

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ
НА БАЗІ ГІС К-MINE**

© В.М. Назаренко, М.В. Назаренко, С.А. Хоменко, Н.В. Назаренко, 2008

*Криворізький технічний університет, Кривий Ріг, Україна
Науково-виробниче підприємство "КРИВБАСАКАДЕМІНВЕСТ", Кривий Ріг, Україна*

The issue examined in the article deals with application of information technology to control the work of a mining enterprise. The auto-controlled system of mining operations on the basis of GIS K-MINE is brought forward due to its technical-structural characteristics and major functional properties. Functionary features of investigated ACS modules demonstrate capabilities to establish initial models of fields and surfaces, modules updating mine-surveying information, as well as modules of planning, designing and controlling of mining operations.

Роботу сучасного гірничодобувного підприємства практично не можна уявити без використання спеціалізованих програмних комплексів. Спеціалісти виробничих відділів постійно виконують обробку картографічних матеріалів, масивів текстової та числової інформації. Для підвищення ефективності обробки інформації такого роду доцільно застосовувати автоматизовані системи, які можуть бути побудовані на базі геоінформаційних систем (ГІС).

Питання використання автоматизованих систем (зокрема ГІС) для вирішення різних технологічних завдань гірничих підприємств висвітлено у публікаціях [1–7]. В них сформовано підходи до побудови системи управління гірничими роботами, розглянуто питання використання обчислювальної техніки для автоматизації окремих технологічних процесів на гірничодобувних підприємствах, але недостатньо приділено уваги щодо комплексного управління гірничими роботами з використанням ГІС, а також його адаптованість до вітчизняних підприємств як відкритого, так і підземного способу видобутку.

Автори статті пропонують створення автоматизованої системи управління гірничими роботами (АСУ ГР) на базі ГІС К-MINE, що охоплює повний технологічний цикл роботи видобувного підприємства або рудника (рудників) у складі гірничо-збагачувального комбінату.

Метою публікації є демонстрація принципів створення АСУ ГР на базі ГІС К-MINE, аналіз її функціональних можливостей та обґрунтування переваг системи в умовах використання для гірничодобувних підприємств.

ГІС К-MINE може бути використана як базовий інструментарій для створення систем управління гірничими роботами на підприємствах з відкритим та підземним способами видобутку для корисних копалин різного типу. АСУ ГР на базі

ГІС охоплює повний спектр завдань ведення гірничих робіт (рис. 1).

Основним елементом системи є центральна база даних, що містить геопросторову інформацію (картографічні дані), нормативно-довідкову інформацію, набір шаблонів для формування звітної документації тощо. Нижче подано переваги використання централізованої бази:

- можливість спільного використання інформації;
- авторизований доступ до інформації;
- можливість використання консолідованої інформації;
- спрощення системи адміністрування та впорядкування тощо.

Перелічимо основні завдання гірничого підприємства, що входять до складу АСУ ГР:

- 1) формування тривимірних моделей кар'єрів, відвалів, шахтних полів, повний цикл задач зі створення тривимірних моделей родовищ, підрахунку запасів;
- 2) визначення оптимальних меж кар'єрів і відвалів;
- 3) перспективне, поточне та оперативне планування гірничих робіт;
- 4) оперативне проектування об'єктів (уступи, з'їздові частини, шляхи, майданчики, комунікаційні об'єкти тощо);
- 5) оперативне маркшейдерське забезпечення гірничих робіт;
- 6) оперативне геологічне забезпечення гірничих робіт;
- 7) проектування буровибухових робіт;
- 8) підготовка виробництва (оперативне керування);
- 9) диспетчерське керування гірничо-транспортним обладнанням (зокрема з використанням систем супутникової навігації);
- 10) формування звітної документації та взаємодія з іншими підсистемами підприємства.



Рис. 1. Структура автоматизованої системи управління гірничими роботами для підприємства з відкритим способом видобутку

Істотніший економічний ефект від впровадження модулів K-MINE досягається саме за їх комплексного використання. Такий підхід дає змогу значно підвищити ефективність роботи працівників основних відділів, зменшити інформаційне навантаження на людину, прискорити виконання процесів у кілька разів, що у підсумку впливає на якість проектних та управлінських рішень. Крім того, використання оптимізаційних методів у завданнях планування і управління дає можливість отримувати значний економічний ефект від впровадження системи.

Автори розробили основні методики та принципи взаємодії елементів АСУ ГР між собою, обмін даними між підсистемами і модулями, що пройшли адаптацію в умовах кар'єрів і шахт для родовищ металовмісних та неметаловмісних корисних копалин в Україні та інших країнах.

Основними перевагами такої системи є поєднання і взаємний зв'язок між усіма її модулями, що дає змогу оптимізувати процеси ведення гірничих робіт з урахуванням потреб підприємства, і адаптація системи для її використання в Україні.

