

## DIGITALIZATION OF SUBSOIL USE IN UKRAINE

*M. Nazarenko\**

*Group of companies KAI, city Kryvyi Rig, Ukraine*

*\*Corresponding author: [mail@k-mine.com](mailto:mail@k-mine.com)*

**Abstract.** The author considered topical issues of digitalization of subsoil use in Ukraine using the automated mining management system K-MINE. The analysis of the functional capabilities of the main software packages for their use at different stages of mining production at enterprises with open and underground methods of mining. The expediency of using an automated mining management system to manage the work of mining enterprises is substantiated.

**Key words:** mining digitalization, automated mining management system.

## ДИДЖИТАЛІЗАЦІЯ НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ

*М. Назаренко\**

*Група компаній KAI, місто Кривий Ріг, Україна*

*\*Відповідальний автор: [mail@k-mine.com](mailto:mail@k-mine.com)*

**Анотація.** Розглянуто актуальні питання діджиталізації надрокористування в Україні з використанням автоматизованої системи управління гірничими роботами K-MINE. Проведено аналіз функціональних можливостей основних програмних комплексів щодо їх використання на різних етапах гірничого виробництва на підприємствах з відкритим та підземним способами видобутку корисних копалин. Обґрунтована доцільність використання автоматизованої системи управління гірничими роботами для управління роботою підприємств гірничого профілю.

**Ключові слова:** діджиталізація надрокористування, автоматизована система управління гірничими роботами.

### 1. Вступ.

Діджиталізація надрокористування – це інструментальний засіб, що дозволяє поєднати інформацію про геологічні об'єкти в логічну структуру, що у подальшому підлягає обробці та узагальненню за допомогою автоматизованих систем управління гірничими роботами.

Головні напрямки доцільності використання автоматизованих систем:

- геологічне забезпечення на стадії пошуку і розвідки родовищ корисних копалин (КК);
- топографо-геодезичне забезпечення для геологорозвідувальних робіт;
- моделювання родовищ КК;
- техніко-економічне обґрунтування кондицій КК;
- геолого-економічна оцінка родовищ КК;
- підрахунок і оцінка запасів;
- геолого-маркшейдерське забезпечення на стадії експлуатації та видобутку КК;
- планування і проектування відпрацювання родовищ;
- моніторинг та наукове супроводження об'єктного рівня на стадії експлуатації родовищ КК;
- оцінка стану і підготовка рекомендацій на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище тощо [1].

Мета статті – проаналізувати вітчизняне програмне забезпечення, що дозволяє автоматизувати виконання основних задач надрокористування.

Основне завдання - розглянути функціональні можливості та особливості використання програмного забезпечення для діджиталізації гірничодобувних підприємств, а також його

адаптованість як відкритого, так і підземного способів видобутку.

## 2. Методика.

Сутність інформаційно-аналітичного супроводження надрокористування полягає у використанні системного підходу до обробки та аналізу інформації, виявленні причинно-наслідкових зв'язків й обумовлюючих їх чинників, обов'язковому збереженні індивідуальних просторових атрибутів інформації.

Прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері надрокористування вимагає ефективного зберігання, оперативного доступу, а також повного та всебічного аналізу величезного обсягу різнопланової (ресурсної, економічної, соціальної, екологічної тощо) і різномірної (числової, просторово-прив'язаної) інформації про родовища та поклади корисних копалин. Новітні програмні інструменти та технології відпрацювання родовищ повинні враховувати ці фактори та використовуватися для покращення операційних процесів, зменшення витрат, підвищення конкурентоспроможності, оптимізації бізнес-процесів та зниження ризиків, а також підвищення ефективності раціонального використання природних ресурсів.

Сучасна автоматизована система управління гірничими роботами (АСУ ГР) повинна охоплювати надрокористування від геологічної оцінки запасів, їх видобування, обробки до отримання продукції з високою доданою вартістю.

