 04.12.2024).

REFERENCES:

1. Liang, R., Zhang, C., Li, B., Saydam, S., & Canbulat, I. (2024). Data-driven visual model development and 3D visual analytics framework for underground mining. *Tunnelling and Underground Space Technology*. Vol. 153. 106054. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.106054>
2. Quansheng, Liu, Xinyu, Wang, Xing, Huang, & Xin, Yin. (2020). Prediction model of rock mass class using classification and regression tree integrated AdaBoost algorithm based on TBM driving data. *Tunnelling and Underground Space Technology*. Vol. 106. 103595. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103595>
3. Choi, Y., Baek, J., & Park, S. (2020). Review of GIS-Based Applications for Mining: Planning, Operation, and Environmental Management. *Appl. Sci.* № 10(7). 2266. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10072266>
4. Sprague, K., de Kemp, E., Wong, W., McGaughey, J., Perron, G., & Barrie, T. (2006). Spatial targeting using queries in a 3-D GIS environment with application to mineral exploration. *Comput. Geosci.* № 32. P. 396–418.
5. Park, B., Choi, Y., & Park, H.S. (2013). Creation of Vector Network Data with Considering Terrain Gradient for Analyzing Optimal Haulage Routes of Dump Trucks in Open Pit Mines. *Tunn. Undergr. Space*. № 23. P. 353–361.
6. Lechner, A.M., Devi, B., Schleger, A., Brown, G., McKenna, P., Ali, S.H., Rachmat, S., Syukril, M., & Rogers, P. (2017). A Socio-Ecological Approach to GIS Least-Cost Modelling for Regional Mining Infrastructure Planning: A Case Study from South-East Sulawesi, Indonesia. *Resources*. № 6(1), 7. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources6010007>.
7. Xueqin, Liao, Wei, Li, & Jinxiang, Hou. (2013). Application of GIS Based Ecological Vulnerability Evaluation in Environmental Impact Assessment of Master Plan of Coal Mining Area. *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 18. P. 271-276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.04.035>
8. Calin Boje, Annie Guerriero, Sylvain Kubicki, Yacine Rezgui. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. *Automation in Construction*. Vol. 114. 103179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>
9. Pauwels P., Zhang S., & Lee Y.-C. (2017). Semantic web technologies in AEC industry: a literature overview. *Autom. Constr.* № 73. P. 145–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.003>
10. Rudko, H.I., & Nazarenko, M.V. (2011). Heoinformatsiini tekhnolohii v nadrokorystuvanni: na prykladi HIS K-MINE [Geoinformation technologies in subsoil use: on the example of GIS K-MINE]: monohrafiia. K. : Akadempres. 336 s. [in Ukrainian].
11. Kompleksni rishennia dlia hirnychodobuvnoi promyslovosti [Integrated solutions for the mining industry]. (2023). Retrieved from: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2023/01/uaModules2023.pdf> [in Ukrainian].