

## РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.271

<https://doi.org/10.31713/vt2202339>

**Григор'єв Ю. І., к.т.н., доцент** (Криворізький національний університет), **Григор'єв І. Є., к.т.н., доцент, заступник головного інженера з цивільного будівництва** (ДП «ДПІ «Кривбаспроект»»), **Слюсар С. В., студент** (ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»), **Власенко В. А., фахівець із геоінформаційних систем**

### **ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ АДАПТАЦІЇ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА У НЕВИЗНАЧЕНОМУ ДИНАМІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ (НА ПРИКЛАДІ ВПРОВАДЖЕННЯ K-MINE)**

**Для підвищення швидкості реакції гірничого підприємства на зміни умов зовнішнього середовища назріла необхідність пошуку нових інструментів адаптації. Розглянуто процес цифровізації виробництва як ефективний підхід підвищення адаптивності виробничої системи. В якості програмного рішення проаналізовано автоматизовану систему управління гірничими роботами K-MINE. В роботі проаналізовано основні комплекси системи та їх функціональне значення: геологія, маркшейдерський комплекс, буровибухові роботи, гранулометричний склад, оптимальні контури, диспетчеризація. Оцінено потенціал підвищення ефективності роботи підприємства за рахунок впровадження систем автоматизації.**

**Ключові слова:** відкриті гірничі роботи; адаптація, автоматизована система управління; основні виробничі процеси; цифровізація виробництва.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Сучасні умови господарювання, зокрема в галузі відкритих гірничих робіт, характеризуються високою динамічністю. Попит на продукцію гірничо-видобувних підприємств піддається змінам з різних причин: через сезонні коливання, внаслідок зміни світової ціни на продукцію, з огляду на логістичні чинники, через інші соціальні, політичні або екологічні фактори. Зміна попиту на певний вид корисної копалини може суттєво вплинути на режим гірничих робіт і продуктивність підприємства. Водночас великі гірничо-видобувні підприємства є надзвичайно інертними

виробничими системами, здебільшого не здатними адекватно оперативно змінювати свою продуктивність відповідно динаміці реальних кон'юнктурних еволюцій сировинного ринку [1; 2].

Не маючи практично ніяких важелів впливу на зовнішнє середовище, підприємства мають адаптаційні можливості, обмежені внутрішнім операційним простором, технікою та технологією гірничих робіт. Враховуючи сучасний стан гірничо-видобувних підприємств, значний адаптаційний потенціал зосереджений в цифровізації гірничого виробництва.

Вектор, пов'язаний із цифровою трансформацією галузей промисловості, стає важливою ознакою провідних гірничодобувних підприємств. Гнучкіше виробництво, вища продуктивність та розробка нових бізнес-моделей можливі саме завдяки цифровим рішенням. Для скорочення витрат, підвищення безпеки ведення гірничих робіт та сталого розвитку впроваджуються автоматизовані системи управління гірничими роботами (АСУ ГР).

**Викладення матеріалу і результати.** Розглянемо універсальну АСУ ГР на базі K-MINE, яка використовується для всіх етапів гірничого виробництва як при відкритій, так і підземній розробках родовищ корисних копалин.

Ця система має модульну структуру та базується на використанні єдиного графічного ядра, єдиної бази даних і набору спеціалізованих програмних комплексів для вирішення виробничих задач.

Повна цифровізація гірничого виробництва неможлива без створення «цифрового двійника» об'єкта проєктування. В той же час використання геологічного програмного комплексу K-MINE надає можливість замкнути весь цикл робіт на підприємстві від обробки первинної документації даних геологічної розвідки та досліджень до створення віртуальних моделей родовищ і геологічного середовища із виконанням оцінки їх запасів, що і є фактичним створенням «цифрового двійника».

Тривимірне моделювання родовищ є важливим елементом всього технологічного процесу видобутку корисних копалин, що дозволяє візуально відобразити всі характеристики родовища, а також виконати точні розрахунки.

Геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин у геологічному програмному комплексі виконується на основі різних систем класифікацій, таких як CRIRSCO, JORC, PKOON-2009 SPE-PRMS тощо [3].

Запаси корисних копалин оцінюються з використанням методів блочного моделювання та геостатистичних досліджень. Використання блокових моделей на підприємствах дозволяє автоматизувати процеси оперативної переоцінки запасів при виникненні нової інформації по родовищу або його ділянцям, а також виконувати багатоваріантне планування розвитку гірничих робіт, зокрема при зміні пріоритету видобування певного виду корисної копалини.