Робота системи починається з формування цифрових моделей поверхонь кар'єрів, відвалів, промислового майданчику підприємства, промислових споруд, комунікаційних мереж тощо, а також цифрової моделі родовища.

Формування початкових моделей можливе кількома способами, все залежить від наявності та виду початкових даних. АСУ ГР містить набір засобів для створення комп'ютерних моделей об'єктів:

- 1) обробка твердих (паперових або плівкових) носіїв (топографічні та маркшейдерські планшети, геологічні карти та інші);
- 2) обробка даних знімання (фотограмметричне, аерофотознімання тощо);

- 3) імпорт даних з інших систем;
- 4) обробка даних геологічних розвідок і побудова на їх базі геологічних моделей родовищ.

Для роботи з планшетними даними передбачена велика кількість процедур, калібрування та прив'язування початкових растрів у тривимірному просторі, трасування лінійних і полігонних об'єктів, розпізнавання текстової та чисельної інформації, висотне прив'язування. Результатом обробки планшетних даних є тривимірна електронна карта поверхонь, розрізів, планів тощо. Всі створювані карти мають шарову структуру, що значно полегшує процедуру її подальшого використання під час вирішення технологічних завдань службами підприємства.

АСУ ГР містить засоби обробки даних топографічного знімання. За результатами обробки даних польових зйомок будують топоплани для різних масштабів. Система має повну бібліотеку умовних позначень для роботи з масштабами (1:500 – 1:25000). Первинною інформацією можуть бути також дані аерофотознімання.

Дуже часто при впровадженні нової системи на підприємствах уже існує певна інформація, підготовлена в інших системах. АСУ ГР містить засоби імпорту даних з великої кількості форматів ГІС, представлених на українському і світовому ринках (AutoDesk DXF, Mapinfo MIF, ArcGIS SHP, Micromine ASCII тощо), а також форматів баз даних, текстових і табличних даних. Особливістю роботи з імпортованими даними є можливість як повного, так і часткового імпорту, можливість трансформування даних до іншої системи координат, а також автозаміни примітивів й об'єктів інших систем об'єктами ГІС K-MINE.

За результатами обробки даних геологічних розвідок будують геологічні моделі родовищ. Ос-

новою для створення тривимірних геологічних моделей є дані свердловинної розвідки (детальної та ін.), а також результати роботи геологічних служб підприємства під час експлуатації родовища (свердловини експлуатаційної розвідки, погоризонтні геологічні плани, розрізи тощо).

Процес створення геологічної моделі складається з кількох етапів:

- 1) розробка структури бази даних (формування таблиць свердловин, даних опробування, даних просторової побудови свердловин, довідкова інформація про літологічну та стратиграфічну побудову родовища);
- 2) наповнення бази даними, структурний аналіз, встановлення рудних і нерудних інтервалів, виявлення ураганних значень, фільтрація та упорядкування;
- 3) побудова свердловин у тривимірному просторі моделі, групування, оконтурення родовища;
- 4) визначення просторової змінності геологічних характеристик родовища у різних напрямках, геостатистичний аналіз, побудова варіограм, визначення зон впливу свердловин, розрахунок коефіцієнта анізотропії для різних ділянок родовища, виявлення геологічних порушень, що впливають на зміну характеристик;
- 5) каркасне моделювання родовища, визначення оптимальних каркасів для різновидів, логічні операції під час побудови цільних каркасів;
- 6) створення "пустих" блокових моделей, визначення оптимального розміру елементарного блока;
- 7) блокове моделювання на базі свердловин різними методами (на базі геостатистичних методів);
- 8) підрахунок та уточнення запасів.

Геологічну модель сумішають з даними моделей поверхонь. В результаті створюють модель підприємства (в межах гірничого та земельного відводів), яка може бути використана для керування процесами ведення гірничих робіт за допомогою автоматизованої системи (рис. 2, а, б).

Основою рентабельності підприємства гірничого профілю є ефективна система планування гірничих робіт. АСУ ГР містить кілька модулів, що дає змогу планувати роботу кар'єру (за відкритого способу) або шахти (за підземного способу) для різних часових інтервалів.

У основі ефективної роботи модуля планування лежать:

- щоденна актуалізація маркшейдерської ситуації;
- щоденна актуалізація геологічної ситуації;
- розробка програми гірничих робіт для різних часових інтервалів з мінімізацією підготовлених і готових до виймання запасів;
- система багатоваріантного планування з різними показниками плану (якісними та кількісними);

