

*А. Н. Гришин<sup>1</sup>, В. С. Писарев<sup>1</sup>, В. Е. Терещенко<sup>1\*</sup>, А. В. Бушуев<sup>1,2</sup>*

## **Программное обеспечение при производстве взрывных работ на открытых горных разработках**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО «Горно-добывающая компания», г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: v.e.tereshenko@sgugit.ru

**Аннотация.** Проанализировано текущее состояние вопроса проектирования буровзрывных работ (БВР) на открытых горных разработках. Выполнен анализ программных продуктов класса ГГИС (горно-геологические информационные системы) для проектирования БВР. Отмечены особенности проектирования взрывных работ с помощью различного зарубежного и отечественного программного обеспечения (ПО). Рассмотрены их преимущества и недостатки, а также приведены примеры их использования в практической деятельности. Приведены примеры внедрения различного ПО для проектирования и производства БВР на отечественных горных предприятиях. Освещены функции и особенности таких программных продуктов, как: Mine Frame, Геомикс, Blast Maker, K-Mine, Micromine, Data Blast. Сделаны выводы о применении иностранного специализированного ПО при проектировании взрывных работ в условиях сокращения численности зарубежных компаний-разработчиков на российском рынке и развития импортозамещения в данной отрасли.

**Ключевые слова:** горно-геологические информационные системы, программное обеспечение, буровзрывные работы, взрывчатые вещества, системы инициирования, открытая горная разработка, правила безопасности

*A. N. Grishin<sup>1</sup>, V. S. Pisarev<sup>1</sup>, V. E. Tereshchenko<sup>1\*</sup>, A. V. Bushuev<sup>1,2</sup>*

## **Software user in the production of blasting operations in open-pit mining**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Mining Company LLC, Novosibirsk, Russian Federation

\*e-mail: v.e.tereshenko@sgugit.ru

**Abstract.** The current state of the issue of drilling and blasting (D&B) design in open-pit mining has been analyzed. The analysis of software of the mining and geological information systems class for the D&B design was carried out. The features of designing D&B operations with the help of various foreign and Russian software are noted. Their advantages and disadvantages are considered. Examples of use in practice are given. Examples of the implementation of various software for the design and production of D&B work at Russian mining company are given. The functions and features of such software products as: Mine Frame, Geomix, Blast Maker, K-Mine, Micromine, Data Blast in this article are highlighted. Conclusions are drawn about the use of foreign software in the design of D&B operations in the face of a reduction foreign development companies in the Russian market. Conclusions are also drawn about the development of import substitution in this industry.

**Keywords:** mining and geological information systems, software, drilling and blasting, explosives, initiation systems, open-pit mining, safety rules

## *Введение*

Российская Федерация обладает мощной горнодобывающей промышленностью. Открытым способом добывается более половины полезных ископаемых [1]. Буровзрывные работы (БВР) являются основным способом разрушения горного массива [2]. От эффективности ведения БВР зависит эффективность работы всего горнодобывающего предприятия. Кроме применения современных взрывчатых материалов (ВМ) и оборудования, эффективность буровзрывных работ можно повысить путем внедрения в производственный процесс горно-геологических информационных систем (ГГИС).

На рынке имеется широкий спектр программных продуктов ГГИС [3, 4]. Перед каждым горнодобывающим предприятием стоит сложная задача оптимального выбора ПО. Результаты исследований, касающихся рассмотрения функций наиболее популярных в России программных продуктов ГГИС класса, представлены в источниках [5–8] и других работах.

На сегодняшний день особенно актуальным является вопрос импортозамещения. Он касается также программного обеспечения. Многие компании-разработчики специализированного ПО для проектирования и производства буровзрывных работ (БВР) в настоящее время покидают российский рынок. Прекращается поддержка и обновление ПО, что существенно затрудняет его применение на практике.

Цель данной статьи – проанализировать наиболее популярные программные продукты для проектирования и ведения БВР на открытых разработках, получившие наибольшее распространение в отечественных горных предприятиях. Это особенно актуально в свете затруднения или невозможности использования иностранных программ обработки данных для производства БВР.

## *Состояние вопроса*

За последние три десятка лет на горных предприятиях, включая российские, внедрение программного обеспечения для автоматизации процессов проектирования и производства массовых взрывов значительно выросло. Одни программы разработаны отечественными компаниями (Mine Frame, Геомик [9,10]), другие – зарубежными (Micromine, GEOVIA Surpac, Datamine и др.) [11].

Соответствие зарубежных ГГИС отечественным технологиям и требованиям безопасности является основным фактором, влияющим на успешное применение этих программных продуктов на наших горных предприятиях [12].

В последние десятилетия российские горнодобывающие предприятия активно заимствовали зарубежные технологии. В настоящее время используются типы взрывчатых веществ (ВВ) и средств инициирования (СИ), не применявшиеся ранее. Сейчас при проектировании схем короткозамедленного взрывания на открытых выработках используют методику, разработанную фирмой Дино-Нобель на рубеже 60-70-х годов прошлого столетия [13, 14].

Эта методика значительно отличается от той, которая была создана в нашей стране [15, 16]. Также, существует большая разница в определении безопасных

расстояний [17]. В соответствии с принятой в России методикой [18], разлет кусков породы в метрах рассчитывают по формуле:

$$r_{\text{разл}} = 1250\eta_3 \sqrt{\frac{f}{1+\eta_{\text{заб}}}} \cdot \sqrt{\frac{d}{a}}, \quad (1)$$

где  $\eta_3$  – коэффициент заполнения скважины взрывчатым веществом;  
 $\eta_{\text{заб}}$  – коэффициент заполнения скважины забойкой;  
 $f$  – коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова;  
 $d$  – диаметр взрываваемой скважины, м;  
 $a$  – расстояние между скважинами в ряду или между рядами, м.

В соответствии с [17] максимальный радиус разлета кусков породы в метрах определяют по формуле:

$$R_{\text{max}} = 260d^{2/3}, \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр скважины.

