

К-MINE – ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВЕДЕННЯ БУРОВИБУХОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ

М.В. Назаренко, С.А. Хоменко, ПП «КРИВБАСАКАДЕМІНВЕСТ», Україна

Наведено результат аналізу сучасної технології проектування буровибухових робіт на гірничодобувних підприємствах України і країн ближнього зарубіжжя. Для вибору оптимальних режимів буріння і підривання гірських порід обґрунтована необхідність автоматизації процесів гірничого виробництва гірничодобувних підприємств. Запропоновано проектування буровибухових робіт здійснювати із застосуванням геоінформаційної системи K-MINE.

Буровибухові роботи (БВР) – невід'ємна частина технологічного процесу видобутку корисних копалин для підприємств, що ведуть відріток родовищ відкритим способом. Саме від проведення вибухових робіт в кар'єрах залежить, яка сировина надійде на подальший технологічний переділ і якими будуть собівартість та якість готової продукції.

В даний час для більшості кар'єрів використовується традиційні способи відбою гірської маси із застосуванням енергії вибухів. На вирішення питань поліпшення якості ведення БВР і зниження їх собівартості на підприємствах виділяються значні матеріально-технічні ресурси. Адже саме від якості підготовки підірваної гірської маси залежать параметри продуктивності роботи виймально-навантажувального і транспортного устаткування, а також енергетичних витрати подрібнення порід, в першу чергу першої стадії подрібнення.

На якість підготовки гірської маси вибухами впливають фізико-хімічні і технологічні показники вміщуючих порід (в першу чергу їх міцність і тріщинуватість), а також енергетичні показники вибухових речовин (ВР). Причому, у зв'язку з нерівномірністю розповсюдження цих властивостей у межах одного виймального блоку, достатньо складно підібрати такий режим підривання, при якому отримують задовільну якість підготовки гірської маси і мінімізують, при цьому, витрати. Як правило, традиційний підхід до проектування БВР має на увазі використання сіток свердловин з мінімальним кроком, під породи з максимальними властивостями міцності, а вибухових речовин з максимальними енергетичними показниками [1]. Таким чином, в результаті вибуху отримуємо масив переподрібнених порід із збільшенням зон розкиду шматків підірваної гірської маси від місця проведення вибуху, що в умовах невеликої ширини робочих майданчиків може призвести до скидання значних об'ємів на уступи, що знаходяться нижче, і транспортні берми. І навпаки, вибір розріджених сіток і невірних типів ВР може призвести до підвищеного виходу негабаритів, поганим опрацьовуванням підосви блоку, що значно підвищує витрати на їх повторне підривання і подрібнення.

Таким чином, вибір оптимальних режимів буріння і підривання гірських порід є одним з пріоритетних напрямів автоматизації процесів гірничого виробництва більшості гірничодобувних підприємств.

Технологія проектування БВР, що існує на гірничодобувних підприємствах України і країн ближнього зарубіжжя, характеризується значною трудомісткістю. Процес проектування на всіх стадіях роботи передує і супроводжується геолого-маркшейдерським інженерним супроводом, що включає як польові, так і камеральні роботи. Процес проектування носить стадійний характер і виконується поетапно (рис. 1). Ефективність процесу проектування і ведення БВР залежить від організаційної і інформаційної взаємодії всіх його учасників (геологічної і маркшейдерської служб, фахівців з бурових і вибухових робіт).

Одним з основних шляхів корінного поліпшення справ в даній області гірничого виробництва є застосування нових технологій в області ведення буровибухових робіт, а також автоматизації процесів геолого-маркшейдерського забезпечення і проектування БВР в кар'єрі. Автоматизація інженерного супроводу гірничих робіт досягається за рахунок використання сучасних апаратно-програмних засобів.

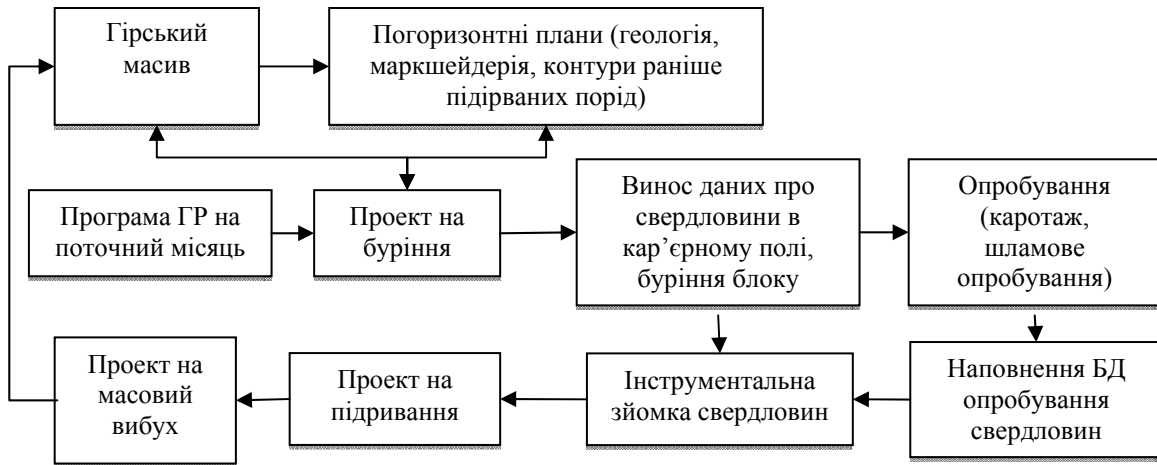


Рис. 1. Схема взаємодії геолого-маркшейдерських служб і підрозділів проектування в процесах проектування і ведення БВР для підприємств з відкритим способом видобутку