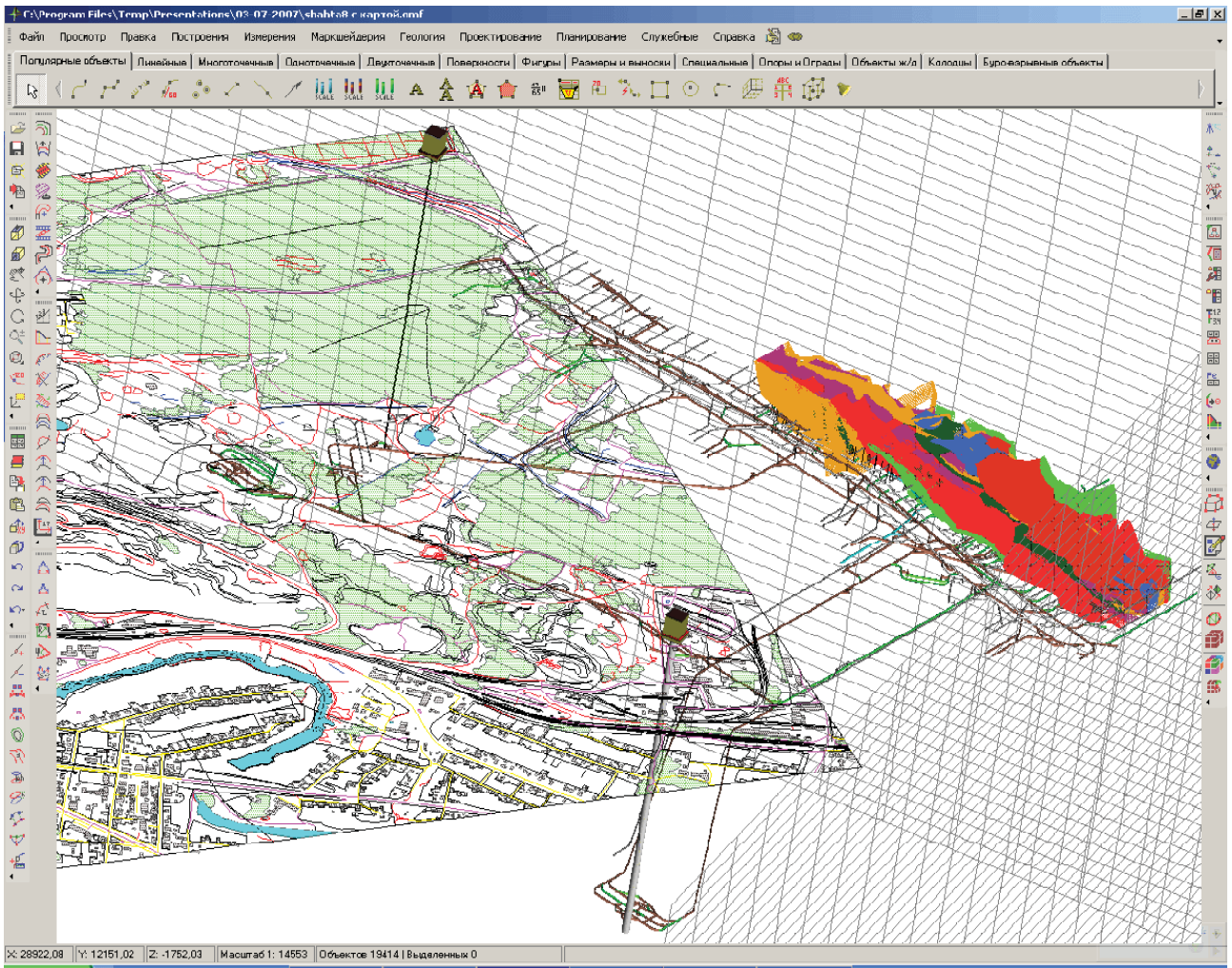
- планування гірничих робіт для різних інтервалів часу;
- формування кількох вантажопотоків шихти з використанням оптимізаційних методів;
- постановка бортів на контури з витриманням мінімального промислового коефіцієнта розкриття;
- проектування буровибухових робіт з метою отримання оптимального шматка винесеної гірської маси.

Модуль K-Plan ГІС K-MINE має три основні частини: блок перспективного планування (на довгострокову перспективу аж до кінцевих контурів), блок поточного (в рамках річної програми) та блок оперативного планування (в межах поточного місяця).

