

## ГЛОБАЛЬНІ ПЕРСПЕКТИВИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ З K-MINE

## GLOBAL PROSPECTS ON DIGITIZATION OF MINING COMPANIES WITH K-MINE

**Мета.** Наукове та практичне обґрунтування підвищення ефективності технологічних процесів у кар'єрах і шахтах шляхом цифровізації гірничих робіт.

**Методика досліджень.** Описано методику використання функціоналу програмних комплексів K-MINE для створення єдиної автоматизованої системи управління гірничими роботами та інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень на базі системного підходу та оптимізаційних і геопросторових цифрових моделей, що відображають реальний стан відпрацювання родовищ та перспектив розвитку.

**Результати дослідження.** При сучасних ринкових вимогах ефективне функціонування можливе завдяки комплексній цифровізації основних та допоміжних операцій. Виконання цієї вимоги дозволяє підвищити ефективність використання надр та позбутись неконтрольованих втрат на виробництві. У зв'язку з цим розглянуто можливість застосування програмного забезпечення K-MINE для комплексної цифровізації гірничих робіт. Проведено аналіз функціональних можливостей основних програмних комплексів щодо їх використання на різних етапах гірничого виробництва як з відкритим, так і підземним способами видобутку. Визначено цифровий ефект використання автоматизованої системи управління гірничими роботами.

**Наукова новизна** полягає у обґрунтованості використання K-MINE як функціональної частини інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень на базі комплексного цифрового моделювання, проєктування, планування та управління гірничими роботами. Визначено взаємозв'язок між гнучко сформованим складом і структурою моделей та алгоритмів і розрахунків, що дозволяють визначати параметри для прийняття ефективних управлінських рішень.

**Практичне значення.** На основі проведених досліджень визначено, що комплексний підхід до цифровізації гірничодобувних підприємств з K-MINE дозволяє геологам, маркшейдерам, технічним спеціалістам розв'язувати науково-технічні задачі, реалізовувати імітаційне моделювання, покращувати ефективність і гнучкість управління процесами на підприємствах та підвищувати безпеку ведення гірничих робіт в цілому.

**Ключові слова:** цифровізація гірничодобувних компаній, автоматизована система управління гірничими роботами, імітаційне моделювання родовищ, K-MINE

**Вступ.** Цифрові технології удосконалюються з кожним днем та активно входять у всі галузі економіки. У сучасних економічних умовах цифровізація є вирішальною ланкою технічного прогресу та розвитку гірничодобувних підприємств і суспільства в цілому. Вектор, пов'язаний із цифровою трансформацією галузей промисловості, став важливою ознакою провідних

компаній. Гнучкіші виробничі процеси, вища продуктивність, висока додана вартість та розробка нових бізнес-моделей можливі завдяки цифровим рішенням [1]. Для скорочення витрат, підвищення безпеки ведення гірничих робіт і сталого розвитку впроваджуються автоматизовані системи управління гірничими роботами (АСУ ГР) [1; 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останнє десятиріччя проведено низку науково-дослідних та проєктних робіт, присвячених проблемам автоматизації гірничодобувних підприємств. У них сформовано підходи до побудови системи управління гірничими роботами, розглянуто питання використання сучасного програмного забезпечення для автоматизації окремих процесів на гірничодобувних підприємствах, але недостатньо уваги приділено комплексному управлінню гірничими роботами з використанням АСУ ГР.

**Постановка проблеми.** У ринкових умовах сьогодення ефективне функціонування можливе лише при комплексній цифровізації основних та допоміжних операцій. Виконання цієї вимоги дозволяє підвищити ефективність використання надр та позбутись неконтрольованих втрат на виробництві.

Отже, **метою даної роботи** є дослідження функціональних можливостей та обґрунтування переваг цифровізації гірничих робіт за допомогою K-MINE для підвищення ефективності технологічних процесів у кар'єрах і шахтах.