Сейсмическое воздействие также оценивается по-разному. В соответствии с [18], сейсмически безопасное расстояние определяют по формуле:

$$r_c = \frac{K_g K_c a}{N^{1/4}} \cdot Q^{1/3}, \quad (3)$$

где  $K_g$  – коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого сооружения;

$K_c$  – коэффициент, зависящий от типа сооружения и характера застройки;

$a$  – коэффициент, зависящий от условий взрывания;

$Q$  – масса заряда, кг;

$N$  – число зарядов взрывчатых веществ.

За рубежом за основу берут показатель PPV (peak particle velocity – максимальная скорость колебания грунта) [19]. Этот показатель может быть рассчитан по различным формулам.

Например, в источнике [20] максимальная скорость колебания грунта определяется по формуле:

$$PPV = K \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-B}, \quad (4)$$

где  $K$  – постоянная передачи горных пород;  $R$  – расстояние между местом взрыва и охраняемым объектом (зданием, сооружением) (м);  $W$  – максимальная мгновенная масса заряда (кг);  $B$  – показатель затухания.

Указанные различия демонстрируют необходимость адаптации зарубежных ГГИС к существующим условиям в нашей стране. Ниже рассмотрены некоторые

программные продукты для автоматизированного расчета БВР на открытых горных разработках.

ГГИС **Mine Frame** – программный комплекс, созданный в России. Он разработан с учетом технологической культуры, сложившейся в большинстве отечественных горных организаций [21]. Как правило, фактические параметры БВР принимают по результатам необходимого количества экспериментальных взрывов. Причина, по которой необходимо время от времени опытным путем определять взрывные параметры – это неоднородный состав массива, меняющиеся горно-геологические характеристики [22, 23]. Включенные в Mine Frame алгоритмы рассчитывают параметры БВР исходя из энергетических и геометрических характеристик зарядов, а также упруго-прочностных характеристик горных пород.

Размещение скважин первого ряда на взрывааемом блоке является задачей с различными вариантами ее решения. Задачу преодоления завышенной линии сопротивления по подошве (ЛСПП) можно решить различными способами: от применения спаренных скважин до «подбурков». Выбор способа зависит от сложившейся на каждом предприятии практики и имеющихся возможностей. Заложенные в Mine Frame алгоритмы учитывают технологические особенности предприятия (рис. 1).

Ряды скважин могут быть размещаться строго по сетке, или каждая скважина расставляется индивидуально (рис. 2).

На рис. 3 показано расположение горной массы после взрыва, сформированное в программе Mine Frame.