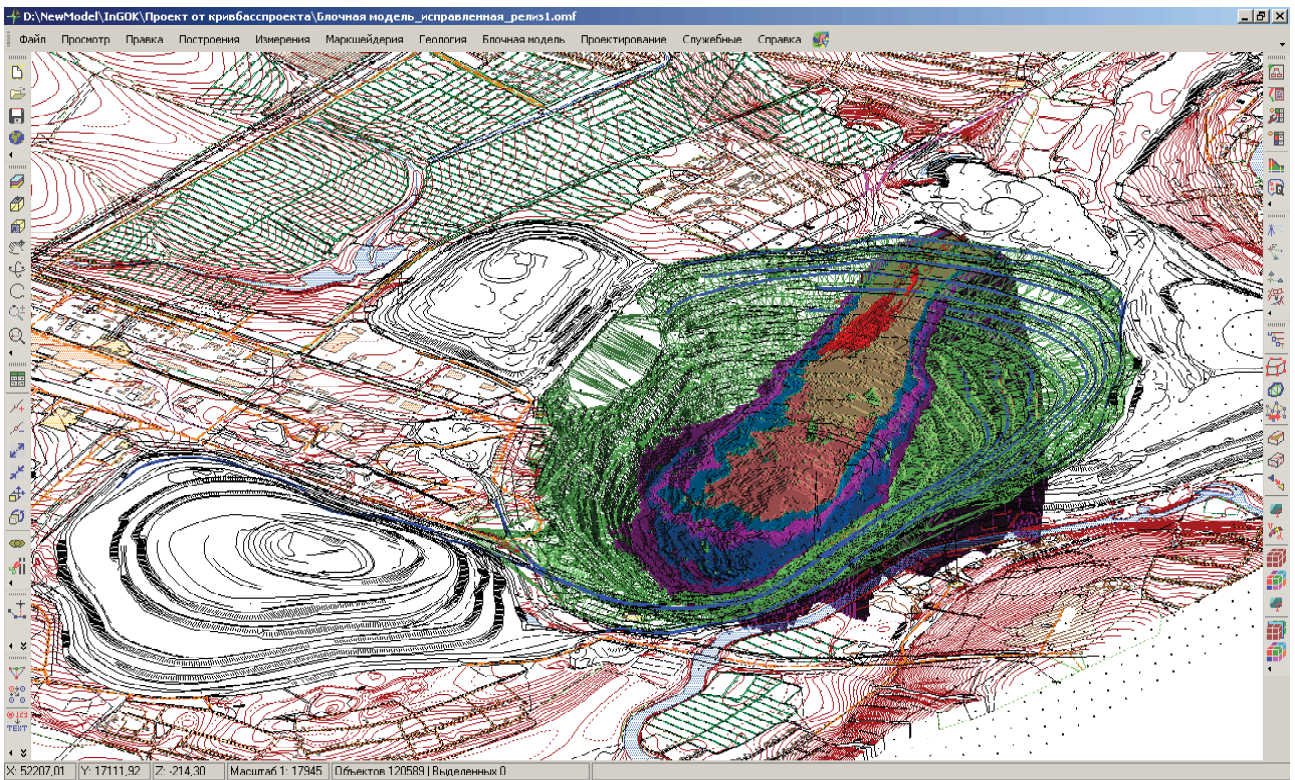
Особливістю використання модуля планування є багатоваріантне планування з урахуванням вибраної системи розробки та параметрів і стану виймального устаткування. Під час формування заходок автоматично розраховують об'ємні та якісні характеристики вмісних порід (геологічні різновиди та технологічні сорти), які беруть із блочної моделі родовища. Модуль додатково оснащують групою задач для розрахунку оптимального варіанта вивезення порід на пункти розвантаження з використанням оптимізаційних методів. Для вирішення оптимізаційних задач транспортування використовують математичний апарат лінійного програмування та методи багатокритеріальної оптимізації. Кінцевими результатами роботи модуля планування є звітна графічна та таблична інформація (рис. 3). За наведеними показниками виконують попереднє економічне оцінювання варіанта плану і вибирають найсприятливіший варіант.

Отримання актуальної інформації про стан гірського масиву в процесі ведення гірничих робіт є один з головних важелів використання ГІС у завданнях управління гірничими роботами. Для постійної актуалізації даних їх необхідно відповідним чином поповнювати і коригувати. Для виконання робіт з актуалізації геометричних та якісних параметрів моделей використовують модуль оперативного геолого-маркшейдерського забезпечення робіт. Основне призначення модуля – автоматизація обробки результатів польових вимірювань, відбудова даних зйомки в моделі і вирішення на їх основі широкого спектра завдань, що виконують маркшейдерська та геологічна служби підприємств.

Для вирішення завдань оперативного маркшейдерського забезпечення в системі реалізована можливість обробки даних польових вимірювань з використанням як оптико-механічних, так і електронних інструментів, зокрема систем з GPS. В K-MINE є можливість обробляти дані форматів від більшості сучасних виробників електронного



а



б

Рис. 2. Суміщена модель родовища, кар'єру, відвалів, підземних шахтних виробок, промислової площадки та земельного відводу для гірничодобувного підприємства: з підземним (а) та відкритим (б) способами видобутку

