

УДК 622.235 : 004.42

**С.В. Лукичёв, А.В. Корниенко**

## **ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

*Представлены разработанные программные средства системы MineFrame для проектирования карьерных массовых взрывов, отражены результаты внедрения данных средств на ряде горнодобывающих предприятий, обозначены перспективы дальнейшего развития.*

*Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, буровзрывные работы, проектирование массовых взрывов, система MineFrame, открытые горные работы, зоны регулируемого дробления, моделирование раз渲а.*

---

**3** начительная часть месторождений полезных ископаемых (ПИ) России разрабатывается открытым способом, при котором в процессе рудоподготовки применяется взрывное разрушение горных пород (ГП) с использованием массовых взрывов (МВ). При этом буровзрывные работы (БВР) являются весьма трудоёмким и ответственным процессом как с точки зрения их проектирования, так и реализации в промышленных условиях.

Затраты на выемку и транспортировку горной массы во многом зависят от качества выполнения БВР, доля же последних в себестоимости руды может достигать 30%. На результаты дробления горной массы оказывают влияние как условия взрывания (к основным из них относятся: упруго-прочностные характеристики и трещиноватость массива ГП, геометрия уступа), так и технологические факторы (конструкция скважинных зарядов, средства их инициирования, параметры размещения скважин на площадке взрывного блока и схема их коммутации).

Качество взрывной подготовки горной массы во многом зависит от степени учёта вышеперечисленных условий и факторов уже на стадии проектирования МВ, из чего следует, что при проектировании необходим максимально полный учёт той исходной информации, которая оказывает определяющее влияние на результаты взрывного дробления, что возможно лишь на основе моделирования условий взрывания и параметров разрушения.

Прежде чем перейти к описанию программных средств, реализующих перечисленные выше условия и факторы, рассмотрим стадии проектирования МВ, которые включают в себя:

Определение границ взрывного блока на участке карьера. На данной стадии выполняется расчёт объёма взрывного блока, и, при наличии данных геологического опробования, содержание ПИ в нём.

Размещение скважин в границах взрывного блока. Данная стадия является весьма трудоёмкой ввиду необходимости максимального учёта условий взрывания и технологических ограничений.

Формирование графической документации по взрывному блоку. На данной стадии оформляются чертежи с указанием местоположения каждой скважины, их номеров, длин и углов наклона.

Уточнение местоположения пробуренных взрывных скважин на основе данных маркшейдерской съёмки координат устьев взрывных скважин и определения их длин, углов наклона и азимутов.

Расчёт параметров скважинных зарядов. На данной стадии определяется масса каждого скважинного заряда и уточняется его конструкция.

Формирование схемы коммутации скважинных зарядов. На этой стадии происходит объединение зарядов в группы по интервалам замедления, рассчитывается время взрыва и определяется масса ВВ на каждую ступень замедления.

Формирование технологической документации по МВ, в рамках которой готовятся текстовые и графические документы, в объеме, необходимом для реализации проектных решений.