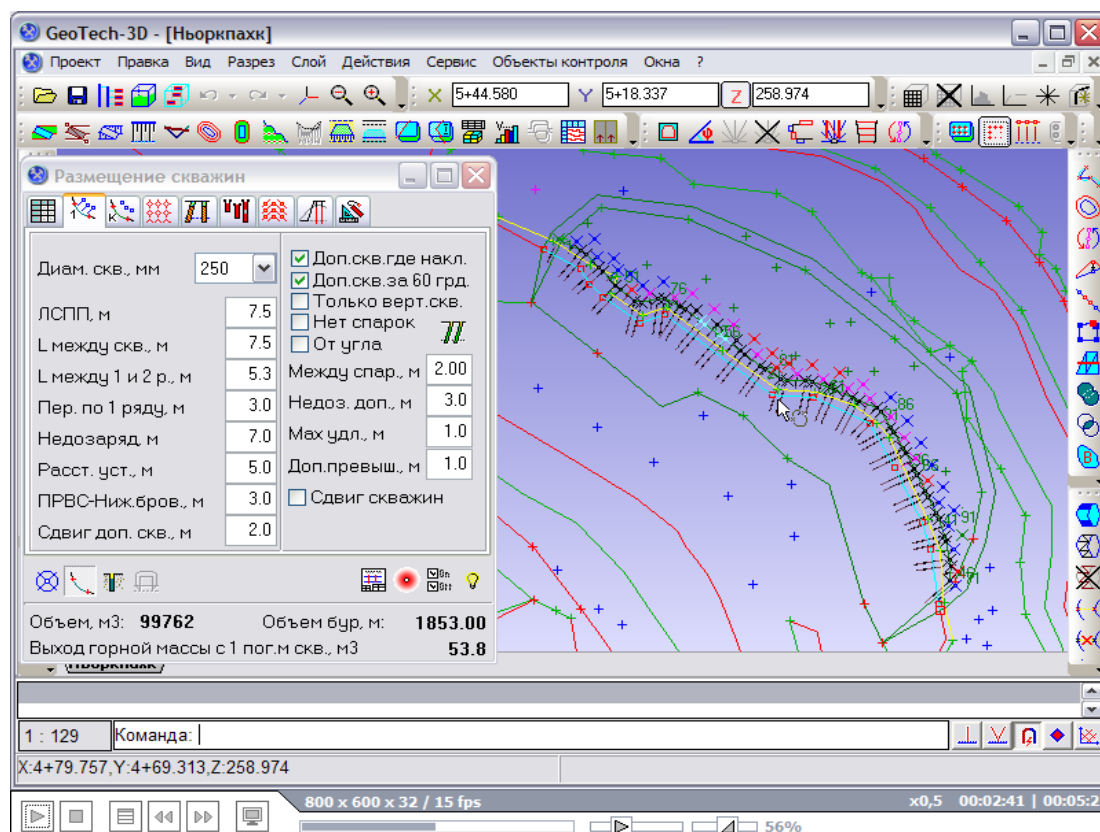


Рис. 1. ПО Mine Frame. Размещение скважин первого и второго рядов

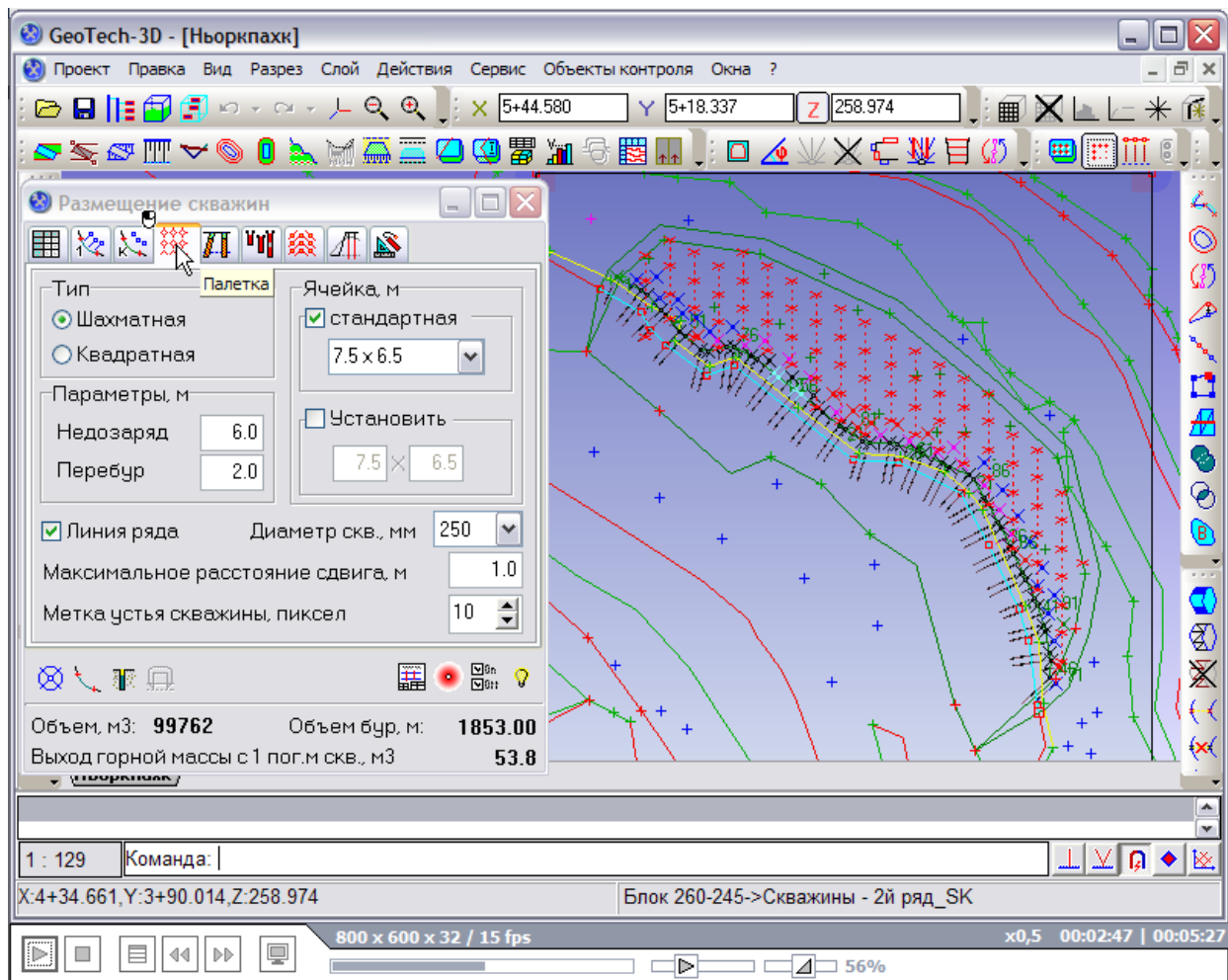
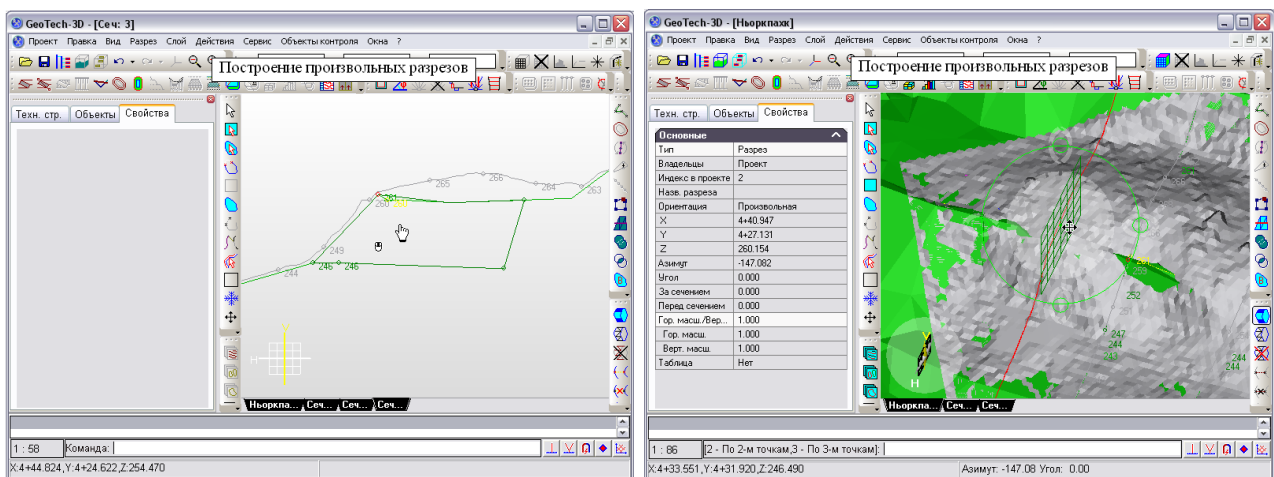


Рис. 2. ПО Mine Frame. Размещение скважин по палетке



а)

б)

Рис. 3. ПО Mine Frame. Сечение развала в произвольной плоскости  
а) форма развала; б) сечение развала

Ряд инструментов позволяет формировать конструкцию скважинных зарядов и производить расчет их параметров. В автоматическом режиме можно создавать схему короткозамедленного взрывания (КЗВ), текстовые и графические документы в соответствии с требованиями [18], в том числе границы безопасных зон на плане карьера.