**Основана частина.** Впровадження інтелектуальних систем є основою для суттєвого скорочення витрат часу на здійснення виробничих операцій, зниження витрат та, відповідно, зниження собівартості видобутку корисних копалин.

Застосування спеціального фахового програмного забезпечення на гірничих підприємствах дозволяє автоматизувати більшість процесів інженерного супроводу гірничих робіт. Єдиний інформаційний простір і можливість багатокористувацького режиму спрощує та багаторазово прискорює процеси обробки інформації, підвищує точність розрахунків, дозволяє в рамках зазначеного часового інтервалу розглянути кілька різних сценаріїв розвитку гірничих робіт, оптимізувати технологічні процеси з використанням критеріїв і обмежень, притаманних певному підприємству та, безумовно, підвищити безпеку ведення гірничих робіт у цілому [2].

Розглянемо універсальне спеціалізоване програмне забезпечення K-MINE, що використовується для всіх етапів гірничого виробництва як при відкритій, так і підземній розробках родовищ корисних копалин. В основу покладено комплексний підхід до автоматизації, що ґрунтується на об'єднанні основних і допоміжних процесів в єдиний інформаційний технологічний ланцюг.

K-MINE має модульну структуру та базується на використанні єдиного графічного ядра, єдиної бази даних та набору спеціалізованих програмних комплексів для розв'язання виробничих задач.

Окреслимо основні функціональні можливості системи:

- використання промислової системи управління базами даних, що дозволяє працювати з необмеженими за обсягом масивами інформації;
- протоколювання усіх дій у системі;
- підтримка різних систем координат та вільного переходу між ними;

- робота у розподіленій мережі з розмежуванням прав доступу, а також можливістю кодування та шифрування даних;
- взаємодія з різним апаратним забезпеченням (безпілотні літальні апарати, прилади, датчики тощо);
- наявність функції друку згідно з вимогами проектно-конструкторської документації;
- модернізація та доопрацювання задач користувача без участі розробника;
- взаємодія з Web-платформою розширення функціоналу системи;
- робота з сервісом Google Maps, вільна інтеграція з ERP системами та підсистемами інших розробників [3].

Визначимо портфель програмних комплексів, що дозволяють у повному обсязі закривати потреби підприємства з урахуванням гірничо-геологічних та гірничо-технічних умов (рис. 1).