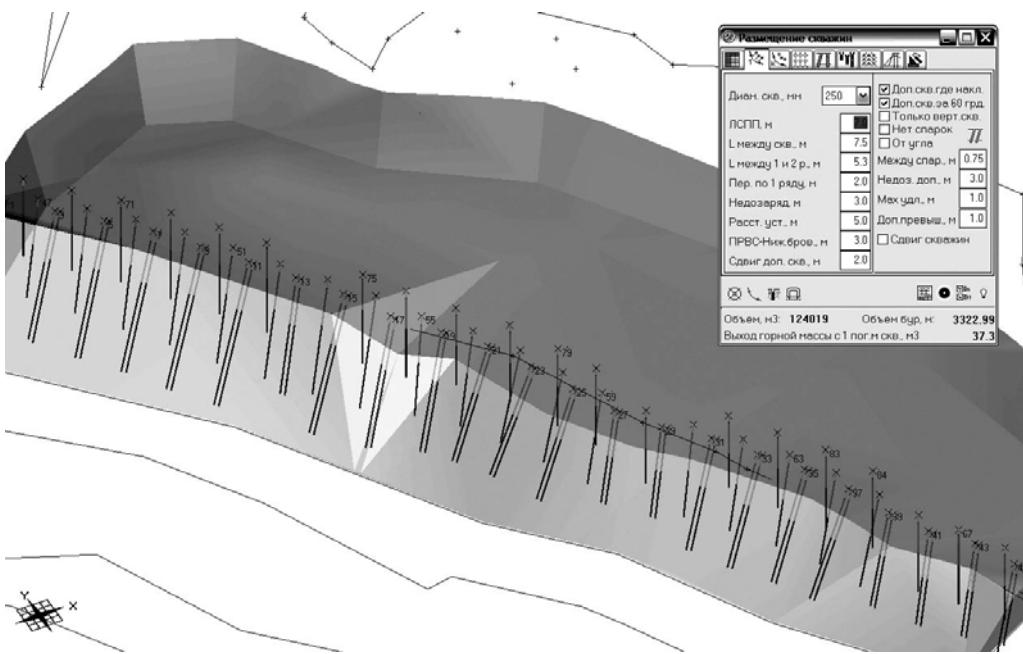
Исходя из вышеизложенного ясно, что при проектировании МВ важным является организация режима оперативного взаимодействия маркшейдерского, геологического и технического отделов предприятия. В наибольшей степени средствами для организации такого режима взаимодействия обладают горные интегрированные системы, основанные на использовании баз данных коллективного доступа.

Проектирование МВ основано на геолого-маркшейдерской информации, следовательно, такие системы должны обладать также развитыми средствами автоматизации решения геолого-маркшейдерских задач. Ввиду многообразия условий взрыва, моделируемых соответствующими объ-

ектами, горные интегрированные системы должны предоставлять мощные средства визуализации этих объектов и удобные инструменты управления ими. Перечисленным выше требованиям в полной мере соответствует система MINEFRAME, предоставляющая инструментальные средства для формирования компьютерной технологии инженерного обеспечения горных работ [1]. Подсистема проектирования МВ для открытых горных работ, рассматриваемая в данной статье, реализована на базе графического редактора GeoTech-3D системы MINEFRAME. Ниже будет рассмотрена реализация основных стадий автоматизированного проектирования МВ в этой системе.

Создание модели взрывного блока осуществляется на участке карьера, представленного каркасной моделью его поверхности. Результатом построения является трёхмерная модель, содержащая информацию о геометрии взрывного блока и пространственном распределении в его границах ПИ (при наличии геологической модели месторождения). Для моделирования распределения ПИ в пространстве используется блочная модель, которая также может нести информацию об упруго-прочных характеристиках и иных свойствах массива. Объём горной массы и содержание ПИ во взрывном блоке рассчитываются автоматически.

Весьма трудоёмкой стадией проектирования взрывного блока является размещение первого ряда взрывных скважин, обеспечивающих дробление и подвижку горной массы вблизи откоса уступа (рис. 1). Сложность размещения скважин первого ряда обусловлена, зачастую, изрезанностью линии уступа, возникающей в силу отклонения фактических параметров МВ от проектных, и наличием ряда