Решение о применении ГГИС Mine Frame было принято многими горными компаниями: ОАО «Апатит», ОАО «Айхальский ГОК» и др.

В ГГИС **Геомикс** также имеется возможность разметки скважин разными способами: как индивидуально, так по сетке [24, 25] (рис. 4).

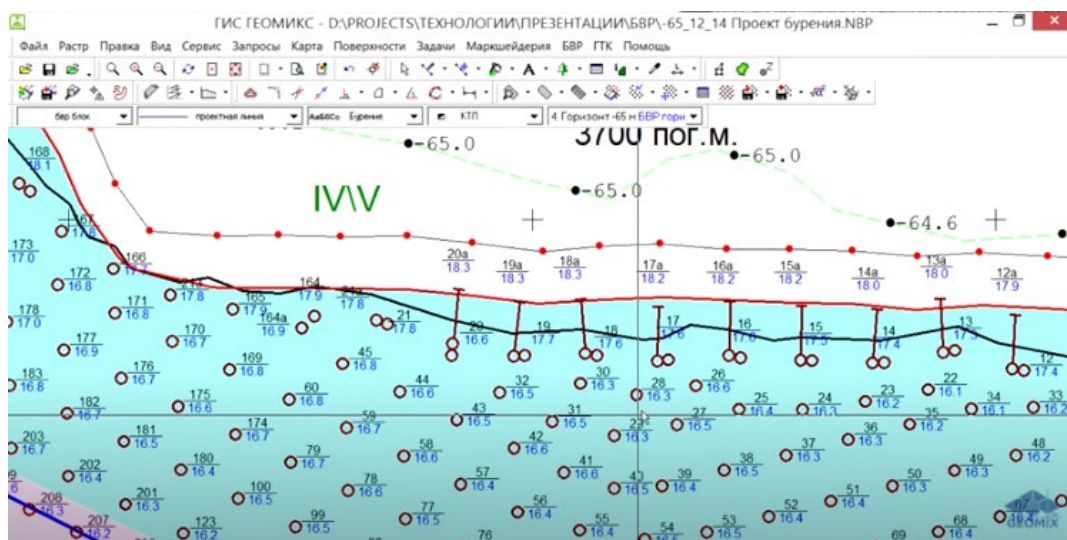


Рис. 4. ПО Геомикс. Размещение взрывных скважин первого и последующих рядов

Для бурения взрывных скважин используется система глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Схема КЗВ формируется по результатам поступающих сведений о забуренных скважинах (рис. 5).

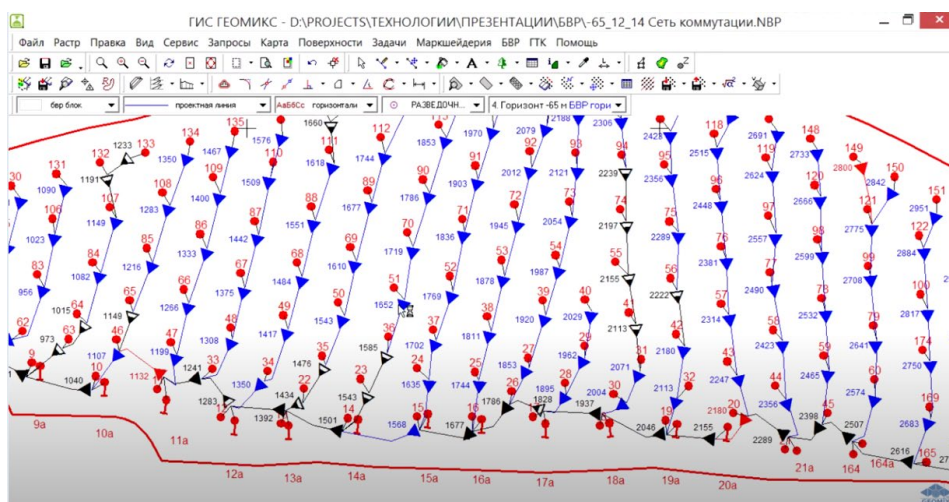


Рис. 5. ПО Геомикс. Схема монтажа взрывной сети

ГГИС Геомикс внедрена на Олимпиадинском, Ковдорском, Донском горно-обогатительных комбинатах и других крупных предприятиях.

В ГГИС **K-Mine** могут быть в том числе решены задачи проектирования БВР [26].

До расстановки скважин выделяют блок и загружают геологическую информацию (рис. 6).