Дослідимо структуру та розглянемо основні функціональні властивості єдиної вітчизняної автоматизованої системи управління гірничими роботами на базі K-MINE для всіх етапів виробництва. Розглянемо функціональні властивості програмних комплексів АСУ ГР при створенні цифрових моделей родовищ та поверхонь, комплексів актуалізації геолого-маркшейдерської інформації, комплексів планування, проектування і управління гірничими роботами. Обґрунтуємо переваги системи в умовах використання для гірничодобувних підприємств.

## 3. Результати та обговорення.

Однією з найважливіших особливостей досліджуваного об'єкта є те, що АСУ ГР K-MINE є універсальною системою, що допоможе сформувати єдиний інформаційний простір підприємства (рис. 1) [2].



Рис. 1 - Методико-технологічна схема створення інформаційно-аналітичних систем надрокористування на базі K-MINE

Цільовим призначенням цієї автоматизованої системи управління гірничими роботами в галузі управління природокористуванням є оперативна інформаційна підтримка прийняття рішень в основних сферах управлінської діяльності. АСУ ГР К-MINE в області природокористування забезпечує зручний, призначений для користувача інтерфейс, орієнтований на побудову моделей розвитку ситуацій з урахуванням природних, техногенних, соціально-економічних та інших факторів, задання обмежень і економічних цілей, забезпечення динамічного обміну даними для представлення та аналізу картографічної інформації, проведення комплексного аналізу накопиченої інформації.

Програмне забезпечення К-MINE використовується на всіх етапах гірничого виробництва. Модульна структура передбачає використання систем збору та обробки даних, систем управління базами даних і підтримки прийняття рішень в різних комбінаціях (рис. 2). Забезпечує інтеграцію систем промислового рівня, дозволяє створити єдиний цикл планування, обліку та аналізу діяльності підприємства, контролю виконання планових показників і скорочення часу реакції на внутрішні та зовнішні зміни [1; 2].

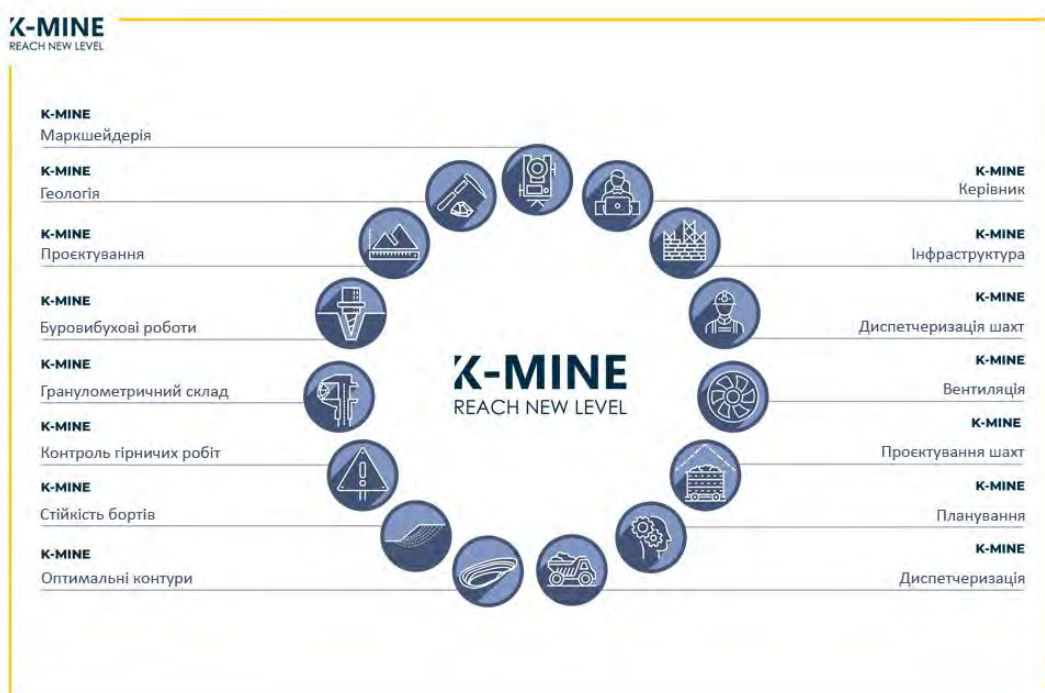


Рис. 2 - Структура програмних комплексів К-MINE

У науковців та учасників ринку вже чітко сформувалося розуміння переваг інформатизації процесу управління мінерально-сировинною базою. Моделювання родовищ корисних копалин стало невід'ємною складовою загального геологорозвідувального процесу, виконується від ранніх до кінцевих етапів і стадій [1; 4].