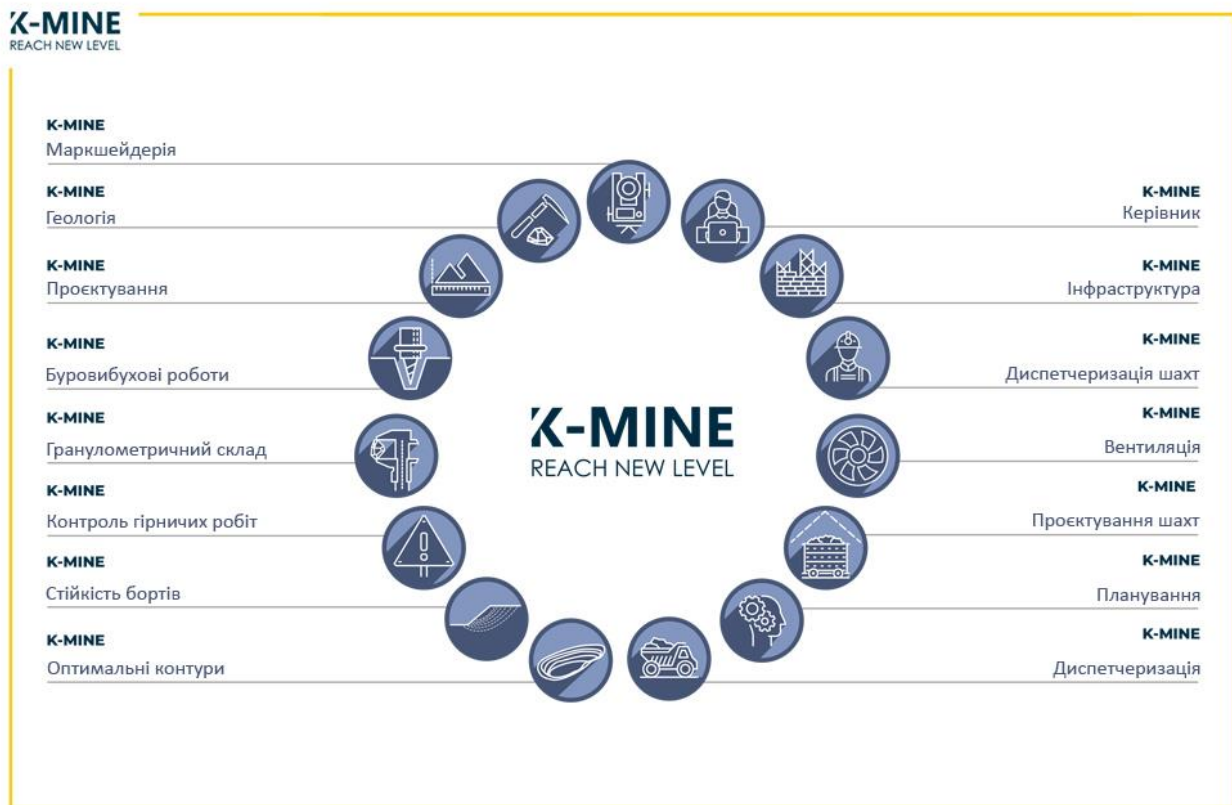


Рис. 1. Портфель програмних комплексів К-МІНЕ

Побудова цифрових двійників родовищ є важливим елементом процесу видобутку твердих корисних копалин, що дозволяє візуально відобразити всі характеристики родовищ на будь-якій стадії розробки.

Програмний комплекс геологічного моделювання охоплює увесь цикл задач від розробки структури бази даних для зберігання даних опробування геологічних виробок та геофізичних досліджень до створення блокових геолого-економічних моделей родовищ, призначених для оцінки запасів, задач календарного планування тощо. За допомогою розрахунків, виконаних в

геологічному програмному комплексі, можна встановлювати локальні тренди та закономірності, що мають значний вплив на загальну оцінку рентабельності проєкту. Економічна оцінка родовищ виконується на основі різних систем класифікацій, включаючи національні системи класифікації, а також міжнародні CRIRSCO, JORC, рамкову класифікацію ООН, SPE-PRMS тощо [2; 3].

Завдяки маркшейдерському комплексу автоматизуються процеси камеральної обробки маркшейдерських зйомок, геометричних побудов виробок на підставі проведених зйомок і гірничо-геометричних розрахунків, підрахунку обсягів виїмки, поточних задач маркшейдерської служби тощо. Підтримуються формати будь-яких видів вимірювальних інструментів та безпілотних літальних апаратів. Документація, створена в маркшейдерському програмному комплексі, відповідає всім вимогам маркшейдерських інструкцій і органів технічного нагляду.

К-MINE дозволяє виконувати автоматичні побудови суміщених геолого-маркшейдерських розрізів, які одночасно містять геологічну інформацію, об'єднану з поточним та проєктним становищем гірничих робіт (рис.2).

