

DIGITIZATION OF UNDEGROUND MINING WITH K-MINE

M. Nazarenko

K-MINE group of companies, city of Kryvyi Rih, Ukraine

Corresponding author: mail@k-mine.com

Abstract. The topical issues of underground mining digitization are examined based on the K-MINE Ukrainian software. The main software modules are functionally analyzed as for their utility at different stages of underground mining. The report shows the key points for practical use of the automated control system to manage activities of mining enterprises.

Key words: automation of underground mining, “Connected” Mine

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ З K-MINE

М. Назаренко

Група компаній K-MINE, місто Кривий Ріг, Україна

Відповідальний автор: mail@k-mine.com

Анотація. Розглянуто актуальні питання цифровізації підземних гірничих робіт за допомогою програмного забезпечення K-MINE. Проведено аналіз функціональних можливостей основних програмних комплексів щодо їх використання на різних етапах гірничого виробництва з підземним способом видобутку. Обґрунтована доцільність використання автоматизованої системи управління гірничими роботами для управління роботою підприємств гірничого профілю.

Ключові слова: автоматизація підземних гірничих робіт, “розумна” шахта

1. Вступ.

Розвиток технологій, поліпшення якості продукції, раціональне використання ресурсів, зниження витрат неможливі без цифровізації технологічних процесів. Безперервна інтенсифікація підземних гірничих робіт при постійному погіршенні гірничо-геологічних умов призводить, як правило, до підвищення складності управління виробничими процесами гірничодобувних підприємств.

Гірниче підприємство сьогодення – це складний та взаємопов'язаний комплекс виробничих процесів, функціонування яких засноване на використанні високопродуктивних автоматизованих технологій та обладнання [1]. У сучасних економічних умовах цифровізація є вирішальною ланкою технічного прогресу в рамках Індустрії 4.0 й одним з головних чинників, що забезпечують зростання ефективності та безпеки гірничого виробництва в цілому.

Застосування програмних рішень на гірничих підприємствах з підземним способом видобутку 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 одного 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 в цілому [2].

Мета статті – проаналізувати функціональні можливості автоматизованої системи управління гірничим виробництвом для забезпечення підвищення ефективності та безпеки

підземних гірничих робіт.

Основне завдання – теоретичне й експериментальне обґрунтування технічних, технологічних і проєктних рішень в галузі автоматизації виробничих процесів при підземній розробці родовищ твердих корисних копалин на прикладі K-MINE.

2. Методика.

Прийняття обґрунтованих управлінських рішень при веденні підземних гірничих робіт 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 твердих корисних копалин. Новітні програмні інструменти та технології відпрацювання повинні враховувати ці фактори та використовуватися для покращення операційних процесів, зменшення витрат, підвищення конкурентоспроможності, оптимізації бізнес-процесів, зниження ризиків, а також підвищення ефективності раціонального використання природних ресурсів.

Методика досліджень включає узагальнення теоретичних даних і дослідження функціоналу K-MINE при створенні цифрових моделей родовищ та поверхонь, актуалізації геолого-маркшейдерської інформації, планування, проєктування й управління гірничими роботами, диспетчеризації та вентиляції шахт тощо.

3. Результати та обговорення.

У науковців та учасників ринку чітко сформувалося розуміння переваг інформатизації процесів управління виробничими та бізнес-процесами. Моделювання родовищ корисних копалин стало невід'ємною складовою загального процесу видобування корисних копалин від ранніх до кінцевих етапів і стадій.

Як свідчить практика, найефективнішим є комплексний підхід до автоматизації, що ґрунтується на об'єднанні основних і допоміжних процесів в єдиний інформаційний технологічний ланцюг. Ядро такого комплексу поєднує в реальному часі процеси від буріння до планування виробництва та забезпечує двосторонній обмін інформацією [3].

K-MINE використовується на всіх етапах гірничого виробництва. Комплексна структура передбачає використання систем збору та обробки даних, систем управління базами даних і підтримки прийняття рішень в різних комбінаціях. 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].