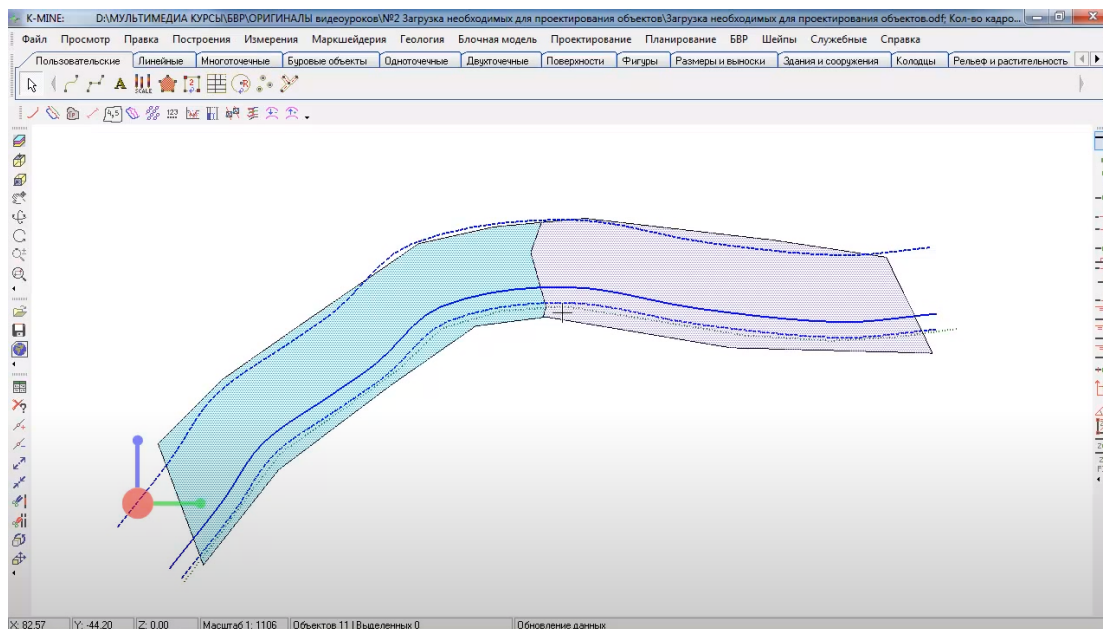


Рис. 6. ПО K-Mine. Контур разделенного на части в соответствии с геологическими особенностями взрываемого блока

Для построения рядов скважин могут быть использованы различные инструменты, в том числе вручную (рис. 7).

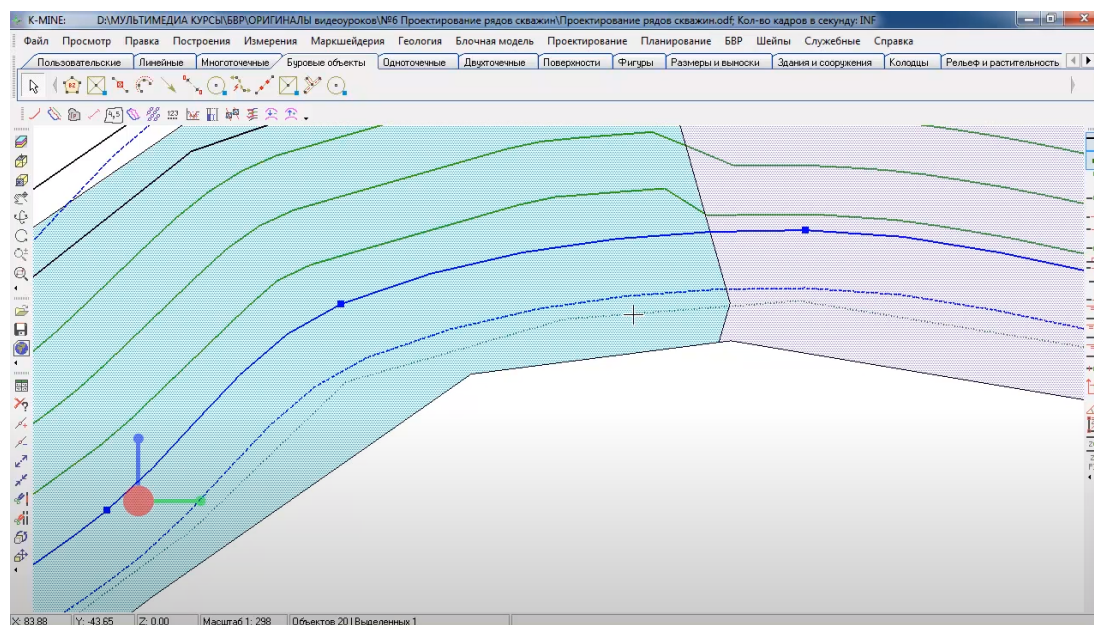


Рис. 7. ПО K-Mine. Построение первого и последующих рядов скважин

Имеется возможность корректировки контура ряда скважин для того, чтобы последующие ряды повторяли контур измененного ряда (рис. 8).

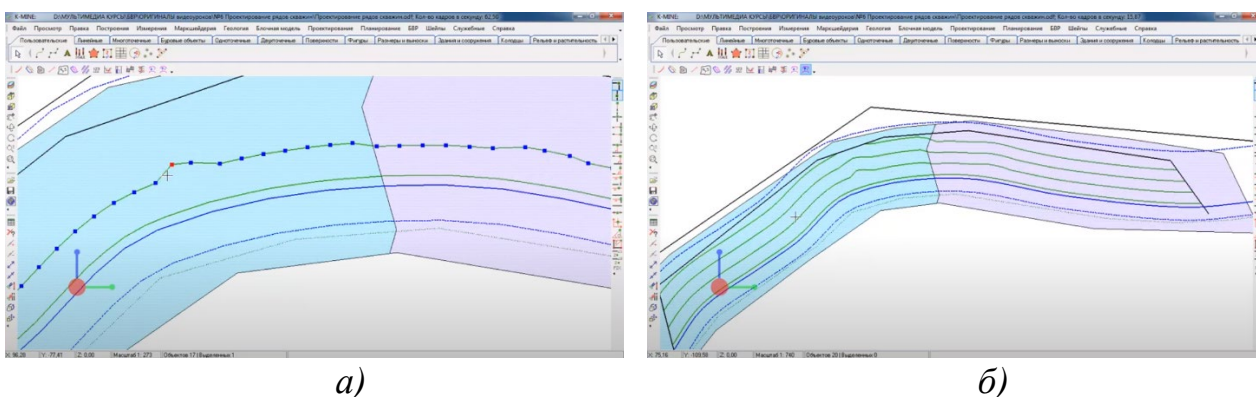


Рис. 8. ПО К-Mine. Проектирование контура ряда скважин  
(а) процесс корректировки ряда скважин, (б) построение последующих рядов

В настройках указывают расстояние между верхней бровкой уступа и скважинами первого ряда, а также ЛСПП. Программа предусматривает возможность размещения спаренных скважин.

В ГГИС К-Mine паспорта бурения разрабатывают применительно к имеющимся типам горных пород. На рис. 9 приведен пример расстановки скважин по индивидуальным паспортам для каждой геологической разновидности в соответствии с установленными параметрами «по сетке».