Водночас нормативна база України зобов'язує гірничо-видобувні підприємства використовувати раціональні і ресурсозберігаючі технології [4], а використання сучасних цифрових технологій проєктування забезпечує найбільш дбайливе використання і точний облік мінеральних ресурсів.

Для вирішення маркшейдерських задач на гірничодобувних підприємствах використовується маркшейдерський програмний комплекс K-MINE. До складу комплексу включено задачі від обробки даних польових вимірювань, ведення баз даних маркшейдерських зйомок до вирішення позиційних геометричних та спеціалізованих маркшейдерських задач [5].

Функціональні можливості маркшейдерського комплексу дозволяють проводити автоматичні розрахунки обсягів виїмки та засипки гірничої маси різними методами, вирішувати гірничо-геометричні завдання довільної складності, автоматично будувати профілі та розрізи, а також вирішувати завдання маркшейдерського забезпечення буровибухових робіт (рис. 1).

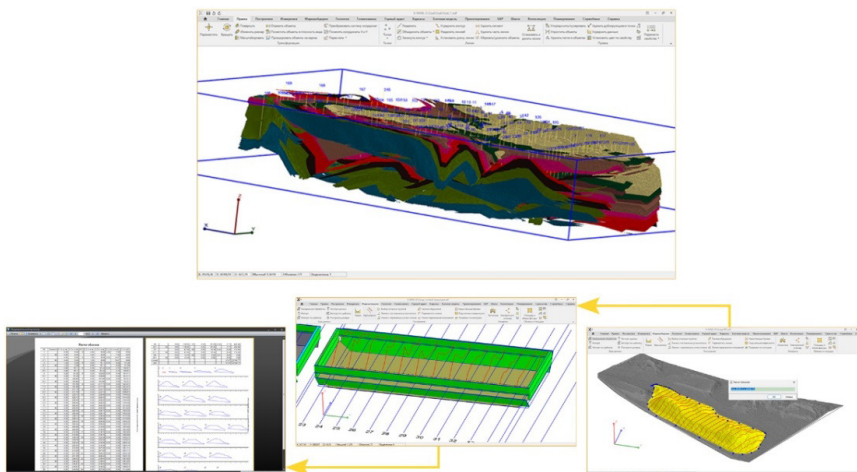


Рис. 1. Автоматизація геологічного та маркшейдерського супроводу гірничих робіт у K-MINE

Для проектування буровибухових робіт використовується відповідний програмний комплекс «Буровибухові роботи». Функціонал комплексу дозволяє проектувати та розраховувати бурові блоки різної складності з урахуванням гірничо-геологічних умов, а також особливостей технології ведення гірничих робіт. Використання комплексу забезпечує вирішення таких технологічних задач, як 3D-візуалізація свердловин і робота з ними, розрахунок свердловинних зарядів бурового блоку та візуалізація їх вибуху, облік вибуреної й підірваної маси тощо. Реалізовано можливість роботи з системами високоточного позиціонування бурових верстатів, диспетчерськими та навігаційними системами [6]. Використання комплексу дозволяє оптимізувати буровибухову підготовку, а також підвищити якість підривання (рис. 2).

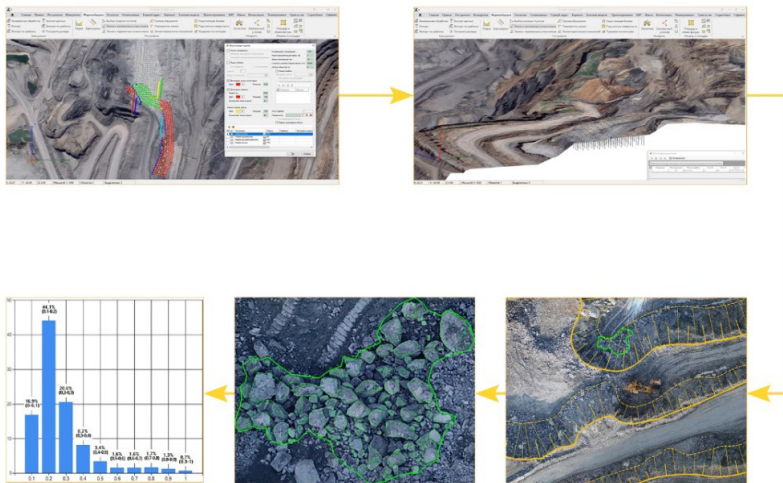


Рис. 2. Управління буровибуховими роботами і необхідним гранулометричним складом в K-MINE