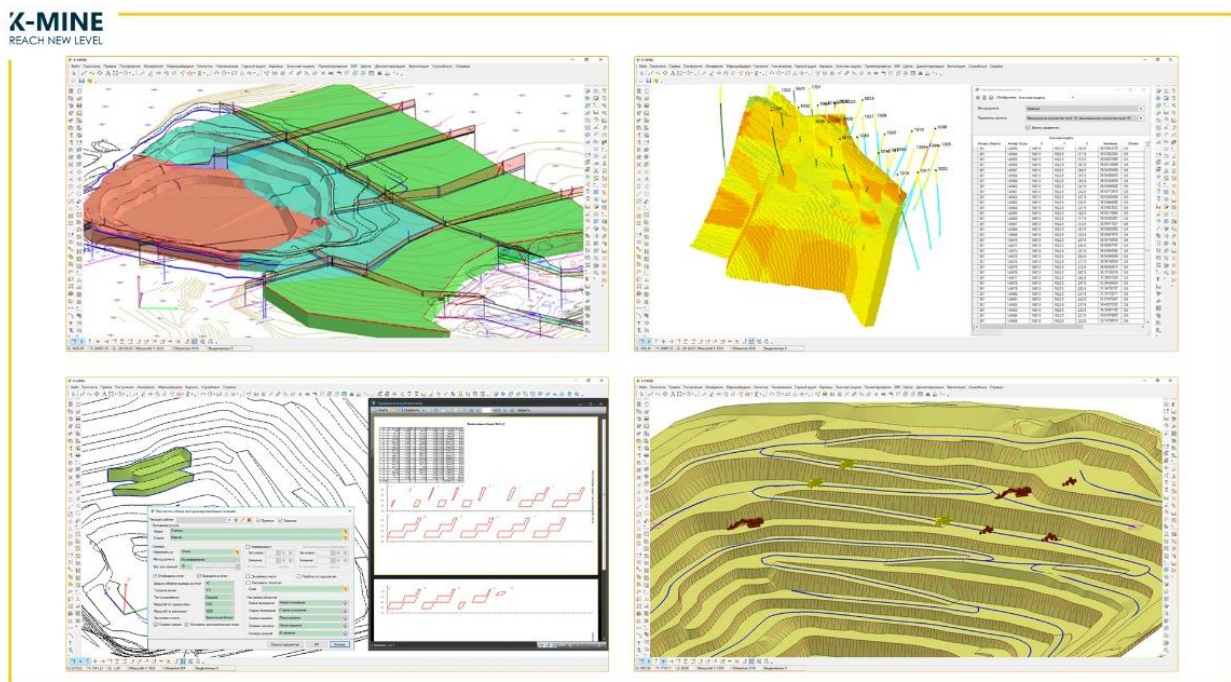


Рис. 2. Приклади побудови геологічних і маркшейдерських моделей в К-MINE

Для підприємств, що в своїй роботі використовують енергію вибухів, призначено програмний комплекс проєктування буровибухових робіт (БВР). Дозволяє в режимі реального часу вирішувати задачі: проєктування розміщення свердловин в контурі блоку, визначення діаметрів свердловин, вибір типів вибухових речовин з урахуванням властивостей міцності та категорій порід, вибір конструкцій зарядів, розрахунок систем комутації, інформаційного обміну із суміжними системами тощо. Проєкти на буріння та підривання окремих блоків є джерелом інформації для підготовки та формування звітності по масовому

вибуху [3].

Задача визначення та контролю гранулометричного складу підірваних порід вирішується за допомогою комплексу контролю гранулометричного складу. Використання комплексу гранулометричного складу дозволяє контролювати якість підготовки гірської маси з використанням вибухів, і на підставі розрахованих даних оперативно коригувати параметри паспортів БВР (бурові сітки та конструкції зарядів) для підготовки виїмкових блоків в зазначеній зоні кар'єрного поля, за рахунок чого отримувати істотний економічний ефект.

Актуальні гірничо-геологічні моделі є інформаційною основою для проектування, багатоваріантного планування розвитку та ведення гірничих робіт.

Використання K-MINE для планування і проектування надає гірничим інженерам базові інструментальні засоби трансформації геологічних моделей твердих корисних копалин в проекти просторового положення гірничих виробок, оптимізовані за витратами та часовими параметрами плани черговості їх проведення, а також дозволяє визначати оптимальну послідовність відпрацювання запасів родовищ або його ділянок (рис. 3).