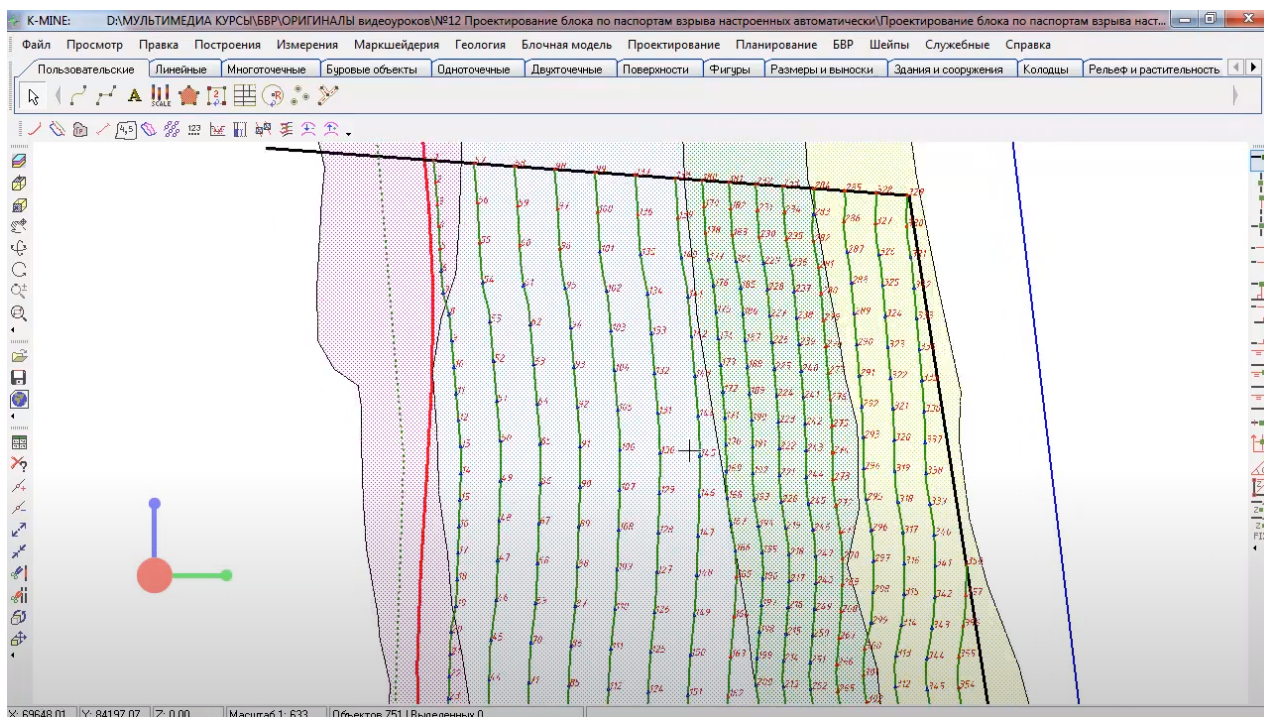


Рис. 9. ПО К-Mine. Расстановка скважин по сетке



На рисунке видно, что разным горным породам соответствует сетка с различным расстоянием между скважинами.

Для расчета зарядов используется справочная информация, в т. ч. справочник конструкций зарядов (рис. 10).

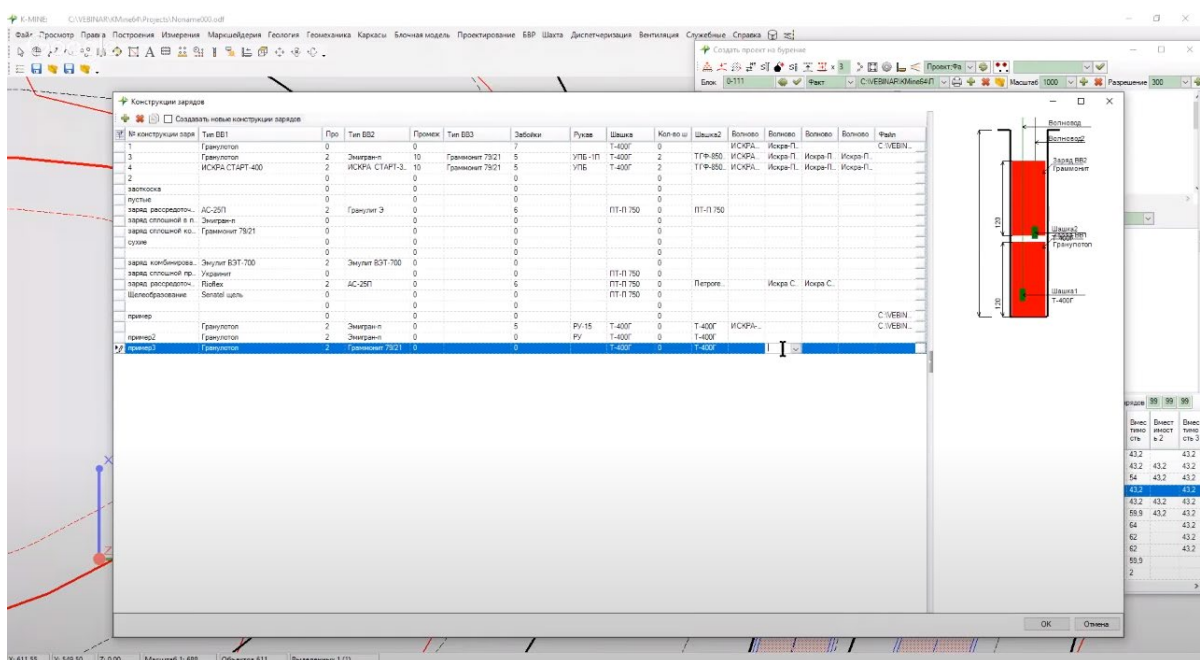


Рис. 10. ПО К-Mine. Создание и расчет скважинных зарядов

Для расчета замедлений можно использовать инструмент «Визуализация взрыва», который определяет время замедления, строит линии отрыва, рассчитывает безопасные зоны и т. д. Для создания схемы монтажа взрывной сети можно воспользоваться инструментом «Создать линии коммутации с параметрами» (рис. 11).