K-MINE надає гірничим інженерам базові інструментальні засоби створення та трансформації геологічних моделей вугільних пластів або рудних тіл в проєкти просторового положення гірничих виробок, оптимізовані за витратами та часовими параметрами, а також дозволяє визначити оптимальні способи відпрацювання запасів родовищ або його ділянок.

На рис. 1 представлена структурна схема системи управління гірничими роботами на базі K-MINE для родовищ і шахт, що являє собою замкнутий цикл обробки гірничо-геологічних даних і розв'язання задач інженерного супроводу гірничих робіт. Структура системи включає центральну базу даних та набір спеціалізованих робочих місць.

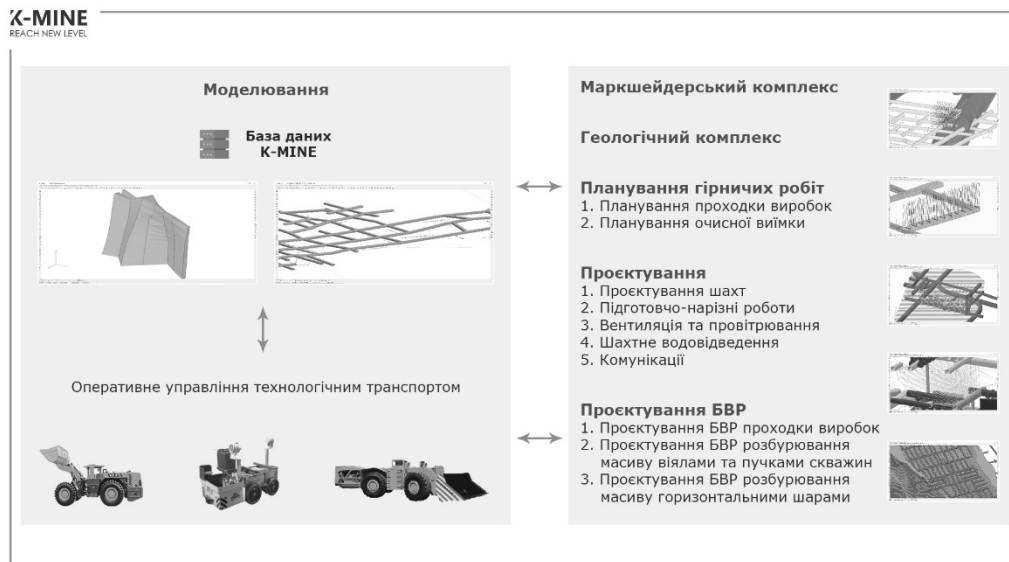


Рис. 1 – Структура автоматизованої системи керування гірничими роботами для родовищ і шахт на базі К-MINE

Шахта, з точки зору процесів управління, є складним технічним об'єктом, стан якої постійно змінюється: виконуються роботи з проходки виробок і відпрацювання запасів, у процесі відпрацювання уточнюються геометричні та якісні показники корисних копалин, змінюються аеродинамічні опори виробок і інтенсивність повітряних потоків. Регулярно ведеться оперативний контроль тиску, загазованості повітря й інших показників стану об'єкта, що впливають на безпеку [4].

Основою для створення “розумних” шахт є цифрові моделі родовищ і об'єктів гірничої технології. Для того, щоб 3D моделі знаходилися в актуальному стані та використовувалися для розв'язання задач виробничого планування і проектування, їх необхідно регулярно уточнювати та поповнювати. З цією метою в складі К-MINE використовуються програмні комплекси, а саме маркшейдерського та геологічного супроводу гірничих робіт.

Програмний комплекс геологічного моделювання дозволяє охопити повний цикл робіт 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 та оперативного обліку роботи підприємства.

Уся інформація (текстова, таблична, графічна) готується, структурується і систематизується в єдиному інформаційному масиві. На її основі формуються 3D моделі підземних виробок будь-якого технічного призначення (горизонтальні, похилі, вертикальні). Також в системі використовуються програмні інтерфейси, що забезпечують зручний обмін даними з програмним забезпеченням інших виробників.

За допомогою розрахунків, виконаних в геологічному програмному комплексі, 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 родовищ.