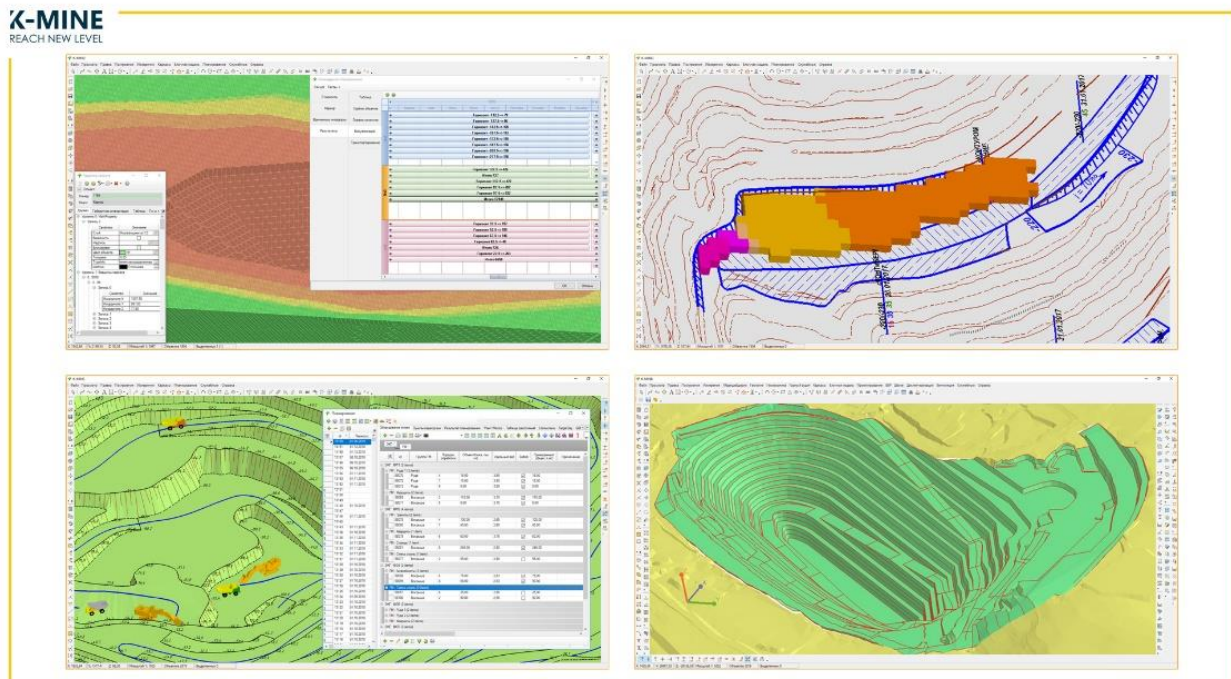


Рис. 3. Приклади планування та проектування відкритих гірничих робіт в K-MINE

Програмний комплекс для проектування містить набір інструментів для проектування всіх гірничотехнічних споруджень при відкритій розробці кар'єрів, відвалів, автомобільних і залізничних доріг.

Планування гірничих робіт в програмному комплексі прив'язується до часових інтервалів. Програмний комплекс планування гірничих робіт дозволяє об'єднати гірниче планування з його економічною складовою та готувати

оптимальні, з точки зору реалізації і вартості, програми гірничих робіт.

Програмний комплекс для визначення оптимального контуру кар'єра дозволяє визначати оптимальний контур кордонів гірничих робіт і обґрунтовувати найбільш ефективний варіант відпрацювання родовищ. Програмні комплекси для визначення стійкості бортів та контролю ведення гірничих робіт дозволяють, по-перше, оцінювати стан кутів відкосів та нахилів бортів кар'єрів та ярусів відвалів, а, по-друге, провадити контроль за дотриманням технологічних норм і вимог при відкритому способі розробки родовища, автоматично аналізувати параметри гірничотехнічних елементів кар'єрів і відвалів [2; 4].