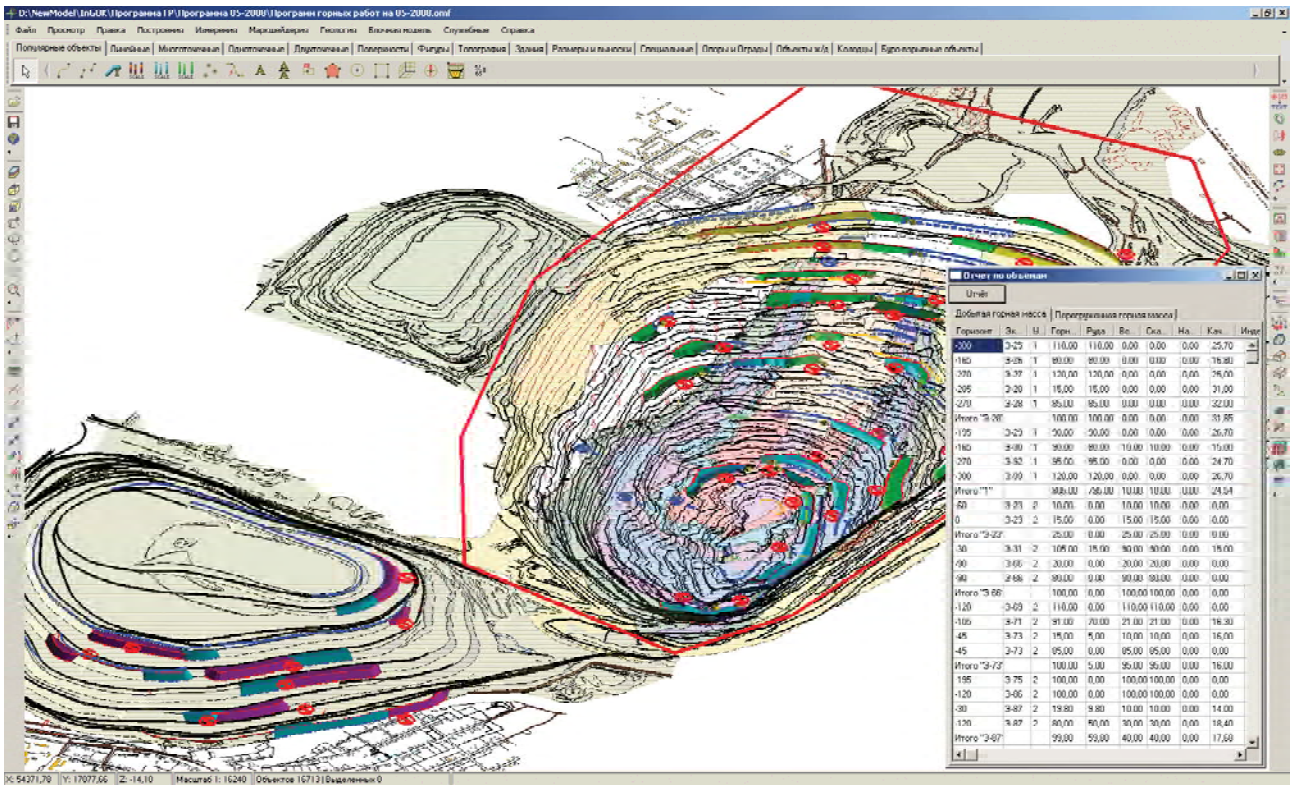


Рис. 3. Варіант місячної програми гірничих робіт для підприємства з відкритим способом видобутку

вимірювального інструменту, а саме SOKKIA, TRIMBLE, DALTA, ELTA, LEIKA, NICON, TOPCON, ЗТ5Р тощо (рис. 4).

Модуль маркшейдерського забезпечення дає змогу виконувати:

- розрахунок об'ємів виймальних блоків, складів і відвалів;
- розв'язання позиційних задач під час побудови розрізів, профілів, бровок та інших об'єктів;

- формування звітної документації для акта маркшейдерського заміру.

Для вирішення завдань геологічного забезпечення в системі реалізована можливість оперативного введення даних опробування блокових бурових свердловин, а також розрахунок якісних та кількісних показників виймальних блоків з можливістю поповнення експлуатаційної моделі родовища (рис. 5).