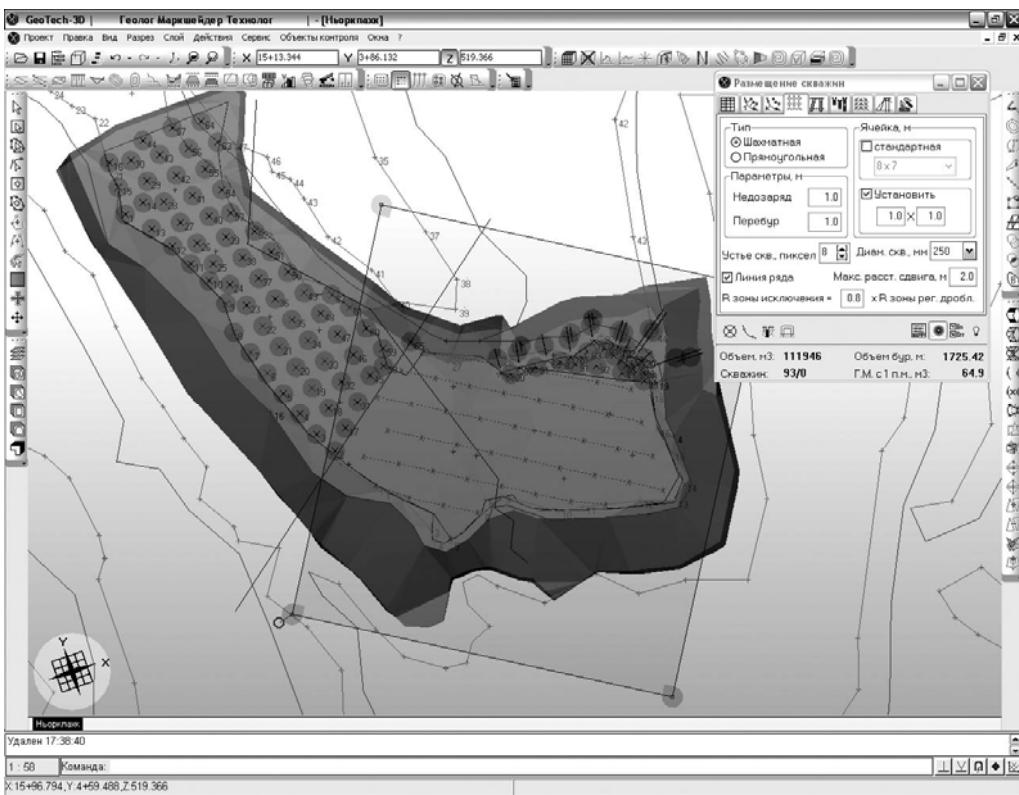


**Рис. 1. Средства автоматизированного построения моделей первого и второго ряда взрывных скважин**

технологических ограничений (допустимые углы наклона скважин, ограничения на размещение буровых станков). Разработанные алгоритм и программные средства размещения скважин первого ряда на основе эквидистантного контура позволяют в полной мере учсть как геометрические особенности, так и технологические ограничения. При этом предусмотрены варианты размещение скважин при взрывании на неубранную горную массу (подпорную стенку). Выбор угла наклона и количества сближенных скважин может осуществляться на основе расчёта, реализованного в алгоритме расчёта линии наименьшего сопротивления, или типового паспорта БВР конкретного предприятия. В случае необходимости выполняется автоматическое размещение скважин второго ряда, создающих условия для перехода к регулярной сетке взрывных

скважин с достижением требуемых параметров дробления.

Основной объем дробления осуществляется отбойными скважинами, формирующими регулярную сетку. Параметры размещения скважин (расстояние между скважинами и их рядами, величины перебора и недозаряда) определяются упруго-прочностными характеристиками и трещиноватостью массива (или его интегральной характеристикой - категорией пород по взрываемости), геометрическими размерами заряда и высотой уступа. В целях повышения безопасности ведения буровых работ, при размещении скважин на площадке взрывного блока учитываются также «следы» скважин от взрывных работ на вышележащем уступе. Для автоматизации процесса размещения отбойных скважин разработаны инструментальные средства, представляющие собой интерактивно управляемую «электронную



**Рис. 2. Автоматизированное размещение взрывных скважин с использованием инструмента «электронная палетка»**

палетку», обеспечивающую автоматическое изменение местоположения моделей взрывных скважин в случае их попадания в окрестности «следов» или приближение к уже сформированным моделям скважин на расстояние меньше допустимого. Для решения задачи повышения равномерности разрушения массива ГП используются алгоритмы расчета зон регулируемого дробления, местоположение которых в пространстве и размер дают необходимую информацию для автоматической корректировки местоположения взрывных скважин. Следует отметить, что разработанные инструментальные средства позволяют размещать скважины по палеткам с различными параметрами в пределах одного взрыв-

ного блока, что соответствует практике ведения БВР в сложных горно-геологических условиях (рис.2).