Моделювання з використанням *геологічного програмного комплексу* являє собою прогресивну методику обробки вихідної розрізної інформації, сприяє підвищенню достовірності оцінки запасів на всіх стадіях геолого-розвідувальних робіт і зниженню ризиків, прийнятих на їх основі рішень: від прогнозу перспективності району до оцінки вартості родовища для аукціону.

Адаптація тривимірного комп'ютерного моделювання та технологій підрахунку запасів родовищ до сучасних умов надрокористування дозволяє постійно удосконалювати методику створення геологічних моделей, підвищувати точність і достовірність оцінки запасів, сприяє гармонізації різних систем класифікацій запасів та ресурсів корисних копалин, прискорювати процеси залучення інвестицій на розробку або освоєння родовищ.

Прямий зв'язок математичної моделі родовища з економічною моделлю підвищує

ефективність управління запасами та ресурсами [3]. За допомогою розрахунків, виконаних в програмному комплексі “Геологія”, є можливість встановити локальні тренди та закономірності, що мають значний вплив на загальну оцінку рентабельності проекту. Особливо важливо це для перспективного планування та проектування розробки родовища.

Змінюючи мету, обмеження, потужність та послідовність відпрацювання можна кожного разу розрахувати різні значення NPV проекту, що дає змогу отримати його максимальне значення та підвищити швидкість та якість прийняття управлінських рішень.

**Комплекс маркшейдерського забезпечення** включає в себе широкий набір програмних засобів автоматизації виробничих задач маркшейдерських служб для гірничих підприємств з відкритим і підземним способами видобутку. До складу комплексу включено регулярно виконувани задачі (камеральна обробка польових вимірювань, підрахунок об’ємів, побудова розрізів, профілів та ін.), а також задачі, що виконуються в залежності від поточної виробничої ситуації.

Функції підрахунку об’ємів максимально зручні та наочні у використанні й дозволяють виконувати розрахунки об’ємів фігур будь-якої складності і геометричної форми, в тому числі фігур з розподілом на виїмку та засипку.

Програмний комплекс **проектування буровибухових робіт** дозволяє в режимі реального часу вирішувати задачі: проектування 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. Проекти на буріння та підривання окремих блоків є джерелом інформації для підготовки та формування звітності по масовому вибуху.

Задача визначення гранулометричного складу підірваних порід виконується за допомогою **комплексу контролю гранулометричного складу**. Головна задача заключається в визначенні розміру середнього шматка і загального гранулометричного складу підірваних порід по фотографічним знімкам.

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 даній зоні кар’єрного поля, за рахунок чого отримувати істотний економічний ефект.

Ефективність роботи сучасного гірничого підприємства залежить від ефективної системи планування гірничих робіт. 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.

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 і розподіляється на перспективне (на термін більше одного року), поточне (на інтервалі року, кварталу, місяця) та оперативне (на інтервалі календарного місяця). Планування виконується послідовно для всього технологічного ланцюжка з послідовним ступенем деталізації від більшого до меншого. 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 (рис. 3).