В даний час на ринку спеціалізованого програмного забезпечення представлені ряд програмних продуктів для автоматизації процесів проектування буровибухових робіт або імітаційного моделювання вибухів [2], в основному зарубіжного виробництва. Із-за своєї специфіки, а саме, англійського інтерфейсу, складності в освоєнні, відмінності в нормах і технології проектування, неможливості гнучкого налаштування під умови гірничого виробництва, що змінюються, ці програмні продукти не знайшли широкого застосування на вітчизняних гірничих підприємствах.

Розробка і вдосконалення програмного забезпечення для проектування буровибухових робіт в реальному режимі часу зі всіма його складовими (ведення і актуалізація геолого-маркшейдерської документації; проектування розташування вибухових свердловин в блоці з урахуванням фізико-хімічних і технологічних характеристик вміщуючих порід, діаметру свердловин і конструкції зарядів; розрахунок параметрів підривання, підготовка інформації для обміну даними з суміжними системами) є актуальним завданням для більшості гірничих підприємств.

Структурна схема технологічного процесу проектування буровибухових робіт, що враховує спільну роботу геологічної, маркшейдерської служб і проектувальника БВР, наведена на рис. 2.

Фахівці маркшейдерської і геологічної служб підприємства регулярно актуалізують стан гірничо-геологічних моделей (поточне положення уступів, раніше підірваних порід, якісні показники порід в гірському масиві). Вся інформація представлена в електронному вигляді і зберігається в загальній базі даних на центральному сервері системи. Поповнення моделей виконується регулярно (щодня) при проведенні камеральної обробки польових зйомок.

Роботи по проектуванню БВР із застосуванням K-MINE здійснюються в два етапи: створення проекту на буріння і проекту на підривання. Всі роботи виконуються безпосередньо із застосуванням модуля проектування БВР. Два основні етапи проектування БВР в часі розділено виробничими процедурами (набір даних для виконання робіт по розбиванню, винесення даних проекту в натуру, буріння свердловин, маркшейдерська зйомка пробурених свердловин, зарядження, підривання та ін.). Сама технологія проектування практично без паперова. На друк виводяться тільки документи, що вимагають підпису (плани бурового блоку, план комутації блоку, таблиці технологічного розрахунку, зарядні карти, паспорти вибухів), які затверджуються керівництвом рудоуправління і комбінату. Ці документи безпосередньо використовуються при бурінні блоку, заряджанні свердловин і комутації.



Рис. 2. Структурна схема роботи системи проектування і управління буровибуховими роботами із застосуванням K-MINE

Нижче будуть приведені основні технологічні операції при використанні модуля проектування БВР.

Розробка проекту на буріння. Відповідно до програми гірничих робіт на місяць визначаються місця розміщення бурових блоків [4] у межах кар'єрного поля. Маркшейдерською службою підприємства виконується інструментальна зйомка поточної ситуації майданчика, підготовленого для проектування блоку. На підставі цієї інформації маркшейдери готують паспорт бурового блоку з вказівкою його контуру і можливих місць розміщення бурових свердловин згідно типових паспортів. Фахівцем-проектувальником БВР на підставі актуальної гірничо-геологічної інформації, і паспорта блоку формується поточна диспозиція. При цьому в проекті враховуються фізико-хімічні властивості та міцність порід, що складають гірський масив, отримувані згідно фактичної інформації про раніше підірвані блоки, які знаходяться в безпосередній близькості від проєктованого (принцип аналогії). Визначається передбачуваний контур проєктованого блоку, а також поточне положення уступу, положення планових висотних відміток на проєктованому майданчику, наявність в зоні проєктованого блоку об'єктів-обмежувачів (траси, лінії електропередач, комунікації).

Інформація про блок поповнюється уточненими геологічними даними про контакти порід, що складають масив у межах блоку, геофізичною інформацією (тектонічними порушеннями, зонами різної тріщинуватості і обводнення). За кожним типом порід визначаються категорії порід за буримістю та вибуховістю відповідно до шкали (паспортами), прийнятими на підприємстві.

Блок розбивається на ділянки за категоріями вибуховості і висотою уступу. Для кожної ділянки вибирається відповідний паспорт на буріння і підривання. Далі виконується автоматичне проектування рядів, свердловин в рядах з дотриманням вимог типового проекту (враховується тип свердловин, їх глибина, діаметр і конструкція заряду, тип використовуваних вибухових речовин для поточних гірничо-геологічних умов). Проектування на даному етапі виконується в інтерактивному режимі. На кожному кроці проектувальник може змінювати геометричні параметри рядів, а також задавати відстані між рядами і свердловинами (параметри ВМР і ВМС). При розстановці свердловин в рядах

виконуються їх автоматична нумерація (проектний номер), розраховуються координати свердловини в плані, а також проектні значення глибини і величини перебуру. Застосування комп'ютерних технологій дозволяє значно підвищити точність розміщення свердловин в буровому блоці (до перших сантиметрів в плані і по висоті).