Буровые работы на взрывном блоке выполняются в соответствии с проектом на бурение скважин, который совместно с зарядной картой и схемой монтажа взрывной сети составляет графическую документацию по МВ. Формирование схем и чертежей выполняется в автоматическом режиме на основе применения технологии экспорта графической информации в AutoCAD. Представление информации в требуемом виде определяется шаблоном, заданным пользователем.

На основе данных маркшейдерских замеров результатов бурения

формируется модель фактических взрывных скважин. Автоматизация данной стадии работы осуществляется программными средствами ввода результатов маркшейдерских замеров, выполненных с использованием электронных измерительных приборов, а также алгоритма автоматического отнесения фактических скважин к проектным по критерию минимального расстояния.

К технологическим факторам, оказывающим влияние на разрушение массива ГП скважинными зарядами, относятся типы применяемых ВВ и конструкции скважинных зарядов. Как правило, на горнодобывающем предприятии применяется несколько конструкций зарядов, используемых для конкретных условий взрываия. В рамках подсистемы автоматизированного проектирования МВ разработаны программные средства формирования типовых конструкций скважинных зарядов, учитывающих пространственное положение элементов конструкции и их характеристики. С целью автоматизации расчётов разработаны алгоритмы установки типовых конструкций в модели скважин различной длины, что позволяет точнее определять радиусы зон регулируемого дробления при размещении скважин в границах взрывного блока.

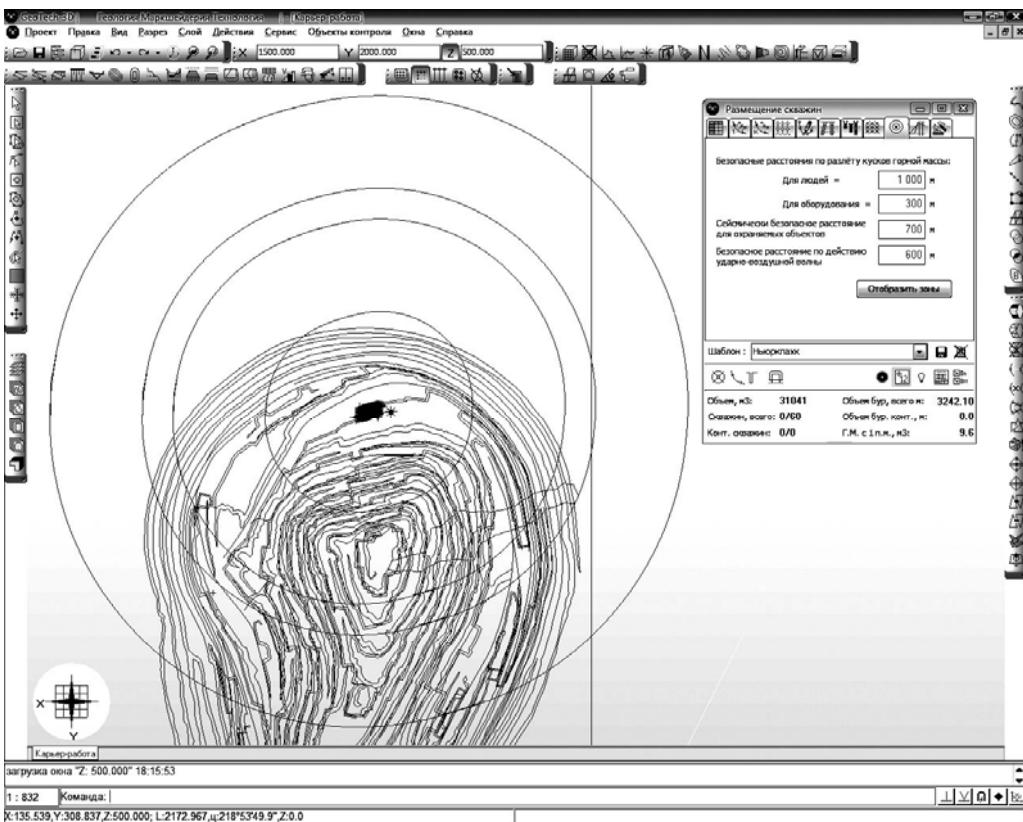
Параметры дробления горной массы и геометрические характеристики раз渲а взрывного блока определяются (помимо энергетических характеристик применяемых ВВ и конструкций зарядов, упрого-прочностных характеристик ГП и пространственного положения взрывных скважин) схемой инициирования скважинных зарядов. С целью автоматизации процесса формирования схем инициирования разработаны алгоритмы и программные средства, позволяющие в автоматическом и интерактивном ре-