За допомогою програмного комплексу диспетчеризації в режимі реального часу на 3D моделі кар'єра контролюються процеси усіх вантажопотоків як корисних копалин, так і вивезення розкривних порід. Це дає можливість забезпечувати контроль планових показників видобутку та перевезень, оперативно вносити корективи у разі виявлення відхилень, а також здійснювати оцінку якісних показників шихти на інтервалі робочої зміни в розрізі планового періоду.

Для гірничих підприємств з підземним способом видобутку використовується ряд наступних програмних комплексів.

Програмний комплекс для проектування шахт застосовується для проектування підземних гірничих робіт і дозволяє вирішувати завдання гірничого проектування як при розробці нового родовища, так і при експлуатації шахти на будь-якому етапі. За допомогою комплексу автоматизуються основні виробничі процеси проектування: проходки гірничо-капітальних виробок, підготовчо-нарізних та очисних робіт, а також буровибухових робіт (рис. 4).

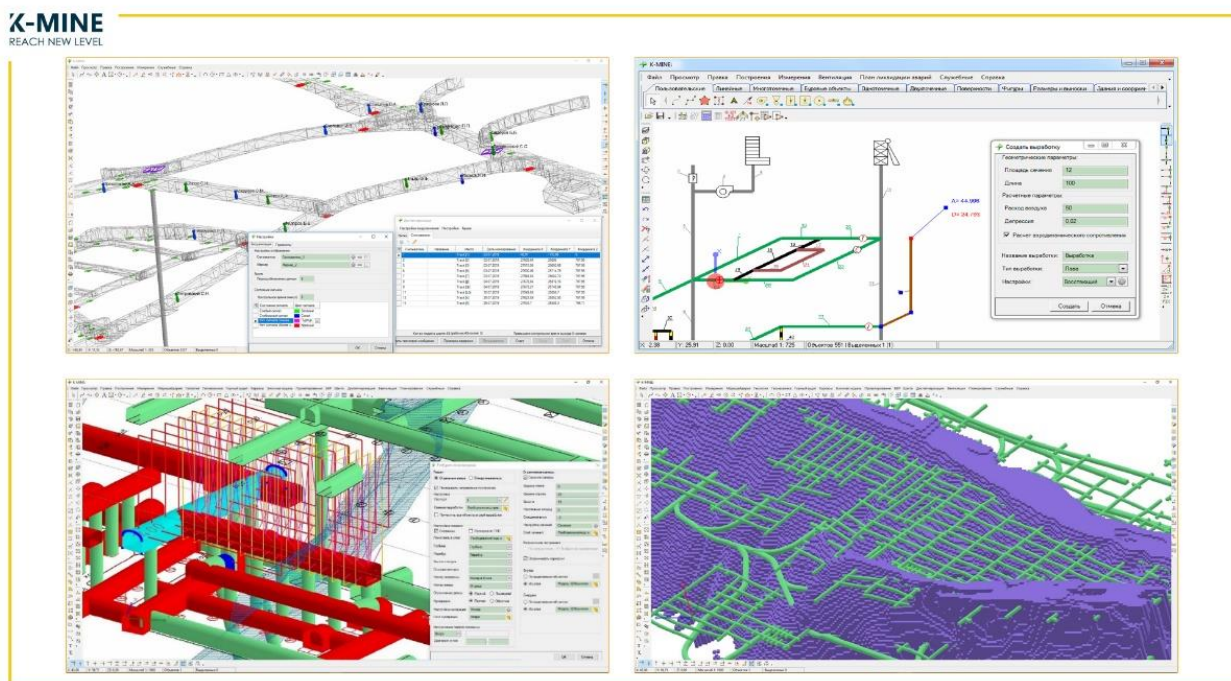


Рис. 4. Приклади проектування, вентиляції та диспетчеризації шахт в K-MINE

Комплекс диспетчеризації шахт дозволяє в режимі онлайн контролювати місцезнаходження персоналу та роботу техніки в підземних гірничих виробках, а також для забезпечення голосового та сигнального зв'язку працівників шахти із поверхнею. Завдяки координації роботи персоналу та техніки досягається максимальна ефективність роботи та відсутність простоїв обладнання [5].