Проектувальник повністю контролює процес проектування рядів, може змінювати їх геометричну конфігурацію, робити врізання, згущувати або розріджувати сітку свердловин на окремих ділянках (наприклад на ділянках із завищеним значенням лінії опору), виконувати допроекування рядів, змінювати параметри ділянок блоку при уточненні гірничо-геологічних і технологічних показників. Використання автоматизованих розрахунків в проектуванні розстановки свердловин дозволяє «економити» 1-3 свердловини на кожних 100 свердловин блоку складної конфігурації без зниження якості подрібнення гірської маси тільки за рахунок точного вимірювання відстаней, чого неможливо добитися при ручному способі проектування.

Кінцевим результатом роботи даного етапу є проект на буріння. Він містить план бурового блоку, його номер, фактичне положення брівки уступу і майданчика, положення останнього ряду свердловин попереднього вибуху, межі ділянок геологічних різновидів з вказівкою категорій порід по міцності, буримості і вибуховості, проєктовані свердловини з вказівкою їх номерів і значень проектних глибин, геометричні параметри сітки буріння, об'єми буріння і підривання (рис. 3).

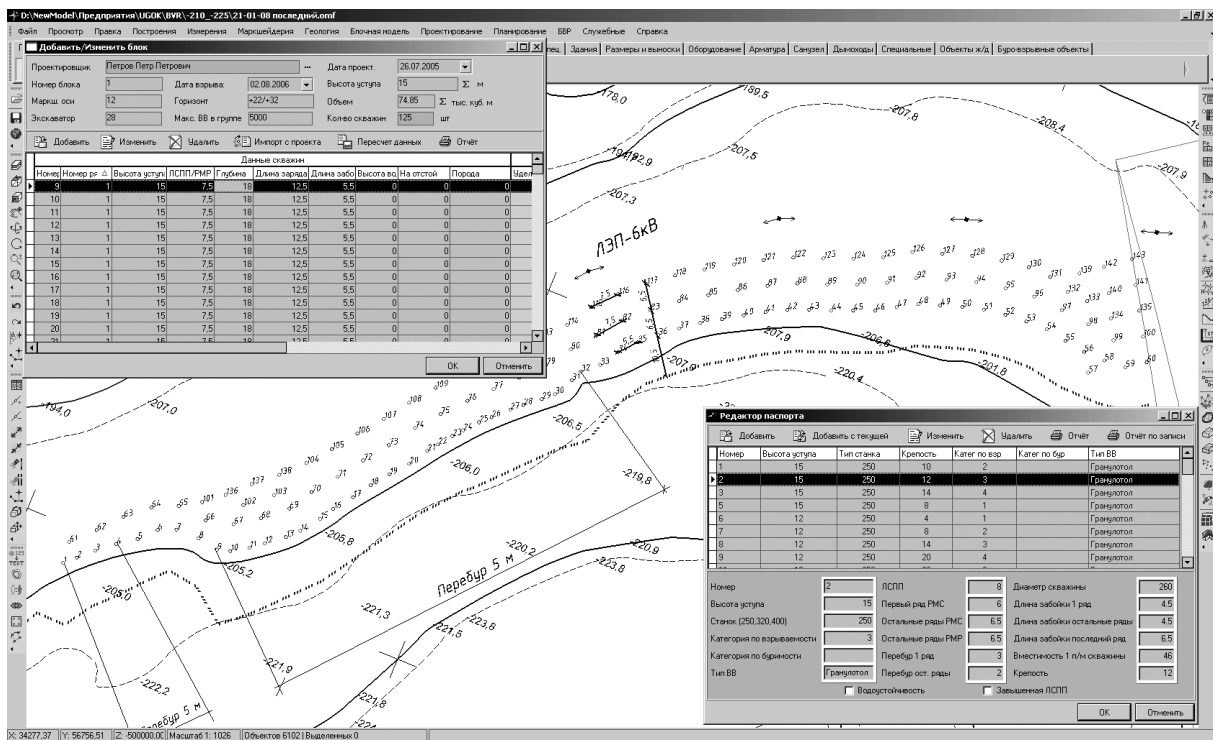


Рис. 3. Розробка проект блоку на буріння в K-MINE

Відповідно до проекту буріння маркшейдерською службою виконуються роботи з розбиття бурового блоку на місцевості. У модулі проектування передбачені функції експорту/імпорту даних у формати електронних вимірювальних приладів від різних фірм-виробників.

У міру оббурювання блоку виконується маркшейдерська зйомка свердловин з привласненням порядкового номера, вимірюються їх фактичні глибини, висота стовпа води (обводнення), проводиться випробування (хімічне випробування по шламу, магнітний або гамма каротажі, інші випробування).

Дані автоматично, по мірі обробки інформації заносяться в загальну базу даних системи і надалі використовуються при підготовці і формуванні проекту на підривання і проведення масових вибухів.