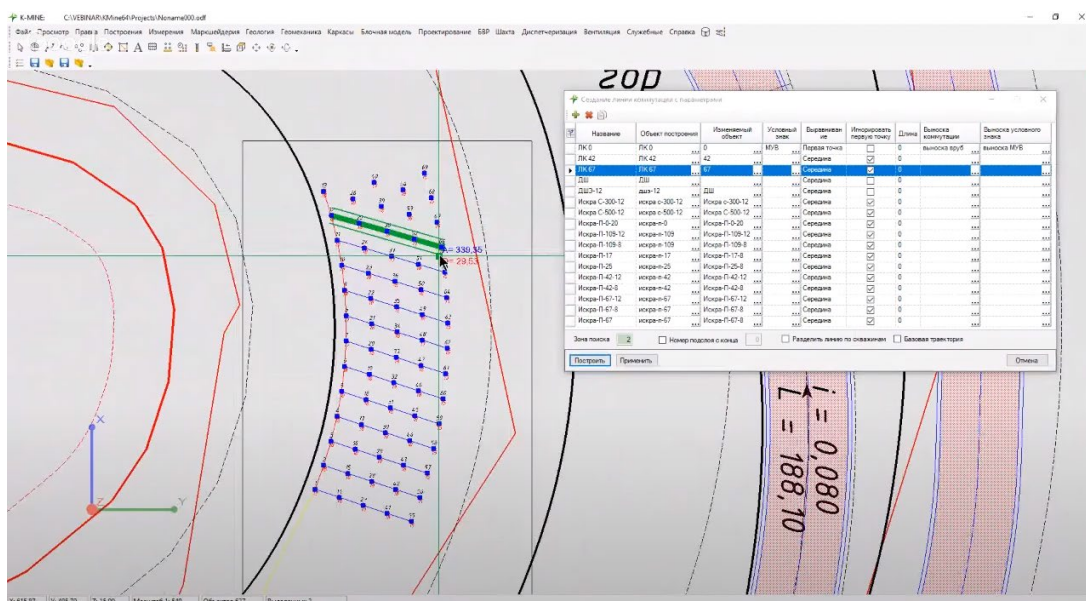


Рис. 11. ПО К-Mine. Построение схемы монтажа взрывной сети

В связи с введенными ограничениями компания, разрабатывающая и поддерживающая данное ПО, ушла из России. Поэтому на сегодняшний день перспектива дальнейшего использования и внедрения его на новых карьерах и разрезах в нашей стране под вопросом.

Кроме вышеприведенных программных продуктов, созданных в России и странах СНГ, на отечественных горнодобывающих предприятиях применяются ГГИС зарубежного происхождения. Например, ГГИС **Micromine** [29] и **Data Blast**. Такие ПО стали популярными благодаря эффективной маркетинговой политике, привлекательному соотношению цены и качества. Специализированные инструменты для проектирования буровзрывных работ позволяют полностью автоматизировать проектирование БВР на открытых разработках.

ГГИС **Micromine** изначально применялась для решения геолого-маркшейдерских задач на горных предприятиях. В последние годы активно развивается технологический блок. С помощью инструментов БВР можно, например, определить ЛСПП по каждой скважине первого ряда, оптимизировать размещение скважин на взрываемом блоке, вывести шаблон конструкции заряда, запроектировать схему КЗВ.

К числу компаний, которые приняли решение об использовании ГГИС **Micromine** относятся подразделения ПАО «Норильский никель» и другие горнодобывающие предприятия.

**Data Blast** является разработкой компании **Datamine**, одного из ведущих мировых разработчиков технологий для управления горным производством. **Data Blast** – это специализированная программа, имеющая в своем составе 6 модулей, использование которых позволяет охватить весь процесс БВР на открытых горных разработках от проектирования до выполнения работ на взрываемом блоке. При создании специализированной программы **I-Blast** использовались последние достижения в геомеханике, физике взрыва, термодинамике и других связанных с промышленными взрывами областях наук. Наибольший эффект достигается при применении этой программы в комплексе с высокотехнологичным оборудованием, разработанным для регистрации процесса протекания взрывов и его результатов (сейсмографы, высокоскоростные видеокамеры, беспилотные летательные аппараты и др. аппаратура). Для работы с цифровыми моделями возможен импорт-экспорт данных в используемые на предприятии ГГИС. С данной программой связаны планы Оленегорского горно-обогатительного комбината ПАО «Северсталь» по оптимизации затрат на буровзрывные работы.

Однако в настоящее время заключение договоров на использование зарубежных программных продуктов на отечественных горных предприятиях связано с рисками. Во-первых, нет гарантии что такие программные продукты продолжат корректно работать и получать обновления, включая обновления, связанные с безопасностью данных; во-вторых, нет гарантий, что алгоритмы ПО не настроены таким образом, чтобы исключить передачу сведений об объектах горной промышленности за рубеж. Эти факторы должны существенно влиять на выбор ПО при производстве буровзрывных работ.

## Заключение

Рассмотренные выше программные продукты имеют много общего. Различия заключаются в применении разных методик и теоретических положений при разработке буровзрывных алгоритмов.

Неоднородность взрываемого массива – это главное, что осложняет проектирование БВР. Использование такого показателя, как акустическое сопротивление породы, является одним из способов решения этой проблемы [22, 23]. Существуют методики, позволяющие рассчитывать буровзрывные параметры с учетом этого показателя. В этом случае необходимо уметь правильно определять акустическое сопротивление между соседними скважинными зарядами на всем взрываемом блоке.

Другой подход заключается в регистрации изменений свойств пород по данным энергоемкости бурения скважин.

Оба подхода нуждаются в проведении дальнейших широкомасштабных исследований.