жимах создавать схемы любой конфигурации. Для проверки корректности сформированной схемы инициирования предусмотрены средства визуализации последовательности взрываия скважинных зарядов во времени и средства определения массы ВВ, взрываемого в каждой ступени замедления.

Заключительной стадией проектирования МВ является выпуск текстовой технологической документации по МВ (паспорт МВ), основу которой составляют технический расчёт МВ и таблица параметров скважин. Для автоматизации формирования паспортов МВ разработаны инструментальные средства и алгоритмы, основанные на экспорте данных модели взрывного блока на шаблон электронной таблицы Excel. Гибкость такого подхода заключается в возможности автоматизации вычислений параметров как по взрывному блоку в целом, так и по каждой взрывной скважине, с использованием расчётных зависимостей и правил оформления, принятых на предприятии.

Важной составляющей ведения взрывных работ является определение безопасных расстояний по разлёту кусков породы, действию ударно-воздушной волны (УВВ) и сейсмическому воздействию на охраняемые объекты [5]. Для визуализации перечисленных характеристик МВ предусмотрены программные средства отображения каждой из зон на плане карьера (рис. 3).

В настоящее время подсистема САПР БВР системы MINEFRAME внедрена на рудниках ОАО «Апатит» [2], ОАО «Оренбургские минералы» [3] и ОАО «Боксит Тимана» [4]. Примеры проектов МВ, выполненных специалистами данных предприятий, представлены на рис.4, 5.



**Рис. 3. Пример визуализации результатов расчёта опасных зон по разлёту кусков горной массы, УВВ и сейсмическому действию МВ**

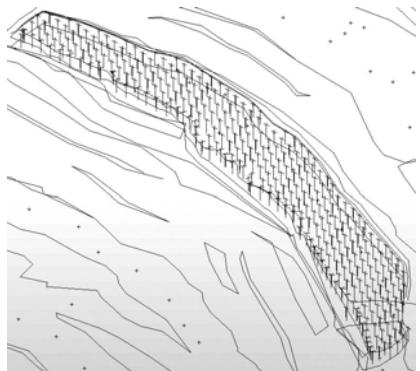
В целом следует отметить, что, несмотря на различные условия ведения взрывных работ и наличие технологических особенностей, переход на автоматизированное проектирование МВ перечисленных предприятий обеспечил:

- оперативный доступ к геологомаркшейдерской и технологической информации, используемой при проектировании МВ;
- более полный учёт условий взрывания и технологических ограничений (ранее подобный учёт был практически невозможен при наличии сотен скважин в проекте МВ);
- наглядность при формировании схемы коммутации и проверке на последовательность срабатывания скважинных зарядов;

– значительное упрощение процедуры выпуска текстовой и графической документации проекта МВ за счёт использования комплекса встроенных в GeoTech-3D средств формирования рабочих чертежей и таблиц;

– возможность накопления в виде архива моделей взрывных блоков (совместно с графической и текстовой информацией) с целью анализа данных по ранее выполненным МВ и использования этой информации в последующих проектах.