В даний час, деякі гірничі підприємства, проводять роботи по удосконаленню парку бурового устаткування: виконуються закупівлі нових бурових верстатів або модернізуються ті, що існують. Одним з актуальних рішень, що дозволяють якісно поліпшити роботу бурового устаткування, є використання систем точного позиціонування із застосуванням засобів супутникової навігації.

Даний підхід розкриває широкі можливості по інтеграції системи автоматизованого проектування БВР з цими системами. Використання широкопasmових каналів безпроводного зв'язку, а також єдиної бази даних технологічних параметрів роботи парку бурової техніки дозволяє організувати обмін даними між K-MINE і системами точного позиціонування.

Тобто проект на буріння блоку передається безпосередньо в загальну базу даних системи точного позиціонування, звідки по каналах зв'язку безпосередньо на дисплей оператора бурового верстата і використовується для точного наведення (рис. 4). При цьому, наведення на точку буріння свердловини виконується автоматично по заданих координатах, глибина буріння свердловин також задається автоматично. Точність позиціонування устаткування в системах точного позиціонування складає до 10 см в плані і по висоті.

Після виконання буріння виконується зворотна передача координат і глибин фактичних свердловин в K-MINE для їх подальшого використання при розрахунку зарядів свердловин і проектуванні схем комутації. Таким чином, із загального ланцюжка виробництва буровибухових робіт (рис. 1) «випадають» маркшейдерські роботи з розбиття, а також зйомка фактичного положення вибурених верстатом свердловин, що дозволяє заощадити на кожному блоці до одного робочого дня часу фахівця-маркшейдера.

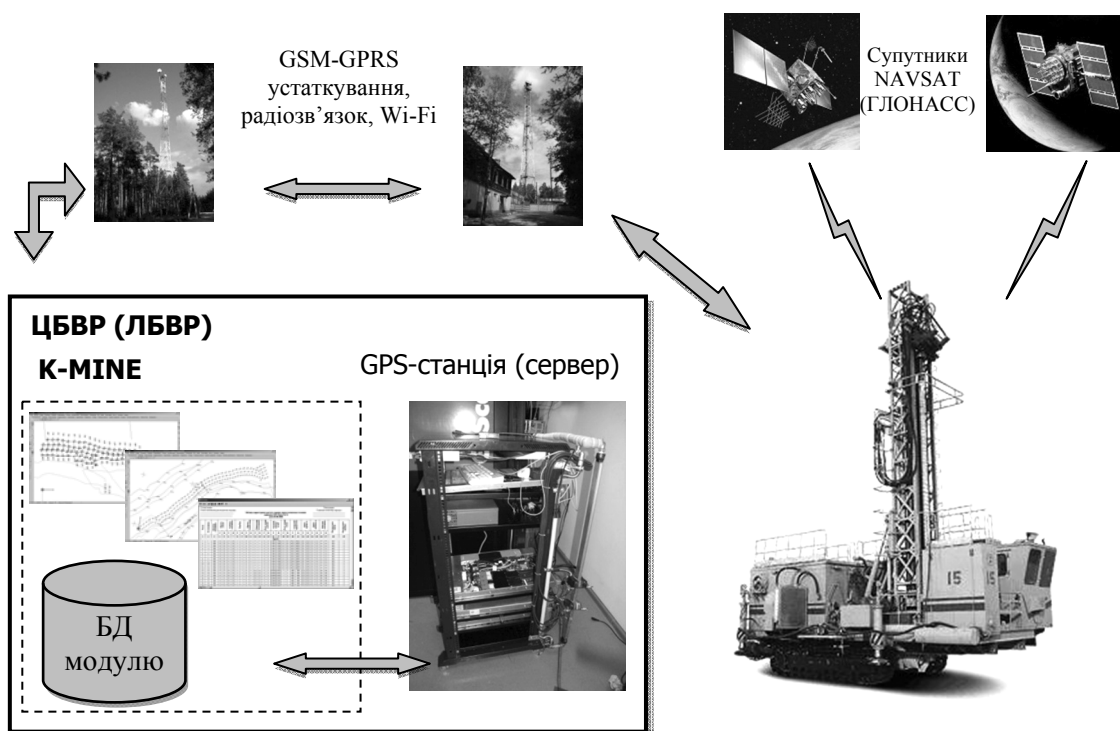


Рис. 4. Структурна схема системи взаємодії модуля проектування БВР ГИС K-MINE і системи точного позиціонування бурових верстатів

Використання механізмів передачі інформації K-MINE і систем точного позиціонування дозволяє перевести роботу маркшейдерської служби на якісно новий рівень. Так із загального процесу управління буровибуховими роботами виключається ланка виробництва

маркшейдерських робіт по винесенню проекту на буріння в натуру, а також повторна зйомка фактично вибурених свердловин. Ці дані передаються і виходять автоматично, по запиті користувача. Маркшейдери займаються питаннями аналізу цих даних і приймають рішення на коректування проекту при порушеннях технології буріння або відхиленні координат свердловини від допустимих значень (рис. 5).