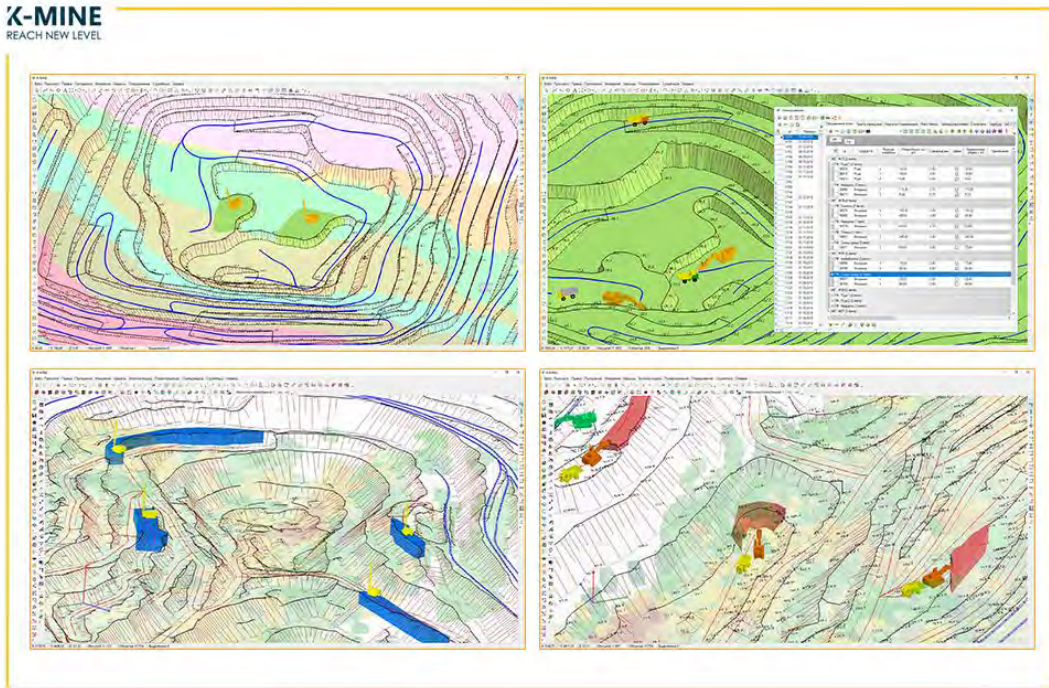


Рис. 3 - Приклади планування гірничих робіт в K-MINE

Особливість оперативного планування та диспетчерського управління для великих за розміром кар'єрів полягає в організації декількох транспортних вантажопотоків КК та вантажопотоків розкривних порід. За допомогою програмного комплексу **"Диспетчеризація"** процеси вивезення гірської маси контролюються в режимі реального часу на 3D моделі кар'єра. 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.

**Програмний комплекс для визначення оптимального контуру кар'єра** дозволяє визначати оптимальний контур кордонів гірничих робіт і обґрунтовувати найбільш ефективний варіант відпрацювання родовищ. Програмні комплекси **"Стійкість бортів"** та **"Контроль 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.

Застосування програмних комплексів K-MINE на гірничих підприємствах з підземним способом видобутку дозволяють автоматизувати більшість процесів інженерного супроводу гірничих робіт.

Програмний комплекс **"Проектування шахт"** застосовується для проектування підземних гірничих робіт і дозволяє вирішувати завдання гірничого проектування як при розробці нового родовища, так і при експлуатації діючої 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.

Комплекс **"Диспетчеризація 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.

Програмний комплекс **"Вентиляція"** використовується для вирішення задач:

проектування схем і мереж вентиляції, розрахунок режимів провітрювання та режимів роботи вентиляційних установок, рішення задач для підготовки та проведення планів ліквідації аварій тощо.

Моделювання, проектування та будівництво гірничотехнічних будівель і споруд з програмним комплексом "*Інфраструктура*" дозволяє створювати інтерактивні електронні карти та бази даних, планувати виробничу інфраструктуру та як наслідок, знизити витрати на поточні та капітальні ремонти.

Програмний комплекс "*Керівник*" надає допомагає керівникам можливості отримання оперативної, повної і точної гірничо-геологічної інформації для управління та планування бізнес-процесів та виробничих операцій, а також допомоги в прийнятті обґрунтованих управлінських рішень.

Використання цифрових моделей, створених за допомогою програмних комплексів K-MINE, сприяють підвищенню ефективності розробки родовищ корисних копалин та вилучення цінних компонентів з уже наявних відвалів гірничих розробок.