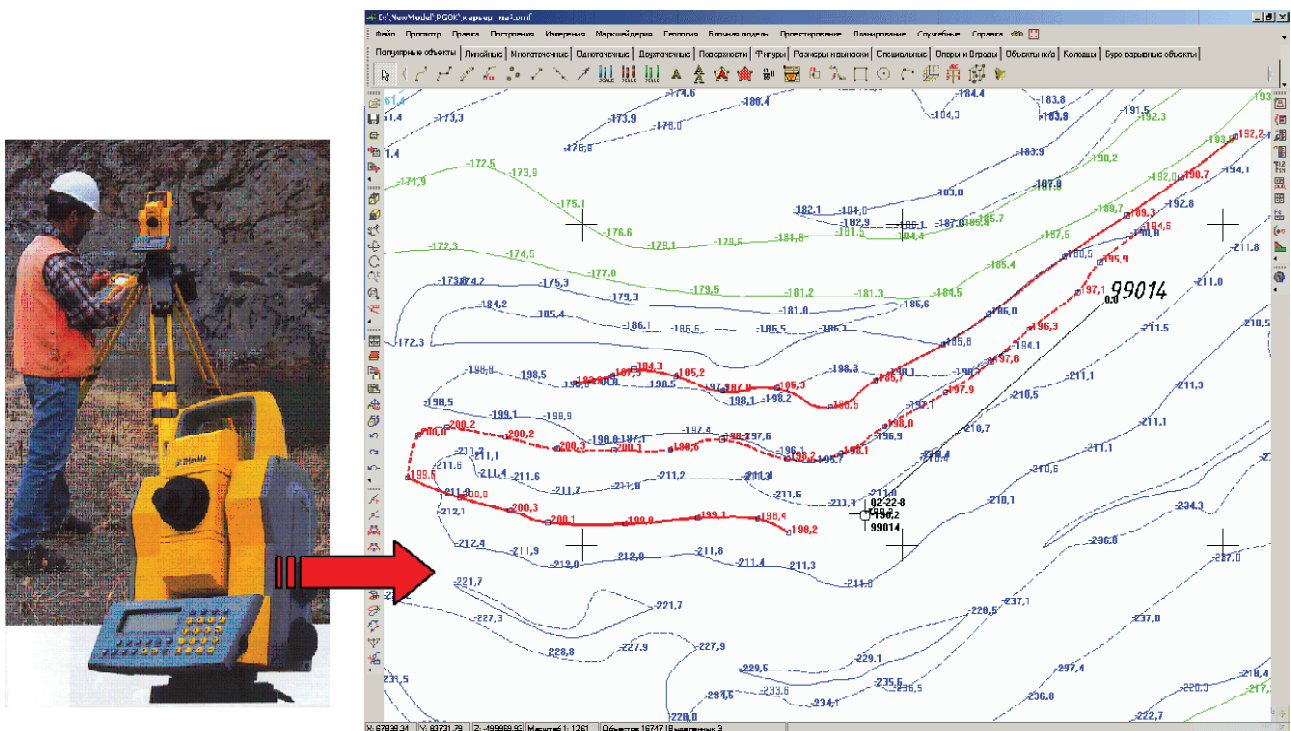


Рис. 4. Обробка даних польових вимірювань з використанням електронних пристроїв

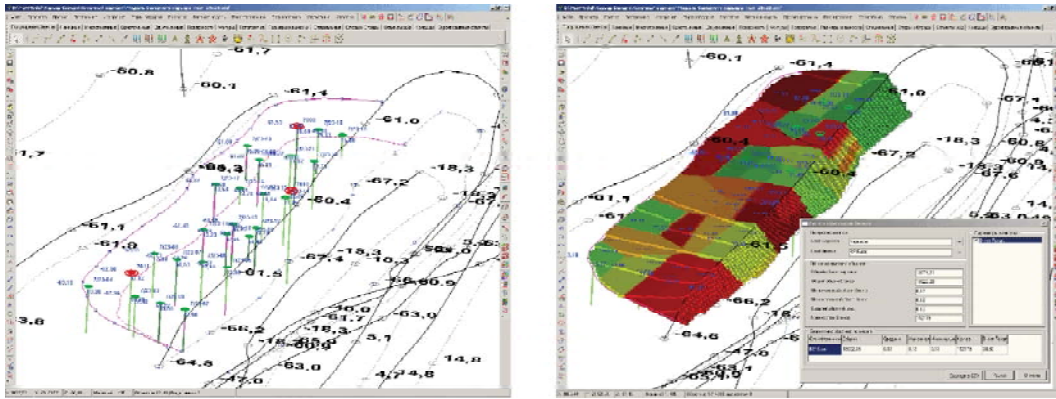


Рис. 5. Порядок розрахунку кількісних та якісних показників відпрацювання виймального блока за допомогою модуля оперативного геологічного забезпечення АСУ ГР

Під час ведення гірничих робіт необхідно дотримуватися вимог норм технологічного проектування, параметрів безпеки та точності. Таким чином, в АСУ ГР використовують модуль технологічного проектування, за допомогою якого можна виконувати завдання як перспективного проектування (наприклад, визначення кінцевих контурів кар'єрів, відвалів, шахтних полів – рис. 6), так і оперативного (проектування вибою, автомобільного або залізничного з'їзду, шляхів, берм тощо – рис. 7). Для виконання завдань проектування АСУ ГР містить розширений набір функцій з настроюваннями користувача.

Для гірничих підприємств, які використовують відбійку порід вибухами, в АСУ ГР передбачений модуль проектування буровибухових робіт. Модуль містить комплекс завдань, що дають змогу повністю завершити цикл робіт геометричного проектування блоків – від вибору місця розташування бурового блока, проектування свердловин до розрахунку зарядів, а також проектування комутації для різних схем (рис. 8). Для контролю якості виконання буровибухових робіт використовують модуль розпізнавання шматків гірничої маси за фотознімками. За допомогою цього модуля виконують контроль за якістю вибуху, а на базі аналізу – коригування паспорту вибуху для досягнення оптимального розміру шматка.