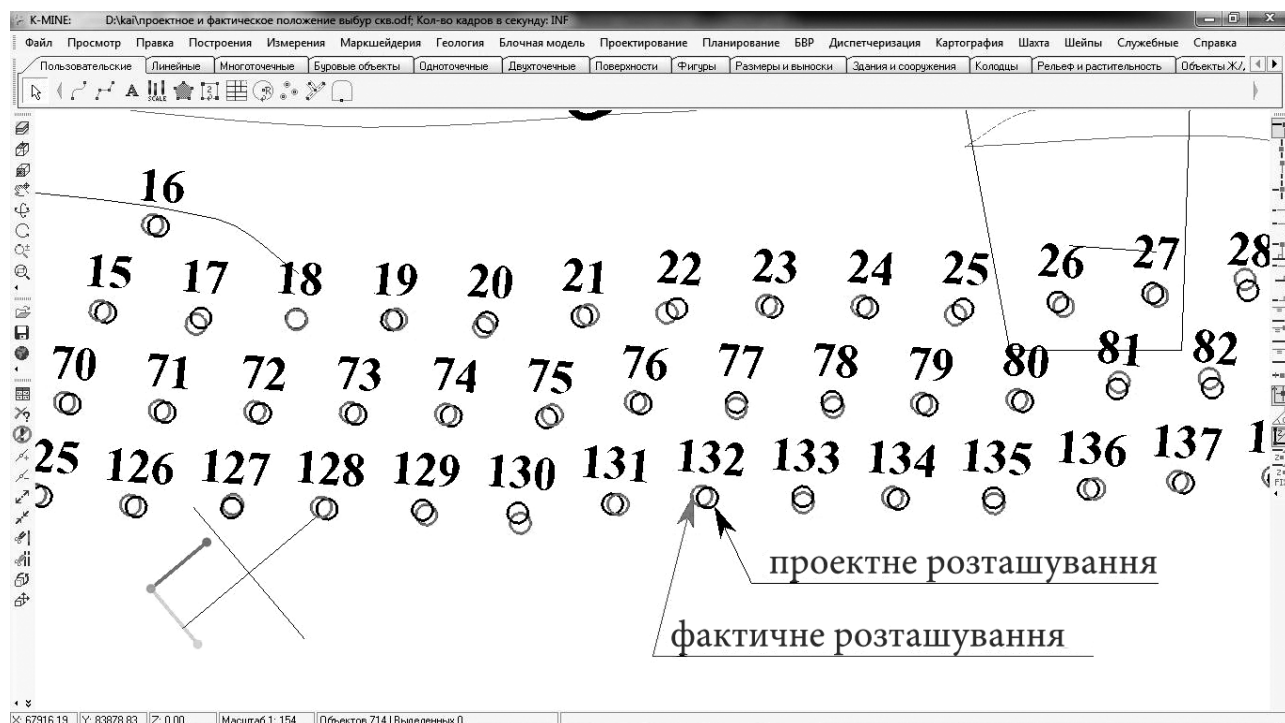


Рис. 5. Аналіз проекту на буріння і фактично вибурених свердловин

Розробка проекту на підривання. Дані про фактичні координати блокових свердловин і виміряні параметри (глибина, обводнення, геологічне випробування) автоматично заносяться в базу даних маркшейдерських зйомок. Передача даних з електронних приладів в комп'ютер виконується з використанням різних каналів зв'язку (дротяні, безпроводні). При використанні систем точного позиціонування дані безпосередньо витягуються з БД. За результатами вимірювань готується інформація для розробки проекту на вибух блоку: план розташування свердловин в блоці з вказівкою їх фактичних глибин; табличні дані про конструкцію зарядів і розташуванню детонаторів. Розрахунок зарядів виконується за типовим проектом. Далі проектується схема комутаційної мережі, розраховуються інтервали уповільнення по кожній свердловині і ряду (рис. 6).

При проектуванні системою здійснюється контроль правильності комутації свердловин. При цьому автоматично, за даними уповільнень, відбудовуються лінії відбою, моделюється спрацьовування детонаторів в свердловинах. Для візуального контролю використовується функція мультиплікаційного відображення черговості підривання свердловин, і розповсюдження вибухової хвилі в масиві по значеннях розрахованого загального уповільнення (рис. 7).

За результатами зарядки свердловин в зарядних таблицях розраховується довжина і маса заряду, визначається довжина забивки і при необхідності повітряного проміжку. Ці дані вводяться в комп'ютер і переносяться в таблиці показників технічного і коректувального розрахунків.