#### **4. Висновки.**

Банк даних та цифрові моделі, створені за допомогою *АСУ ГР K-MINE*, можуть бути використані для вирішення задач різної зорієнтованості: робочих місць інженерно-технічного персоналу геолого-розвідувальних і гірничих підприємств з видобутку та переробки корисних копалин; наукових працівників і експертів для моделювання родовищ КК і оцінки їх запасів; проектування гірничих підприємств; моніторингу та наукового супроводу надрокористування; створення банків геологічної інформації тощо.

Ефект цифрової трансформації відображається в правильному прийнятті рішень. Це створення нової цінності, нових можливостей. Значно спрощується робота геологів, маркшейдерів, проєктантів та інших технічних спеціалістів. По-перше, спеціалісти в десятки, навіть сотні разів швидше отримують результат. А, по-друге, на результати не впливає людський фактор і відсутні похибки.

Планування роботи гірничодобувних підприємств від оцінки запасів до управління персоналом, продукцією та технікою на основі моделювання з використанням віртуальних цифрових двійників дозволяє компаніям аналізувати свої процеси в віртуальному середовищі та прогнозувати операційну ефективність з використанням сценаріїв "що, якщо", тим самим скорочуючи час на прийняття управлінських рішень та витрати при пошуку, розвідці та видобуванні корисних копалин.

АСУ ГР K-MINE - єдина інтегрована система для роботи з великими масивами даних та комплексного інформаційного забезпечення у галузі надрокористування та відповідає усім основним критеріям:

- універсальність системи, що надає можливість структуризації та формалізації різнотипної інформації;
- вибір і підтримка єдиної системи координат. Система дозволяє проводити перерахунок в різних системах координат і об'єднувати об'єкти в єдину координатну систему;
- роботи в розподіленій мережі з використанням системи обмеження прав доступу, кодування і шифрування інформації згідно з міжнародними стандартами;
- можливість функціонування у випадку зміни правового поля;
- дописування програмних компонентів без участі розробника та взаємодії з апаратним забезпеченням [1; 2; 5].

#### **References:**

1. Збірник доповідей III Міжнародного науково-практичного семінару SVIT GIS - Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.А., 2016. - 280 с.. Sbornik dokladov III Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminaru "SVIT GIS-2016" [Book of reports for the 3rd International Research and Practice Seminar "SVIT GIS-2016"]. Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. A. Publ., 2016.

280 p.

2. Геоінформаційні технології в надрокористуванні: на прикладі ГІС K-MINE. За ред. Г.І. Рудька, М. В. Назаренка - К.: “Академпрес”, 2011. - 336 с. Rudko G.I., Nazarenko M.V., Khomenko S.A., Netskui O.V., Fedorova I.A. Geoinformation technologies in subsurface management (by the example of K-MINE Geoinformation System). Kyiv, Akadempres Publ., 2011. 336 p.

3. Капутин Ю.Е. Вероятностное стратегическое планирование развития карьеров. - СПб.: Недра, 2019, 316 с. Kaputin Y.E. Veroyatnostnoe strategicheskoe planirovanie razvitiya kar'erov [Probabilistic strategic planning for career development]. - SPb .: Nedra, 2019, 316 p.

4. Компьютерные технологии при планировании и проектировании горных работ: Сб. тр. Всероссийской научной конференции с международным участием, 23-26 сентября 2008 г. - Апатиты; СПб.: Реноме, 2009. - 328 с.: ил. Komp'yuternye tekhnologii pri planirovanii i proektirovanii gornyykh rabot [Computer-aided technologies for mining planning and design]. Sb. tr. Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Proc. from All-Russian International Shared Scientific Conference], September 23–26, 2008, Apatity. St.Peterburg, Renome Publ., 2009, 328 p., ill. ed.

5. Основи автоматизованого проектування підземних рудників: навчальний посібник. За заг. ред. І.А. Кучерявенка. - Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ “КНУ”, 2015. - 353 с. General editorship of Kucherjavenko I.A. Osnovy avtomatyzovanogo proektuvannja pidzemnyh rudnykiv: navchal'nyj posibnyk [Fundamentals of automated design of underground mines. Tutorial]. Kryvyi Rih, Vydavnychyj centr DVNZ “KNU”, 2015. 353 p.