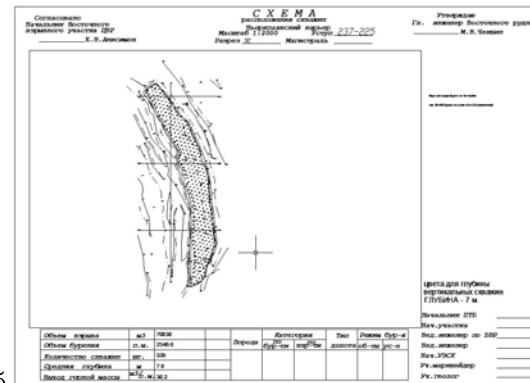
Дальнейшая оптимизация проектных решений основана на результатах моделирования действия многорядного короткозамедленного взрыва скважинных зарядов.



а

ТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ МАССОВОГО ВЗРЫВА									
на блоке №									
горизонта		237-225							
<b>1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ:</b>									
№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Проектные данные	Фактические данные					
1	Объем взорываемого массива	м <sup>3</sup>	70830	70830					
2	Дата горизонта			февраль 2009					
3	Количество скважин	шт.	335	335					
4	Количество рядов	шт.	13	13					
5	Высота уступа	м	12	12					
6	Глубина скважин	м	7.0 - 7.0	7.0 - 7.0					
7	Величина перебора	м	0.0 - 2.0	0.0 - 2.0					
8	Расстояние между скважинами	м	6	6					
9	Расстояние между рядами	м	5	5					
10	Сопротивление по подошве	м	7.0 - 10.0	7.0 - 10.0					
11	Диаметр скважин	мм	250	250					
12	Вес заряда на 1 пог. м. скважин	кг	69	69					
13	Длина забояки	м							
14	Длина заряда	м	1,9	1,9					
15	Вес заряда в скважине	кг	134,5	134,5					
16	Вес взрывчатки	кг							