Програмний комплекс вентиляції шахт використовується для розв'язання задач: проєктування схем і мереж вентиляції, розрахунок режимів провітрювання та режимів роботи вентиляційних установок, задач підготовки та проведення планів ліквідацій аварій тощо.

Моделювання, проєктування та будівництво гірничотехнічних будівель і споруд з прикладним програмним комплексом планування та розвитку інфраструктури дозволяє створювати інтерактивні електронні карти та бази даних. Підприємства можуть ефективно організувати виробничу інфраструктуру завдяки актуальній інформації про фактичний стан виробничих об'єктів промислового майданчика; відстежувати історію експлуатації об'єктів інфраструктури; проводити технічний аудит, інвентаризацію, паспортизацію та облік об'єктів виробничої інфраструктури; планувати розвиток інфраструктури підприємств, ремонтних робіт та їх модернізацію; формувати графіки планово-попереджувальних ремонтів комунікацій і споруд тощо.

Програмний комплекс для керівників дозволяє топ-менеджерам приймати обґрунтовані оптимальні управлінські рішення щодо ведення гірничих робіт. Комплекс відрізняється наявністю широкого інструментарію для швидких вимірювань та розрахунків, отримання в режимі реального часу інформації про стан фактичної та проєктної ситуацій гірничих робіт. Дозволяє проводити інтерактивні наради, а також формувати інтерактивні вказівки до інженерних служб [2].

За допомогою програмних комплексів K-MINE можна створювати цифрові копії гірничодобувних підприємств, розраховувати сценарії розвитку кар'єрів/шахт, автоматизувати процеси від планування та проєктування процесів розробки родовища, видобутку корисних копалин до контролю за проведенням ремонтів гірничого обладнання. І на основі даних, отриманих у режимі реального часу, формувати результати у вигляді звітів для подальшого ухвалення оптимальних управлінських рішень [4; 6].

**Висновки.** Банк даних та цифрові моделі родовищ, створені за допомогою K-MINE, можуть бути використані для розв'язання задач різної зорієнтованості підприємств як з відкритим, так і підземним способами видобутку. Програмне забезпечення можна використовувати на різних етапах життєвого циклу гірничих підприємств, а також для моніторингу та наукового супроводу надрокористування тощо.

Готові та випробувані алгоритми K-MINE підтверджені багаторічним досвідом використання підприємствами країн СНД, Європи та Центральної Азії.

Отже, цифровізація гірничодобувних підприємств з K-MINE виступає своєрідним мультиплікатором та в перспективі дозволяє досягти максимального ефекту керування цифровим гірничим підприємством, істотно підвищивши

обсяги видобутку корисних копалин, знизивши собівартість, збільшивши рентабельність виробництва та підвищивши безпеку ведення гірничих робіт в цілому.

#### Перелік посилань

1. Tarasov, I. V. (2018). Industry 4.0: Technologies and their impact on productivity of industrial companies. *Strategic Decisions and Risk Management*, 2, 62–69. <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-2-62-69>
2. *Збірник доповідей III Міжнародного науково-практичного семінару SVIT GIS* (2016). Видавець ФОП Чернявський Д.А.,
3. Рудько, Г.І., & Назаренко, М. В. (2011). *Геоінформаційні технології в надрокористуванні: на прикладі ГІС К-MINE*. Академпрес.
4. Назаренко, В. М., Назаренко, М. В., Хоменко, С. А., & Назаренко, Н. В. (2008). Автоматизована система управління гірничими роботами на базі ГІС К-MINE. *Геоінформатика*, 3, 48-55.
5. Кучеренко І.А. (2015). *Основи автоматизованого проектування підземних рудників: навчальний посібник*. Видавничий центр ДВНЗ “КНУ”.
6. Rudko, G. I., Netskyi, O. V., & Nazarenko, M. V. (2018, May 14). *The use of geoinformation technologies in economic-geological evaluation of mineral reserves (by the example of K-MINE GIS)*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801752>

#### АННОТАЦІЯ

**Цель.** Научное и практическое обоснование повышения эффективности технологических процессов в карьерах и шахтах посредством цифровизации горных работ.