Результатом процесу моделювання є цифрова геологічна модель родовища, поєднана з тривимірною моделлю шахтного поля, шахтних споруд і поверхні (рис. 2). Створена інтегрована модель є першоосновою для роботи всіх технологічних програмних комплексів: планування, проектування, розрахунків напруженого стану гірського масиву і геодинамічних явищ, вентиляції та провітрювання тощо.

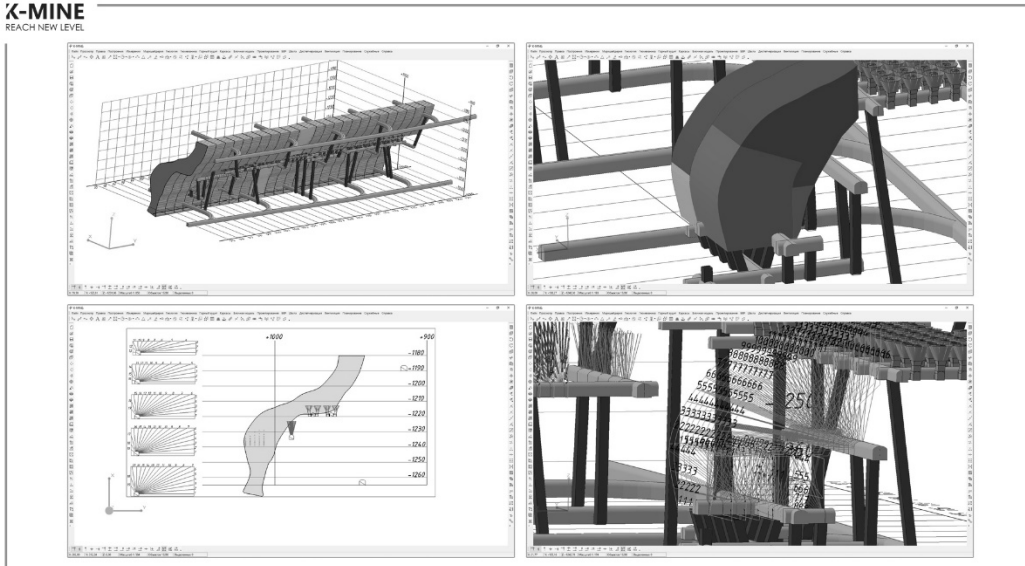


Рис. 2 – Приклади інтегрованих геолого-технологічних моделі родовищ в K-MINE

Програмний комплекс маркшейдерського забезпечення дозволяє взаємодіяти з усіма видами вимірювальних інструментів та безпілотних літальних апаратів. За допомогою комплексу автоматизуються процеси камеральної обробки маркшейдерських зйомок, геометричних побудов виробок на підставі проведених зйомок і гірничо-геометричних розрахунків, підрахунку обсягів виїмки, поточних завдань маркшейдерської служби тощо. Документація, створена в програмному комплексі на базі K-MINE, відповідає всім вимогам маркшейдерських інструкцій і органів технічного нагляду.

Складання плану гірничих робіт є одним з найважливіших елементів виробничого планування підприємства. Цей процес передбачає:

- розвиток лінії вибоїв, наявність стійкого фронту видобутку корисних копалин (вугілля, руди) ділянками і якнайшвидше освоєння виробничої потужності;
- розвиток підготовчих виробок, що забезпечують своєчасну підготовку фронту очисних вибоїв;
- ліквідацію розкиданості гірничих робіт, зменшення довжини підтримуваних виробок шляхом зменшення виїмкових полів і зниження навантаження на пласт, горизонт, виїмкове поле;
- наявність резервних очисних вибоїв в залежності від гірничо-геологічних умов;
- оптимізацію черговості проведення підготовчих і очисних виробок з метою підтримки виробничої потужності [1; 4].

Для розробки програм гірничих робіт використовуються виконані раніше проєктні рішення щодо відпрацювання ділянки родовищ: панель, блок, лава, а також актуальна геологічна модель. Використовуючи нормативні показники роботи обладнання (виїмкового, прохідницького, транспортного) та нормативні тимчасові показники, виконуються операції гірничого виробництва, програми із зазначенням обсягів і термінів виконання основних й допоміжних робіт.