У парі з буровибуховим комплексом гірничо-видобувними підприємствами зазвичай використовується програмний комплекс «Гранулометричний склад» для визначення гранулометричного складу підірваних гірських порід та оцінки якості буровибухових робіт. Функціонал комплексу дозволяє визначати гранулометричний склад підірваної гірської маси за цифровими зображеннями вибою, а також проводити коригування буровибухових робіт для отримання заданої крупності. Результатом роботи такого комплексу є контроль та підвищення якості буровибухової підготовки гірської маси [6].

Для контролю за положенням та параметрами роботи

гірничотранспортного обладнання в режимі реального часу використовується комплекс «Диспетчеризація». Функціонал комплексу дозволяє візуалізувати поточне розташування та траєкторію переміщення техніки. Обмін даними відбувається шляхом інтеграції програмного комплексу із системами точного позиціонування і диспетчерського управління. Управління та планування в режимі онлайн дозволяє знизити простої обладнання гірничо-транспортного комплексу, підвищити продуктивність обладнання, а також запланувати проведення ремонтних робіт [6; 7].

Використання цифрових технологій забезпечує оперативну обробку інформації про роботу гірничотранспортного комплексу, що дозволяє підприємству швидше та ефективніше вирішувати завдання оптимізації, максимально знижуючи витрати на ремонт та технічне обслуговування та значно підвищуючи продуктивність обладнання.

Для стратегічного планування робіт і визначення оптимального контуру кар'єру використовується програмний комплекс «Оптимальні контури». Функціонал комплексу дозволяє створювати економічну модель родовища, визначати оптимальний контур границь гірничих робіт, а також обґрунтувати найефективніший варіант відпрацювання родовищ (рис. 3). Також розрахований контур кар'єру є базисом для визначення величини запасів корисних копалин, обсягу порід розкриття, оцінки економічного потенціалу мінеральних запасів та ресурсів і необхідних обсягів фінансування при їх освоєнні [6; 7].

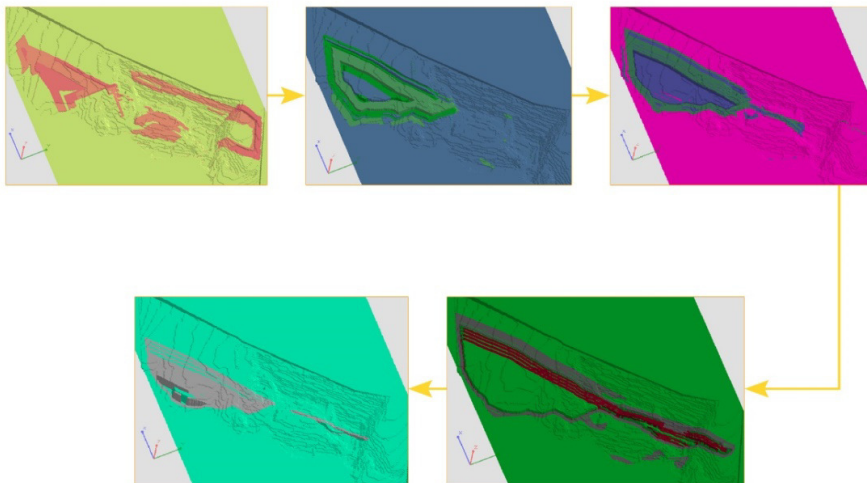


Рис. 3. Планування та визначення оптимального контуру в K-MINE

Технології прикладного програмного забезпечення K-MINE дозволяють автоматизувати всі етапи видобутку корисних копалин. При цьому гірничодобувні підприємства можуть запроваджувати АСУ ГР на будь-якому етапі виробництва.

На сьогоднішній день переваги цифрового лідерства є очевидними. За допомогою АСУ ГР на базі K-MINE можна створювати віртуальні моделі гірничодобувних підприємств, розраховувати сценарії розвитку кар'єрів і шахт, автоматизувати процеси від планування та проектування процесів розробки родовища, видобутку корисних копалин до проведення ремонтів гірничого обладнання. І на основі даних, отриманих у режимі реального часу, формувати результати у вигляді звітів для подальшого ухвалення оптимальних управлінських рішень [6].