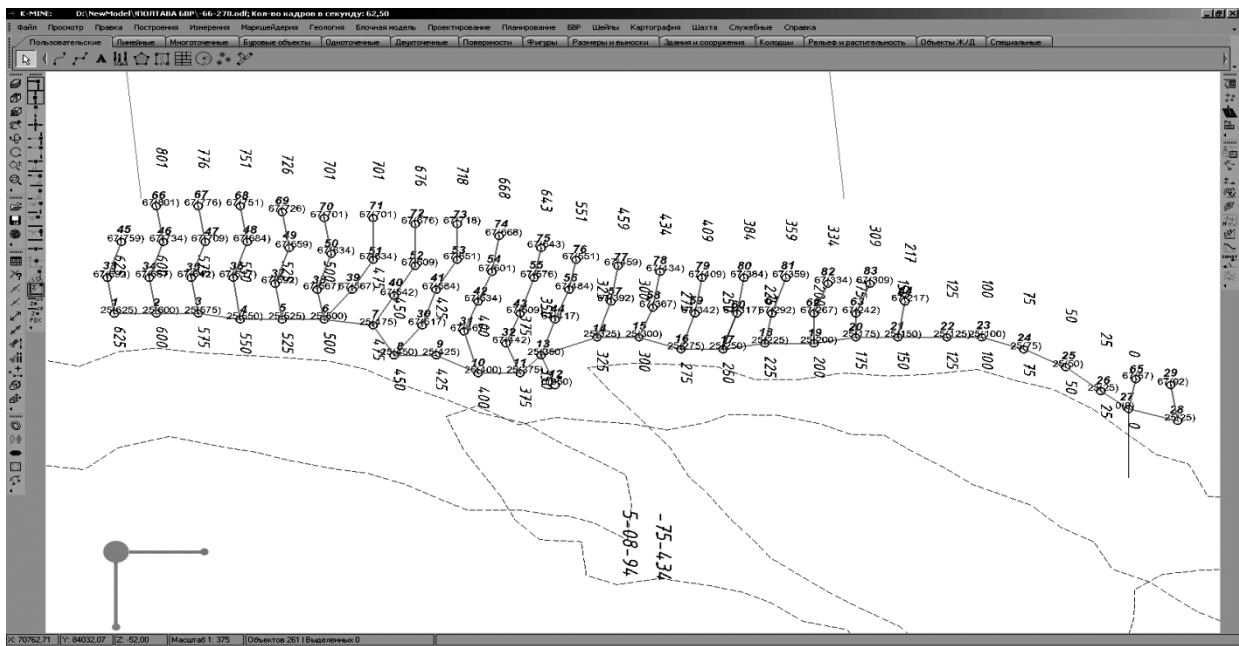


Рис. 6. Проектування мережі комутації блоку на підривання

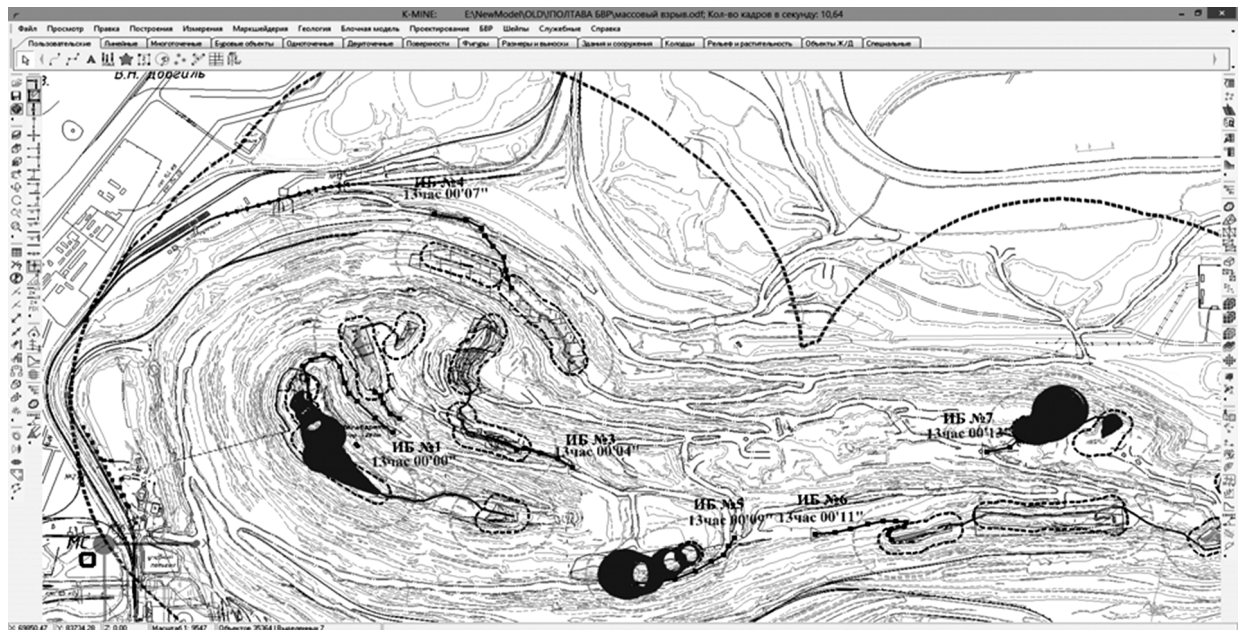


Рис. 7. Мультиплікаційне відображення процесу моделювання масового вибуху

Проекти на буріння і підривання окремих блоків є джерелом даних для підготовки і формування звітності по масовому вибуху. На підставі цих даних розраховуються і відбудовуються зони безпеки по розльоту шматків, акустичній і сейсмічній дії вибуху на гірський масив і навколишнє середовище, контролюються в динаміці процеси комутації і вибуху для визначення можливих підбивок, розраховуються і виносяться позиції розміщення охоронних постів, в автоматичному режимі формується пакет звітної документації по масовому вибуху (рис. 8).