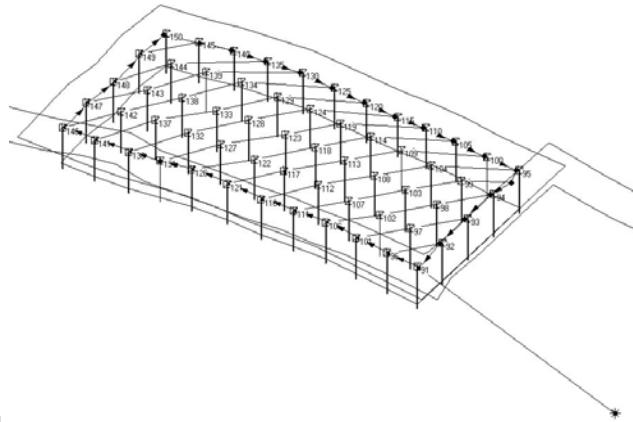
в



б

№ скв.	Угол наклон. (гр.)	Диаметр скважины			Высота уступа			Глубина скважин			Перебор (м)			Высота стопы подъёма (м)			ЛСПП (м)			Расст. между скв. (м)			Расст. между рядами (м)			Масса заряда в скв. без ГД (кг)			Вместимость 1 пог. м скважины		
		р	φ	р	φ	р	φ	р	φ	р	φ	р	φ	р	φ	р	φ	р	φ	р	φ	р	φ	р	φ	р	φ	р	φ		
1	90	250	250	6	6	7	7	1	1			6,04	6,04	6	6	5	5	34,5	0,5	34,5	0,5	69	69								
2	90	250	250	6	6	7	7	1	1			7,04	7,04	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
3	90	250	250	6	6	7	7	1	1			6,26	6,26	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
4	90	250	250	6	6	7	7	1	1			4,78	4,78	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
5	90	250	250	6	6	7	7	1	1			3,76	3,76	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
6	90	250	250	0	0	7	7	7	7			3,69	3,69	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
7	90	250	250	0	0	7	7	7	7			4,05	4,05	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
8	90	250	250	7	7	7	7	0	0			4,93	4,93	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
9	90	250	250	7	7	7	7	0	0			4,34	4,34	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
10	90	250	250	7	7	7	7	0	0			4,29	4,29	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
11	90	250	250	0	0	7	7	7	7			5,76	5,76	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
12	90	250	250	7	7	7	7	0	0			2,81	2,81	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
13	90	250	250	7	7	7	7	0	0			3,85	3,85	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
14	90	250	250	7	7	7	7	0	0			5,48	5,48	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
15	90	250	250	0	0	7	7	7	7			4,87	4,87	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
16	90	250	250	6	6	7	7	1	1			4,44	4,44	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
17	90	250	250	6	6	7	7	1	1			4,31	4,31	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
18	90	250	250	6	6	7	7	1	1			5,04	5,04	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
19	90	250	250	5	5	7	7	2	2			4,45	4,45	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
20	90	250	250	5	5	7	7	2	2			4,23	4,23	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
21	90	250	250	6	6	7	7	1	1			6,19	6,19	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
22	90	250	250	8	8	7	7	0	0			5,09	5,09	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
23	90	250	250	8	8	7	7	0	0			3,95	3,95	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
24	90	250	250	7	7	7	7	0	0			4,38	4,38	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
25	90	250	250	7	7	7	7	0	0			5,33	5,33	6	6	5	5	0	0	0	0	69	69								
26	90	250	250	7	7	7	7	0	0			8,26	8,26	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
27	90	250	250	8	8	7	7	0	0			7,83	7,83	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
28	90	250	250	8	8	7	7	0	0			7,03	7,03	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								
Г	90	250	250	8	8	7	7	0	0			8,35	8,35	6	6	5	5	138	2	138	2	69	69								

**Рис. 4. Проект МВ блока 237-225 от 05.03.2010, Коашвинский карьер Восточного рудника ОАО «Апатит»: а - модель взрывного блока со скважинами, б - проект на бурение скважин, в - таблица параметров взрывных работ, г - технический расчёт МВ**



a

6

## Таблица параметров взрывных работ

## **блок №17+18**

горизонт + 255 м карьера

СБШ №20

Форма 02.04.04-2008

Утверждают:

И.О. главного инженера РУ В.В. Горшков

9 Августа 2010

**ТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ МАССОВОГО ВЗРЫВА**

**1. Общие сведения:** горизонт: + 270 м блок № 17+18 Буровой станок № 22

L<sub>сек</sub> = 17,4 борт: Западный

секпа: а = 8 м; b (W) = 8 м; Кол-во скважин: 73 шт.