Програмний комплекс “Проєктування шахт” застосовується для проєктування підземних гірничих робіт і дозволяє вирішувати завдання гірничого проєктування як при розробці нового родовища, так і при експлуатації чинної шахти на будь-якому етапі. За допомогою комплексу автоматизуються основні виробничі процеси проєктування: проходки гірничо-капітальних виробок, підготовчо-нарізних та очисних робіт (рис. 3).

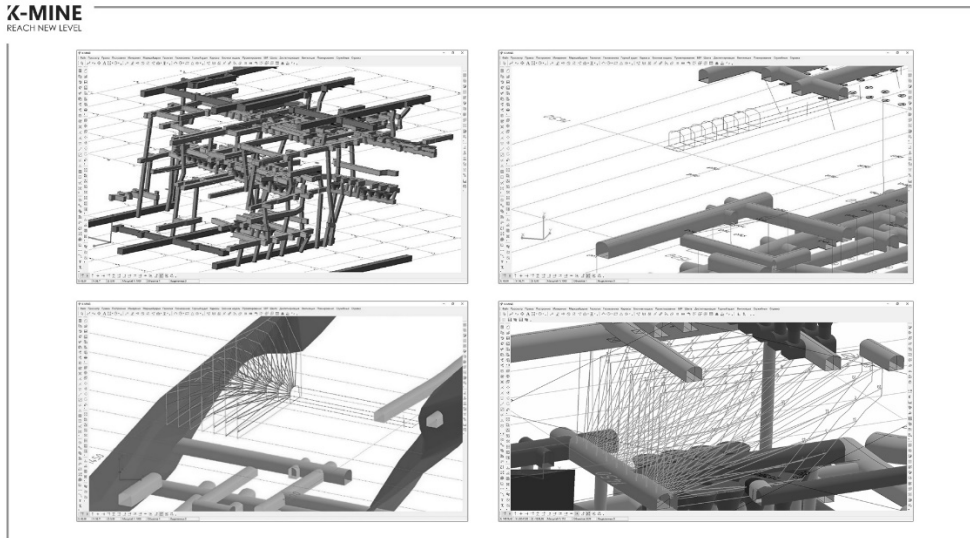


Рис. 3 – Приклади проектування підземних гірничих та буровибухових робіт в K-MINE

При виконанні проектних робіт з використанням K-MINE контролюються показники обсягу виробок, обсягів корисних копалин, розраховуються питомі показники виходу та коефіцієнта підготовки. Дані розрахунки дозволяють точно оцінювати параметри підготовки покладу та шляхом використання різноманітних розрахунків вибирати оптимальний з них, що забезпечує найкращі показники підготовки [4].

Якісне виконання буровибухових робіт багато в чому визначає ефективність і економічність будівництва та проведення гірничих виробок. Широкий інструментарій проектування буровибухових робіт дозволяє візуалізувати розмітку шпурів в забої, моделювати свердловини як паралельного, паралельно-зближуючого розташування, так і віялів тощо. Наприклад, при проектуванні віял реалізована можливість зміщення розміщення свердловин в парних і непарних віялах на середню величину кута попереднього віяла. Ця технологія застосовується для підвищення якості подрібнення порід масиву [1].

Крім проектів для основних виробничих процесів (наприклад, проходка виробок) в K-MINE використовуються інструменти для проектування допоміжних робіт, а саме проектування схем і мереж вентиляції, розрахунок режимів провітрювання та режимів роботи вентиляційних установок, розв'язання задач для підготовки і проведення планів ліквідацій аварій, формування та розрахунок схем водовідливу, розрахунок жорстких арміровок стовбурів, параметрів кріплень.

Програмний комплекс “Вентиляція” використовується для розв'язання задач: проектування схем і мереж вентиляції, розрахунок режимів провітрювання та режимів роботи вентиляційних установок, вирішення задач підготовки та проведення планів ліквідацій аварій тощо (рис. 4).