Контроль якості проведення БВР. Основним показником, що характеризує якість виконання буровибухових робіт в кар'єрах, є гранулометричний склад підірваної гірської маси. При цьому важливо контролювати крупність подрібнення порід вибухами: підвищене число негабаритів приводить до порушення технологічного процесу видобутку і транспортування, різко знижує продуктивність екскаваторів, приводить до істотного

подорожчання гірничих робіт, переподрібнення гірської маси говорить про неправильний вибір типу вибухівки або згущену сітку, що веде до підвищення вартості кінцевої продукції. Тому, при виробництві буровибухових робіт, необхідно підтримувати певний оптимум і регулярно контролювати гранулометричний склад підірваних порід.

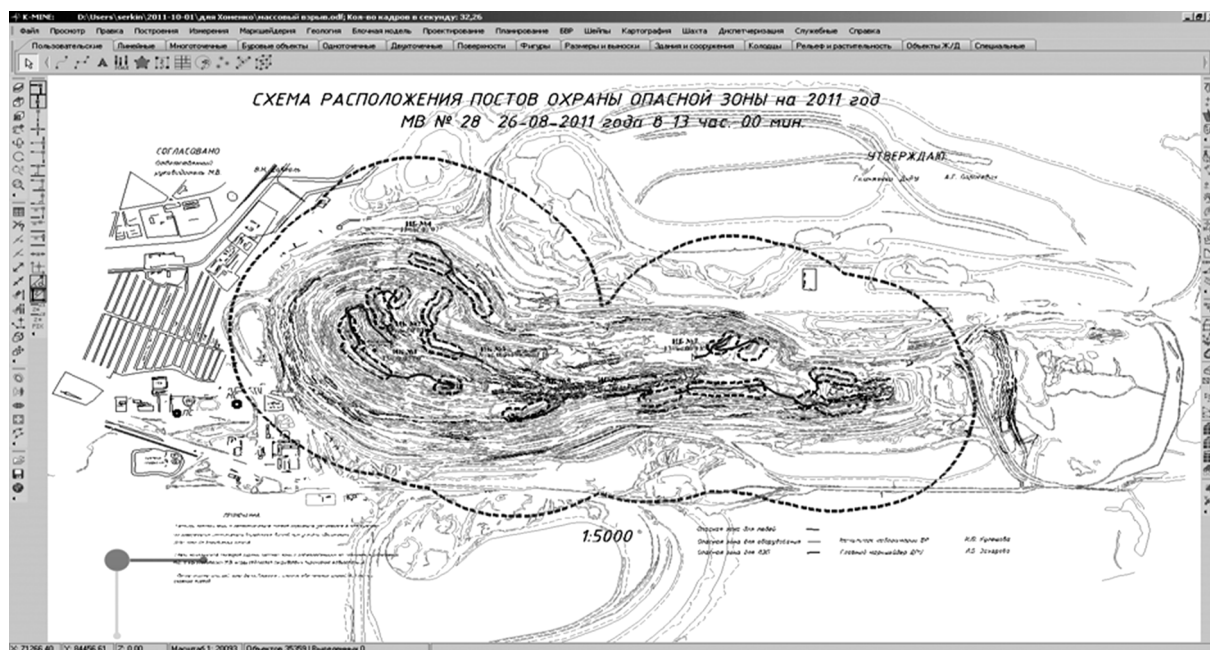


Рис. 8. Проект масового вибуху в кар'єрі

Завдання контролю якості підірвання ручними способами достатньо трудомістке і може зайняти значний час. З метою автоматизації контролю якості підірваної гірської маси використовується спеціальний програмний модуль K-MINE у складі комплексу проектування БВР. Його основне призначення – визначення розміру середнього шматка і гранулометричного складу підірваної гірської маси по фотознімках із застосуванням фотопланіметричного методу (рис. 9).

Контроль властивостей міцності гірського масиву. Використання інтегрованих рішень системи проектування БВР K-MINE і систем точного позиціонування буровими верстатами дозволяє перейти на якісно новий рівень робіт по бурінню і підірванню порід в кар'єрах. В першу чергу це стосується дешифрування параметрів буріння верстатами з метою визначення властивостей міцності гірських порід в об'ємі блоку. Як було відмічено вище, властивості міцності гірського масиву, навіть у межах одного вибухового блоку бувають у край нерівномірні. Тому доцільним є застосування різних сіток або типів ВР для ділянок блоку з різними властивостями міцності. Використання такої методики дозволить автоматично на підставі фактичних показників буріння визначати необхідний вид зарядів свердловин, а також вести карту буримості і вибуховості гірського масиву.

Реалізація даної методики здійснюється за рахунок зняття фактичних показників буріння за допомогою системи датчиків, що встановлюються на буровий верстат, з подальшою їх передачею в загальну базу даних, моделювання властивостей міцності порід в масиві і вибору параметрів розбурювання блоків з урахуванням результатів моделювання.

Подібне рішення дозволяє скоротити загальні витрати ВР по підприємству на 10-15 %, а також відкриває дорогу для використання сучасних схем розбурювання масиву порід (наприклад, використання нерегулярних сіток з різномінімним кроком), застосування розподілених і комбінованих зарядів.

Таким чином, сумісне застосування комп'ютерної технології геолого-маркшейдерського забезпечення і проектування буровибухових робіт для гірничих підприємств дозволяє істотно скоротити час на розробку проектів БВР, скоординувати роботу всіх інженерно-

технічних служб, що в цілому сприяє поліпшенню вибухової підготовки гірської маси і приводить до підвищення безпеки буровибухових робіт.