**2. Геология и гидрогеология:** Коэф. крепости по проф. Протодьяконову: 13,0

Категория пород по ЦБПНТ: XIII Степень трещиноватости: 2-3

Обводнённость: 10 % Категория взрываемости: 1

геология: Серпентиниты лизардитовые

**3. Объём взрываемого массива:** V = 72.50 тыс. м<sup>3</sup> V<sub>втор.</sub> = 0 тыс. м<sup>3</sup>

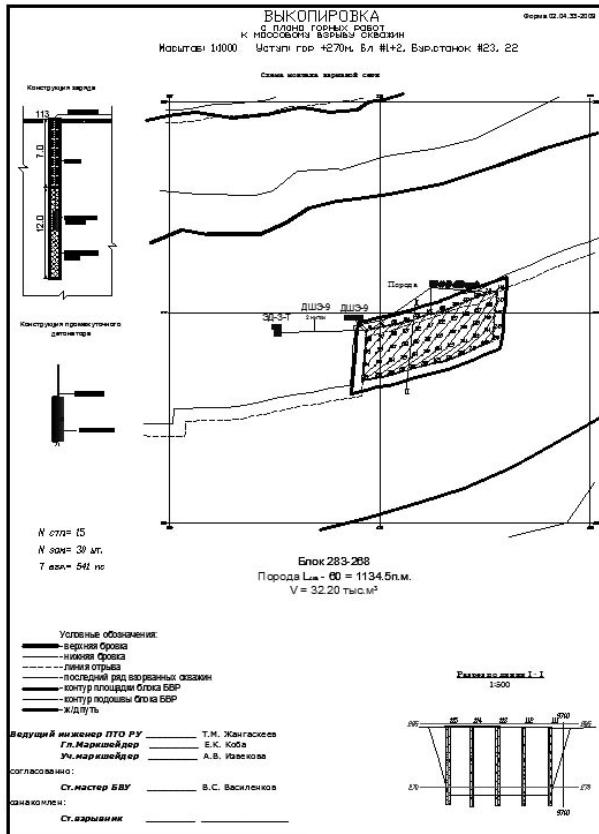
**4. Наименование взрывчатых веществ и средств инициирования:**

Фортис; АС-25П, ТС-1000ПЛ

ЭД - 3 - Т

**5. Способы инициирования зарядов взрывной сети:**

радиовзрывание с применением аппаратуры управления взрывом "Друза - М"

<div data-bbox="10 84

На основе визуализации результатов моделирования, дающих прогноз формы раз渲а и геометрии отрыва, появится возможность обоснованного уточнения соответствующих технологических параметров для достижения требуемого

результата. В настоящее время программные средства и алгоритмы моделирования результатов действия взрыва уточняются на основе экспериментальных исследований других авторов и результатов промышленных взрывов.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лукичев СВ., Наговицын О.В.* Автоматизированная система MineFrame 3.0. - Горная промышленность, № 6, 2005, С. 32-35.
2. *Шапошник Ю.П.* ОАО «Апатит»: 80 лет в авангарде горно-химической промышленности России // Горный журнал - 2009. - №9, С. 17-22.
3. *Официальный сайт ОАО «Оренбургские минералы»* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.orenmin.ru/> (дата обращения 15.01.2011).
4. *Официальный сайт ОАО «Боксит тимана»* [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rusal.rti/timan\\_factory.aspx](http://www.rusal.rti/timan_factory.aspx) (дата обращения 15.01.2011).
5. *Васильчук М.П. и др.* Единые правила безопасности при взрывных работах. Утв. Гортостехнадзором России 1992 г. - М.: НПО ОБТ, 1993.-238 с. **ГИАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Лукичёв Сергей Вячеславович – доктор технических наук, Lu24@goi.kolasc.net.ru, Корниенко Андрей Викторович – программист 1 категории, Kornienko@goi.kolasc.net.ru, Горный институт Кольского научного центра РАН.



---

## ГОРНАЯ КНИГА



### Метод горно-экологического мониторинга, учитывающий влияние геодинамически опасных зон (ГОЗ) на развитие карстовых процессов

Автор: Батугин А.С., Хотченков Е.В.

Год: 2013

Страницы: 8

ISBN: 0236-1493

UDK: 622.84

Предложен новый метод горно-экологического мониторинга.

При многих видах строительства и ведении горных работ запускаются процессы, ведущие к активизации карста. При деятельности, связанной с недропользованием, мониторинг карста предусмотрен инструктивными и нормативными документами. В сложившейся практике проведения мониторинга в основном происходит лишь только фиксация новых карстовых образований.