Важливо, що функціонал комплексу дозволяє визначати забруднення шахтної атмосфери, моделювати аварійні ситуації, оперативно готувати та візуалізувати найбільш безпечні маршрути виведення людей. Цифрове проектування вентиляційних мереж з K-MINE дає можливість знизити витрати на створення вентиляційних споруд завдяки вибору їх оптимального розташування та характеристик ще на етапі проектування, додатково знизити витрати на електроенергію.

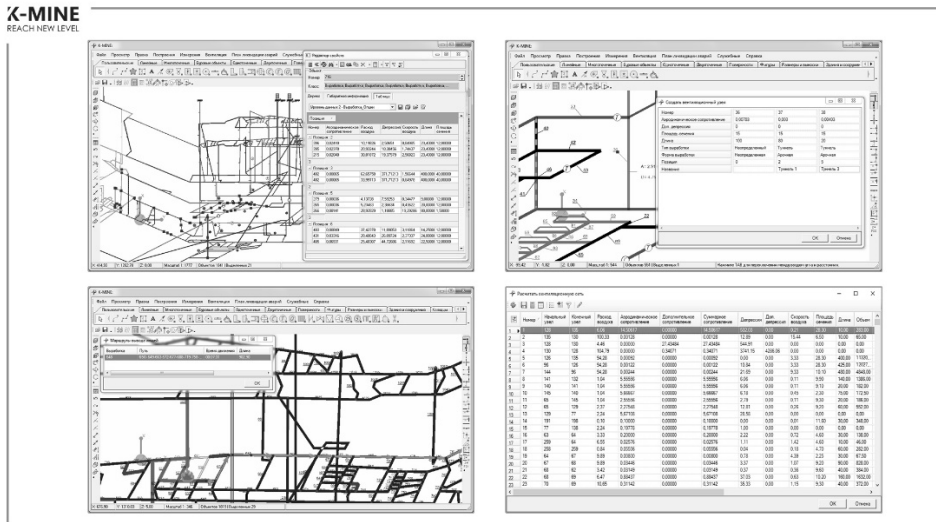


Рис. 4 – Приклади проектування схем і мереж вентиляції, аналізу та порівняння параметрів вентиляційних мереж в K-MINE

Особливо важливу роль відіграє персонал шахт. Побудова оптимальних графіків роботи з метою підвищення продуктивності праці, а також підвищення рівня безпеки перебування – концепції, реалізовані в програмному комплексі “Диспетчеризація шахт” (рис. 5).

Функціонал дозволяє точно визначити позиції працівників і техніки з прив'язкою до гірничих виробок; простежити їх траєкторії переміщення; ідентифікувати мітки та контроль входження в небезпечні, заборонені або відкриті для відвідування зони; запобігти зіткненням техніки тощо. Також забезпечена можливість голосового та сигнального зв'язку працівників шахти із поверхнею. Завдяки координації роботи персоналу та техніки досягається максимальна ефективність роботи [2; 4]. Усі процеси візуалізуються на цифровій моделі шахти в режимі онлайн.