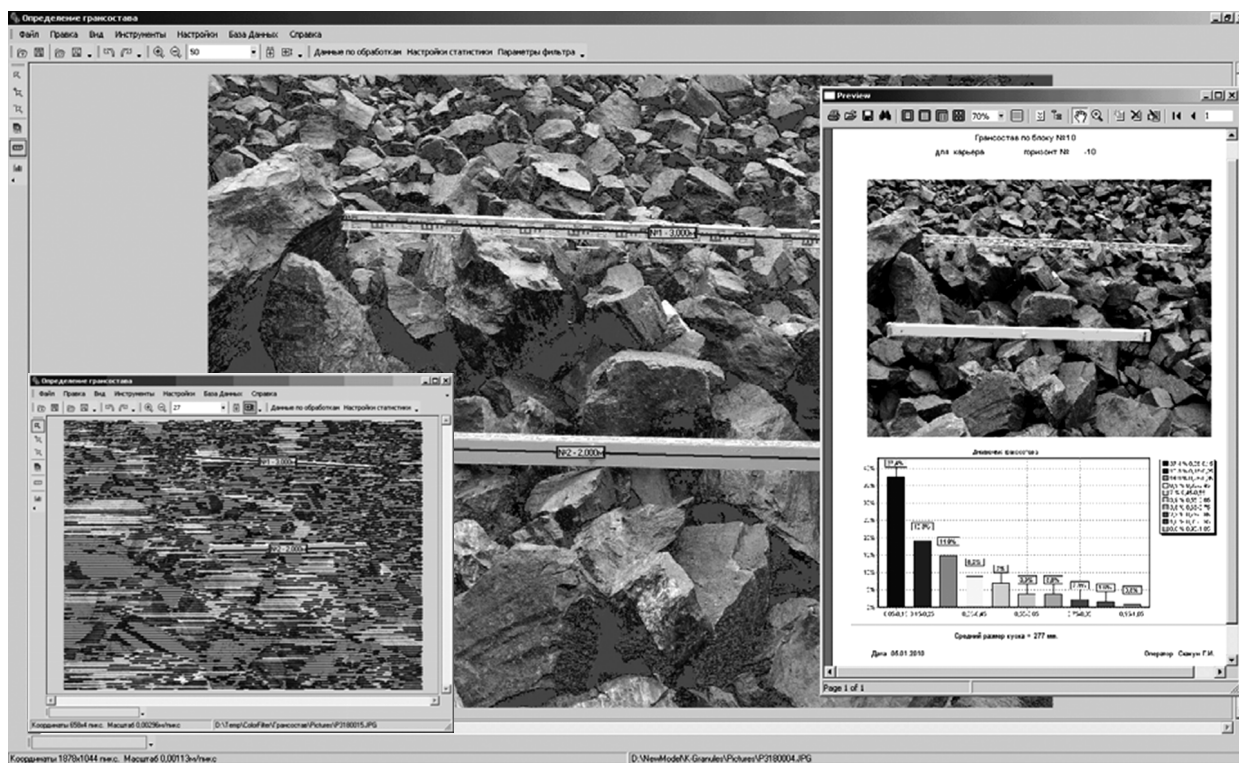


Рис. 9. Контроль якості гранулометричного складу у вибуховому блоці

Використання модуля K-MINE для визначення гранулометричного складу дозволяє точно оцінювати якість підривання і в оперативному режимі вносити коректування в технологію буріння і підривання.

Прямий обмін даними модуля проектування БВР з системами точного позиціонування бурових верстатів дозволяє виключити із загальної схеми проектування етапи робіт з розбивки і фактичної зйомки блокових бурових свердловин маркшейдерською службою підприємств із загального процесу проектування, і значно (до 20-30 %) скоротити час на підготовку блоку для буріння і вибуху. Окрім цього значно підвищується точність відповідності координат фактично пробурених свердловин проекту (до 0,1 м в плані і по висоті проти 0,5 м. при використанні традиційних способів).

Список літератури

1. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом (взрывные технологии в промышленности), ч. II. Учебник для ВУЗов. 3-е изд. перер. и дополн. / Б.Н. Кутузов. – М.: МГГУ, 1994. – 446 с.
2. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика / Ю.Е. Капутин. – СПб.: Недра, 2002. – 424 с.
3. Хоменко С.А., Барановский С.С. Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ на базе ГИС K-MINE. Сборник докладов научно-практического семинара «SVIT GIS-2010». / С.А. Хоменко, С.С. Барановский–Кривой Рог: 2010. – 278 с.
4. Иванов В.С., Винивитин Д.В., Назаренко М.В., Хоменко С.А. Опыт использования ГИС K-MINE в задачах календарного планирования горного производства в условиях ОАО «Полтавский ГОК» / В.С. Иванов, Д.В. Винивитин, М.В. Назаренко, С.А. Хоменко, Материалы 11-го международного симпозиума «Вопросы осушения, геологии и геоинформатики, горных работ, геомеханики, промышленной гидротехники и обогащения», Белгород, 22-33 мая 2011 г. – с. 154-161