Одним із головних критеріїв якісної роботи гірничих підприємств є стабілізація якісних показників видобутої сировини протягом заданого проміжку часу. На процес стабілізації впливає велика кількість збурень, так звані гірничі, технологічні та економічні чинники. Сам процес видобутку та вивезення порід є стохастичним. Для вирішення завдань стабілізації якісних і кількісних показників роботи підприємства на поточному інтервалі часу використовують диспетчерські системи. Підсистема оперативного диспетчерського керування АСУ ГР дає змогу виконувати оперативне керування роботою навантажувально-транспортного комплексу кар'єру. Підсистема містить модуль оперативного планування роботи навантажувально-транспортного комплексу кар'єру,

модуль оперативного контролю місцезнаходження одиниць виймальної техніки та одиниць транспорту, а також модуль диспетчерського керування і контролю основних показників виконання виробничої програми (див. рис. 1). Контроль місцезнаходження виконується у режимі реального часу з використанням засобів супутникової навігації (GPS або ГЛОНАС). Інформація оперативно виводиться на екран диспетчерського пункту, де її суміщають з картою об'єкта експлуатації (кар'єр – відвали – проммайданчик). Після кожної події, що виникає у системі (навантаження – розвантаження, ремонт – вихід з ремонту, перегін тощо), здійснюється перерахунок кількісних і якісних показників виконання поточного планового завдання, і у разі відхилення фактичних показників від плану більше припустимого значення диспетчеру видається рекомендація щодо перевизначення напрямку відправки поточної одиниці транспорту. Результати роботи наприкінці кожної зміни групують і використовують під час коригування варіанта плану на наступну зміну підсистемою оперативного планування. Додатково підсистема оснащена засобами формування звітної документації про роботу навантажувально-транспортного комплексу в оперативному режимі і може бути виведена на екран монітора через звичайний WEB-браузер, що дає можливість керівникам різних рівнів постійно бути в курсі подій.

Використання комплексної системи керування гірничими роботами дає змогу підвищити ефективність роботи працівників основних відділів, зменшити інформаційне навантаження, прискорити виконання процесів у кілька разів, підвищити безпеку ведення гірничих робіт, що у підсумку впливає на якість проектних та управлінських рішень. Крім того, використання оптимізаційних методів у завданнях планування та керування гірничими роботами забезпечує економічний ефект від впровадження системи.

Подальший розвиток системи можливий у разі її розширення завдяки підключенню систем інших цехів гірничо-збагачувальних підприємств, таких як дробильні фабрики, збагачувальні фабрики,