### **Висновки і напрями подальших досліджень**

Досвід впровадження дозволяє говорити про те, що автоматизована система управління гірничими роботами на прикладі K-MINE може значно підвищити ефективність гірничих робіт. Використовуючи передові технології та аналіз даних у реальному часі, K-MINE оптимізує процеси виробництва [6; 7].

Однією з головних переваг АСУ ГР K-MINE є підвищення ефективності. Система надає дані в режимі реального часу про продуктивність обладнання, рівень виробництва й інші важливі показники, що дозволяє операторам швидко виявляти та вирішувати будь-які проблеми, які можуть виникнути. Завдяки автоматизації задач, таких як буріння та вибухові роботи, скорочується час простою та підвищується загальна продуктивність.

Окрім підвищення ефективності, система автоматизації гірничих робіт також може підвищити безпеку ведення гірничих робіт. Використовуючи датчики, камери та інші технології моніторингу, виявляються потенційні небезпеки і спрацьовує система оповіщення.

Важливою вимогою конкурентного середовища гірничовидобувних підприємств є постійна оптимізація виробництва. Аналізуючи дані про використання обладнання та рівні виробництва, варіативне планування, розглянута система допомагає операторам визначити області, які потребують вдосконалення, і внести корективи для покращення загальної продуктивності.

Загалом впровадження автоматизованої системи управління гірничими роботами K-MINE може значно підвищити ефективність, покращити безпеку й оптимізувати виробництво, що призводить до

зниження собівартості продукції та підвищення стійкості для гірничодобувних компаній, оскільки:

- робить виробництво гнучкішим, конкурентоспроможним, відповідно, більш прибутковим, зокрема в динамічних умовах господарювання;

- цифрові технології K-MINE забезпечують оперативну обробку інформації про виконання гірничих робіт, що дозволяє підприємству швидше та ефективніше вирішувати завдання оптимізації технологічного процесу, підвищення якості, безпеки та операційної ефективності, а також створення нових бізнес-можливостей.

Окрім перелічених переваг, впровадження систем автоматизованого управління гірничими роботами є обов'язковим кроком для майбутнього переходу на обладнання з дистанційним керуванням, дистанційним моніторингом і контролем в режимі онлайн.

1. Peregudov V. V., Hryhoriev I. E., Hryhoriev Y. I. Interaction of technogenic deposits parameters developments of a bulk type. *Mining Journal of Kryvyi Rih National University*. 2019. N 105. P. 29–34. URL: <https://doi.org/10.31721/2306-5435-2019-1-105-29-34> (дата звернення: 25.05.2023).
2. Determination of the transfer step of the ore chute while mining the technogenic deposit of the bulk type / V. Peregudov et al. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. P. 02004. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016602004> (дата звернення: 25.05.2023).
3. Рудько Г. І., Нецький О. В., Назаренко М. В., Хоменко С. А. Національні та міжнародні системи класифікації запасів і ресурсів корисних копалин: стан та перспективи гармонізації. Чернівці : Букрек, 2012. 240 с.
4. Жуков С., Григор'єв Ю., Луценко С. Аналіз технологічних підходів і досвіду відпрацювання хвостосховищ Кривбасу. *Збірник наукових праць національного гірничого університету*. 2022. Вип. 71. С. 53–61. URL: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.053>. (дата звернення: 25.05.2023).
5. Рудько Г. І., Назаренко М. В., Хоменко С. А., Нецький О. В., Федорова І. А. Геоінформаційні технології в надрокористуванні: на прикладі ГІС K-MINE. Київ : Академпрес, 2011. 336 с.
6. Использование оптимизационных методов при определении конечных контуров отрабоки месторождений полезных ископаемых. *SVIT GIS-2010* : зб. доп. науково-практ. семінару, м. Кривий Ріг. Кривий Ріг, 2010. С. 12–18.
7. Назаренко В. М., Назаренко М. В., Хоменко С. А., Назаренко Н. В. Автоматизована система управління гірничими роботами на базі ГІС K-MINE. *Геоінформатика*. 2008. № 3. С. 48–55.