**Методика исследований.** Описана методика использования функционала программных комплексов К-MINE для создания единой автоматизированной системы управления горными работами и интеллектуальной системы поддержки принятия решений на базе системного подхода и оптимизационных и геопространственных цифровых моделей, отражающих реальное состояние отработки месторождений и перспектив развития.

**Результаты исследования.** При современных рыночных требованиях эффективное функционирование возможно только при комплексной цифровизации основных и вспомогательных операций. Выполнение этого требования позволяет повысить эффективность использования недр и избавиться от неконтролируемых потерь на производстве. В связи с этим рассмотрена возможность применения программного обеспечения К-MINE для комплексной цифровизации горных работ. Проведен анализ функциональных возможностей основных программных комплексов по их использованию на разных этапах горного производства как с открытым, так и с подземным способами добычи. Определен цифровой эффект использования автоматизированной системы управления горными работами.

**Научная новизна** заключается в обоснованности создания автоматизированной системы управления горными работами К-MINE как функциональной части интеллектуальной системы поддержки принятия решений на базе комплексного цифрового моделирования, проектирования, планирования и управления горными работами. Определена взаимосвязь между гибко сложившимся составом и структурой моделей и алгоритмов, а также расчетов, позволяющих определять параметры для принятия эффективных управленческих решений.

**Практическое значение.** На основе проведенных исследований определено, что комплексный подход к цифровизации горнодобывающих предприятий с К-MINE позволяет геологам,



маркшейдерам, техническим специалистам решать научно-технические задачи, реализовывать имитационное моделирование, улучшать эффективность и гибкость управления процессами на предприятиях и повышать безопасность ведения горных работ в целом.

**Ключевые слова:** *цифровизация горнодобывающих компаний, автоматизированная система управления горными работами, имитационное моделирование месторождений, K-MINE*

#### **ABSTRACT**

**Purpose.** Scientific and practical substantiation of increasing the efficiency of technological processes in quarries and mines through digitalization of mining operations.

**Methods.** The article describes a methodology for using the functionality of K-MINE software systems to create a unified automated management system for mining operations and an intelligent decision support system based on a systematic approach and optimization and geospatial digital models that reflect the real state of field development and development prospects.

**Findings.** With modern market requirements, effective functioning is possible only with comprehensive digitalization of main and auxiliary operations. Fulfillment of this requirement makes it possible to increase the efficiency of subsoil use and get rid of uncontrolled losses in production. In this regard, the possibility of using the K-MINE software for complex digitalization of mining operations was considered. The analysis of the functional capabilities of the main software systems for their use at different stages of mining with both open-pit and underground mining methods is carried out. The digital effect of using the automated control system for mining operations has been determined.

**Originality.** The scientific novelty lies in the validity of the development of an automated management system for mining operations K-MINE as a functional part of an intelligent decision support system based on integrated digital modeling, design, planning and management of mining operations. The connection between the flexibly formed composition and structure of models and algorithms, as well as calculations, allowing to determine the parameters for making effective management decisions, has been determined.

**Practical implications.** Based on the studies carried out, it was determined that an integrated approach to digitalization of mining enterprises with K-MINE allows geologists, mine surveyors, technical specialists to solve scientific and technical problems, implement simulation modeling, improve the efficiency and flexibility of process management at enterprises and increase the safety of mining operations in general.

**Keywords:** *digitalization of mining companies, automated mining management system, simulation of deposits, K-MINE*