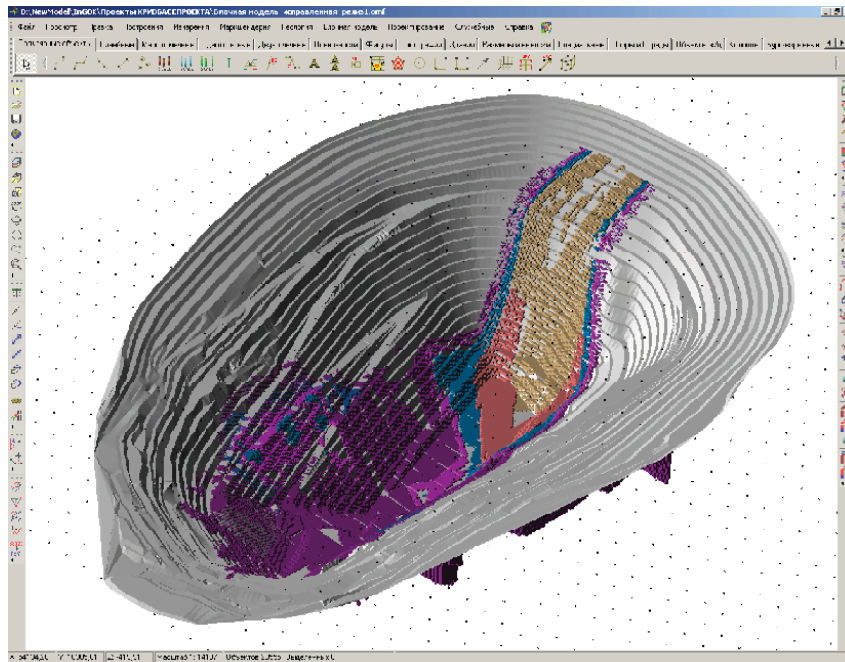


Рис. 6. Проектні контури відпрацювання кар'єру

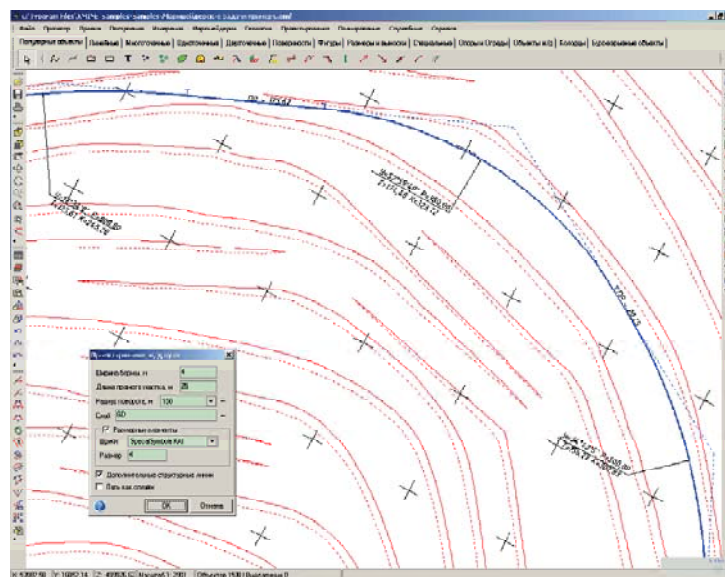


Рис. 7. Проект побудови залізничної колії в кар'єрі

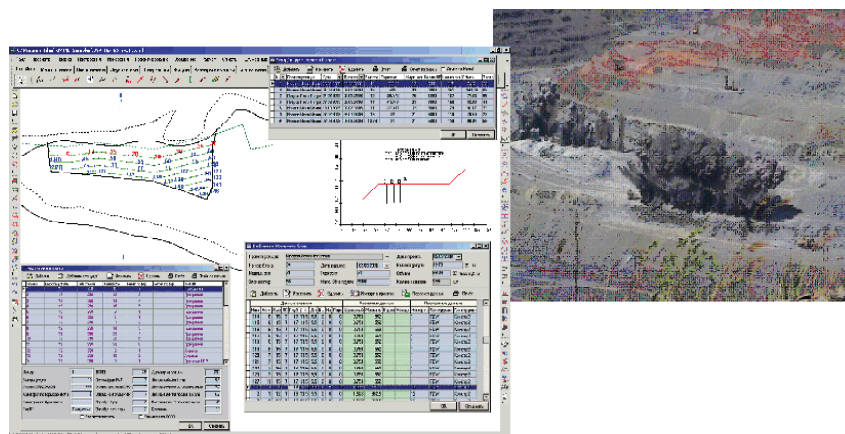


Рис. 8. Приклад використання модуля проектування буровибухових робіт в АСУ ГР

транспортні цехи тощо. Це сприятиме врахуванню потреб гірничо-збагачувального підприємства щодо видобутку корисних копалин та збільшенню економічного ефекту.

Одним із пріоритетних напрямів розвитку АСУ ГР є розширення сфери її використання для родовищ інших корисних копалин (горючих, водних тощо).

АСУ ГР пройшли адаптацію на кількох гірничо-збагачувальних підприємствах України з видобутку рудної та нерудної сировини. Алгоритми і методи, що закладені в системі, відповідають вимогам чинного законодавства, інструкціям та методикам керівних та контролювальних органів в Україні. Система сертифікована згідно зі стандартом ISO, має позитивні відгуки спеціалістів, підтвердження економічного ефекту від її впровадження.

1. *Автоматизированные системы управления горнорудными предприятиями* / Ю.П. Астафьев, Г.К. Полищук. – Киев: Вища шк., 1984. – 216 с.
2. *Компьютеры и системы управления в горном деле за рубежом* / Ю.П. Астафьев, А.С. Зеленский, Н.И. Горлов и др. – М.: Недра, 1989. – 264 с.
3. *Геолого-технологическая оценка балансовой принадлежности запасов магнетитовых кварцитов Кривбасса в условиях рыночной экономики* (на примере ИнГОКа):

Отчет о НИР: Механобрчермет; №ГР0195U010720. – Кривой Рог, 1995. – Инв. №4580И.

4. *Контроль качества железорудного сырья* / А.Н. Марюта, И.К. Младецкий, П.А. Новицкий. – Киев: Техніка, 1976. – 220 с.
5. *Назаренко В. М., Назаренко М. В., Купин А. И.* Применение ГИС-технологий для автоматизации диспетчерского управления технологическим транспортом в карьере // Сб. науч. трудов НГА Украины. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2000. – Т. 1, № 9. – С. 190–194.
6. *Назаренко В.М., Назаренко М.В.* Обоснование применения геоинформационных технологий при автоматизации технологических процессов в горнодобывающей промышленности // Докл. II Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы использования геоинформационных технологий в горном деле». – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2000. – С. 19–25.
7. *Назаренко В.М., Назаренко М.В., Хоменко С.А., Купин А.И.* Интеллектуальные системы принятия решений при планировании горничих работ в розробках «Кривбасакадемінвест» // Сб. науч. тр. НГА Украины. – Днепропетровск: РИК НГАУ, 2001. – Т. 1, № 12. – С. 39–44.
8. *Назаренко В.М., Хоменко С.А., Купин А.И.* Современные информационные технологии для управления работой рудником горно-обогатительного комбината // Разработка руд. м-ний. – 2002. – № 77.

Надійшла до редакції 11.03.2008 р.