Не менее важный вопрос – это вопрос импортозамещения специализированного ПО. На сегодняшний день Россия в мире не является аутсайдером в разработке и развитии специализированного ПО в горнодобывающей отрасли. Такие компании как ООО «ГЕОМИКС» или ООО «Лаборатория Майнфрэйм», занимающиеся разработкой, поддержкой и развитием одноименного ПО, составляют существенную конкуренцию зарубежным аналогам.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельников Н. Н., Решетняк С. П., Козырев А. А. и др. О перспективных направлениях развития открытых горных работ // Труды международной конференции «Проблемы и перспективы развития горных наук» (Новосибирск, 1–5 ноября 2004 г.). Т. II. «Машиноведение. Геотехнологии». – Новосибирск: Изд-во Института горного дела СО РАН, 2006.
2. Викторов С. Д., Кутузов Б. Н., Закалинский В. М. Стратегия эффективного развития взрывных работ в России // Горный журнал. – 2010. – № 4. – С. 56–59.
3. Наговицын О. В., Лукичев С. В. Горно-геологические информационные системы, область применения и особенности построения // ГИАБ. – 2016. – № 7. – С. 71–83.
4. Шек В. М., Конкин Е. А. Открытые программные системы с применением геоинформационных технологий в горной промышленности // Программные продукты и системы. – 2007. – № 1. – С. 18–21.
5. Оганесян А. С., Агафонов В. В. Основные проблемы внедрения информационных систем для решения экономических и технологических задач горнодобывающей отрасли промышленности // ГИАБ. – 2011. – № S6. – С. 614–622.
6. Орешкин С. А., Корнилов М. Ф., Кадыров Э. Д., Данилова Н. В. Анализ интеграции информационных систем в горно-перерабатывающей промышленности // Записки Горного института. – 2008. – Т. 177. – С. 17–22.
7. Лотоус В. В., Бывалин С. С., Мельников А. Н., Собко Б. Е., Русак И. С. Оценка эффективности инвестирования проектов развития геоинформационных технологий // Горный журнал. – 2010. – № 1. – С. 28–30.
8. Наговицын О. В., Лукичев С. В. Современное состояние и перспективы развития горно-геологических информационных систем // ГИАБ. – 2017. – Спец. выпуск 23. – С. 53–67.
9. Лукичев С. В. Компьютерные технологии для комплексного решения задач освоения и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых – стр. 110. Информационные

технологии в горном деле: доклады Всероссийской научной конференции с международным участием. 12-14 октября 2011г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – 238 с.

10. Герасимов А.В. Компьютерная технология геолого-маркшейдерского обеспечения и проектирования буровзрывных работ на карьерах // ГИАБ. – 2004. – № 5. – С. 108–111.

11. Беляков Н. Н. Моделирование открытых горных работ // ГИАБ. – 2014. – № 12. – С. 45-51.

12. Аленичев В. М., Суханов В. И. Перспективы внедрения горно-геологических информационных систем на отечественных горных предприятиях // ГИАБ. – 2016. – № 8. – С. 5–15.

13. Описание системы «Нонель» [Электронное издание]. – Швеция: фирма «Дино-Нобель», 1998-08. – Режим доступа: [http://striletsa.ucoz.ru/\\_ld/0/5\\_\\_NONEL\\_.pdf](http://striletsa.ucoz.ru/_ld/0/5__NONEL_.pdf).

14. John Read, Peter Stacey. Guidelines for Open Pit Slope Design. Published November 18, 2009 by CRC Press 510 Pages.

15. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности. – М.: Недра, 1972. – 240 с.

16. Кутузов Б. Н., Скоробогатов В. М., Ефремов И. Е. и др. Справочник взрывника / Под общей ред. Б. Н. Кутузова – М.: Недра, 1988. – 511 с.

17. Per-Anders Persson, Roger Holmberg, Jaimin Lee. Rock Blasting and Explosives Engineering. Published CRC Press. – 1994. – 560 p.

18. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения". Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 декабря 2020 года № 494.

19. G G U Aldas. Explosive charge mass and peak particle velocity (PPV) – frequency relation in mining blast // Journal of Geophysics and Engineering. – 2010. – № 7. – С. 223–231.

20. Double Deck Blasting for Rapid Tunnel Advance in Hong Kong / Osamu Iwata [et al.] // The Journal of Explosives Engineers. – 2013. – № 4. – С. 6–14.

21. Наговицын О. В., Лукичев С. В., Алисов А. Ю. Решение задач проектирования и планирования открытых горных работ в системе Mineframe // Записки Горного института. – 2012. – Т. 198. – С. 49–54.

22. Опарин В. Н., Юшкин В. Ф., Гришин А. Н., Богатырев А. В., Пороховский Н. Н., Рублев Д. Е. О перспективных направлениях использования экспериментальных данных сейсмо-деформационного мониторинга в буровзрывных работах на карьерах // ГИАБ. – 2019. – № 7. – С. 104–122.

23. Rossmannith H. P. The use of Lagrange diagrams in precise initiation blasting // Part I: Two interacting boreholes. Fragblast. – 2002. – Vol. 6, № 1. – С. 104–136.

24. Виноградов А. И., Иванов А. С., Герасимов А. В., Овсянников А. Н. Геолого-маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ на карьерах с применением горно-геологической информационной системы ГИС Геомикс // Черная металлургия. – 2015. – № 10. – С. 32–34.

25. Волков Ю. И., Серый С. С., Дунаев В. А., Герасимов А.В. ГИС ГЕОМИКС для горной промышленности России и Казахстана // Горный журнал. – 2015. – № 5. – С. 32–34.

26. Назаренко В. М., Назаренко М. В., Хоменко С. А. Новые подходы при создании автоматизированных систем управления горными работами на базе геоинформационной системы K-Mine // ГИАБ. – 2013. – № 6. – С. 155–168.

27. Басаргин А. А. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий // Вестник СГГА. – 2014. – № 1 (25). – С. 31–35.

© А. Н. Гришин, В. С. Писарев, В. Е. Терещенко, А. В. Бушуев, 2024