## REFERENCES:

1. Peregudov V. V., Hryhoriev I. E., Hryhoriev Y. I. Interaction of technogenic deposits parameters developments of a bulk type. *Mining Journal of Kryvyi Rih National University*. 2019. N 105. P. 29–34. URL: <https://doi.org/10.31721/2306-5435-2019-1-105-29-34> (data zvernennia: 25.05.2023).
2. Determination of the transfer step of the ore chute while mining the technogenic deposit of the bulk type / V. Peregudov et al. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. P. 02004. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016602004> (data zvernennia: 25.05.2023).
3. Rudko H. I., Netskyi O. V., Nazarenko M. V., Khomenko S. A. Natsionalni ta mizhnarodni systemy klasyfikatsii zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn: stan ta perspektyvy harmonizatsii. Chernivtsi : Bukrek, 2012. 240 s.
4. Zhukov S., Hryhoriev Yu., Lutsenko S. Analiz tekhnolohichnykh pidkhodiv i dosvidu vidpratsiuvannia khvostoskhovyshch Kryvbasu. *Zbirnyk naukovykh prats natsionalnoho hirnychoho universytetu*. 2022. Vyp. 71. S. 53–61. URL: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.053>. (data zvernennia: 25.05.2023).
5. Rudko H. I., Nazarenko M. V., Khomenko S. A., Netskyi O. V., Fedorova I. A. Heoinformatsiini tekhnolohii v nadrokorystuvanni: na prykladi HIS K-MINE. Kyiv : Akadempres, 2011. 336 s.
6. Ispolzovanie optimizatsionnykh metodov pri opredelenii konechnykh konturov otraboki mestorojdeniy poleznykh iskopaemykh. *SVIT GIS-2010* : zb. dop. naukovo-prakt. seminaru, m. Kryvyi Rih. Kryvyi Rih, 2010. S. 12–18.
7. Nazarenko V. M., Nazarenko M. V., Khomenko S. A., Nazarenko N. V. Avtomatyzovana systema upravlinnia hirnychymy robotamy na bazi HIS K-MINE. *Heoinformatyka*. 2008. № 3. S. 48–55.

---

**Hryhoriev Y. I., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor** (Kryvyi Rih National University), **Hryhoriev I. Je., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Deputy Chief Civil Engineering Engineer** (SE «SPI «Kryvbasproekt»»), **Sliusar S. V., Senior Student** («Technical University «Metinvest Polytechnic»» LLC), **Vlasenko V. A., Geoinformation Systems Specialist**

### **DIGITALIZATION AS A TOOL FOR THE MINING ADAPTATION IN AN UNDETERMINED DYNAMIC ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF THE IMPLEMENTATION OF K-MINE)**

**Modern open pit mining conditions are characterized by high volatility in demand for products due to seasonal fluctuations, as a result of changes in the world price of products, due to logistical factors, due to other social, political or environmental factors. A**



**change in demand for a certain type of mineral can significantly affect the mode of mining operations and the productivity of the enterprise. At the same time, mining enterprises have little impact on the external environment, but have adaptive capabilities limited by the internal operational space, machinery and technology of mining operations. So significant adaptation potential is concentrated in the mining digitalization.**

**The paper considers the automated management system of mining enterprise based on K-MINE, which is used for all stages of mining production from enterprise design to its reclamation.**

**Mineral reserves are estimated using block modeling methods and geostatistical investigations. The complex of surveying support includes tasks from processing data from field measurements, maintaining databases to solving positional geometric and specialized surveying tasks.**

**For the design and calculations of drilling blocks of various complexity the features of the mining technology the appropriate software complex «Drilling and blasting works» has been implemented. To determine the granulometric composition of blasted rocks and to assess the quality of drilling and blasting works, the software complex «Granulometric composition» is assigned.**

**The «Dispatching» complex is used to control the position and parameters of mining transport equipment in real time. The functionality of the complex allows user to visualize the current location and trajectory of the equipment movement.**

**The «Optimal Contours» software complex is used for strategic planning of works and determination of the optimal open-pit contour. The functionality of the complex allows user to create an economic model of the deposit, determine the optimal outline of mining works, as well as justify the most effective option for working out deposits.**

**The experience of implementation allows to say that the automated system of mining works management, using the example of K-MINE, can significantly increase the efficiency and safety of mining operations. The introduction of automated mining management systems is a mandatory step for the future transition to equipment with remote control, remote monitoring and online control.**

***Keywords:* open pit mining; adaptation; automated management system; basic production processes; digitization of production.**