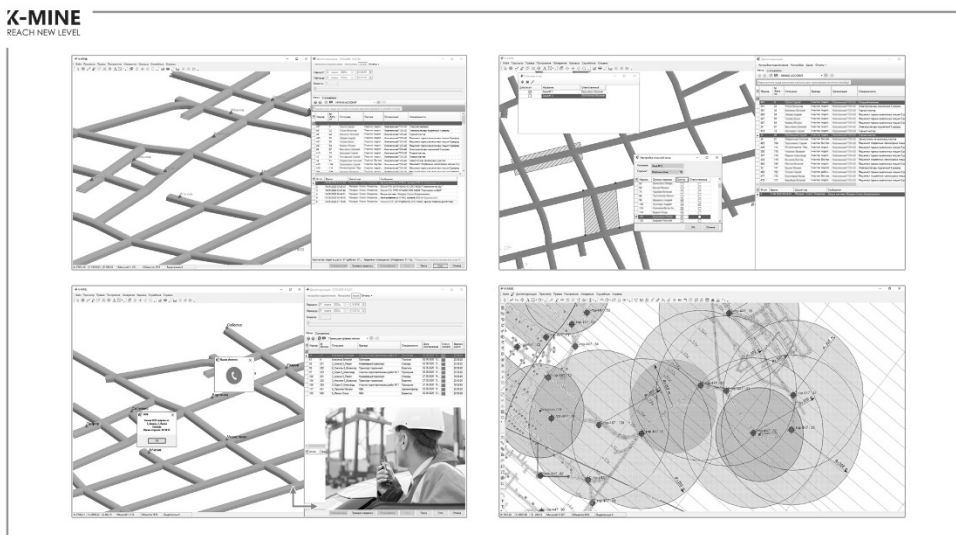


Рис. 5 – Приклади візуалізації та контролю місцезнаходження персоналу, траєкторій переміщення та протоколювання робочого часу в K-MINE

Моделювання, проектування та будівництво гірничотехнічних будівель і споруд з прикладним програмним комплексом “Інфраструктура” дозволяє створювати інтерактивні електронні карти та бази даних.

За допомогою програмного комплексу підприємства можуть отримувати актуальну інформацію про фактичний стан виробничих об'єктів промислового майданчика; відстежувати

історію експлуатації об'єктів інфраструктури, отримувати накопичені дані за робочий період; 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.

Моделювання, проектування та будівництво гірничотехнічних споруд з K-MINE дозволяє знизити витрати на поточні і капітальні ремонти та ефективно організувати виробничу інфраструктуру.

Важливою перевагою використання автоматизованих комп'ютерних систем для гірничого виробництва є можливість контролю всіх інформаційних процесів і потоків, а також аналіз проектних і планових рішень. У складі комплексів проектування та планування K-MINE використовується блок аналізу, що дозволяє гірничим інженерам контролювати етапи гірничих робіт на предмет відповідності проектам й планам розвитку [1; 5].

Використання цифрових моделей, створених за допомогою K-MINE, сприяють підвищенню ефективності розробки родовищ корисних копалин і повного вилучення цінних компонентів з уже наявних відвалів гірничих розробок [1; 2].

4. Висновки.

Банк даних та цифрові моделі родовищ, створені за допомогою K-MINE, можуть бути використані для розв'язання задач різної зорієнтованості: робочих місць інженерно-технічного персоналу геолого-розвідувальних і гірничодобувних підприємств з підземним способом видобутку; наукових працівників і експертів; проектування гірничих підприємств на різних етапах їх життєвого циклу; моніторингу та наукового супроводу надрокористування тощо.

Ефект цифрової трансформації відображається в правильному прийнятті рішень. Це створення нових цінностей і 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, похибки відсутні.

Планування роботи гірничодобувних підприємств від оцінки запасів до управління персоналом, продукцією та технікою на основі моделювання з використанням віртуальних цифрових двійників дозволяє гірничим 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.

Оскільки моделювання шахт за допомогою цифрових двійників дозволяє максимально врахувати всі параметри і характеристики підприємства, а також спрогнозувати зміни в шахтах з урахуванням заданого проміжку часу та запобігти виникненню аварійних ситуацій.

Отже, K-MINE – єдина інтегрована система для роботи з великими масивами даних і комплексного інформаційного забезпечення для створення “розумних” шахт 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; 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 seminar "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 К-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. 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 gornykh robot [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.
4. 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.
5. Наукова електронна бібліотека періодичних видань НАН України. Наукова стаття "Автоматизована система управління гірничими роботами на базі ГІС К-MINE". В.М. Назаренко, М.В. Назаренко, С.А. Хоменко, Н.В. Назаренко. УДК 681.518. Рік 2008
Nazarenko V.M., Nazarenko M.V., Homenko S.A., Nazarenko N.V. Avtomatyzovana systema upravlinnja girnychymy robotamy na bazi GIS K-MINE [Automated system for mining management based on K-MINE GIS]. Naukova elektronna biblioteka periodychnyh vydan' NAN Ukrai'ny. 2008, UDC: 681.518.