УДК 622.012:681.3.01:519.67

**С.В.ЛУКИЧЁВ, О.В.НАГОВИЦЫН, А.В.КОРНИЕНКО**
*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАРЬЕРНЫХ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ В ГОРНОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ MINEFRAME

Представлена система автоматизированного проектирования массовых взрывов на карьерах, основанная на компьютерном моделировании объектов горной технологии. Показано, что эффективное решение задачи автоматизированного проектирования массовых взрывов возможно при комплексном решении геологических, маркшейдерских и технологических задач в едином информационном пространстве горного предприятия.

A computer aided system for design of blasting operations in open-pit mining has been developed based on computer modelling of mining objects. The efficient computer design has been shown to be possible for blast planning while solving integrated geological, survey and technological tasks within a single mining enterprise' information space.

Проектирование массовых взрывов (МВ) на карьерах является одним из самых сложных и трудоемких видов инженерного обеспечения открытых горных работ, так как требует учета:

- геологической информации о контактах рудных тел (пластов) и свойствах горных пород (ГП), слагающих месторождение;
- маркшейдерской информации о фактическом местоположении бровок уступов, высотных отметках площадок, геометрии предохранительных валов и неподобранных развалов породы от предыдущих взрывов, координатах следов взрывных скважин вышележащих блоков;
- технологической информации о направлениях и последовательности развития горных работ, наличии объектов технологического оборудования и инфраструктуры.

При этом нельзя забывать, что, как правило, не существует одинаковых по геометрии и сходных по горно-геологическим условиям взрывания блоков, а следовательно, нет универсальных схем взрывания. Отсюда можно сделать вывод о том, что средства автоматизированного проектирования МВ не могут рассматриваться в отрыве от средств автоматизации решения геологических, маркшейдерских и технологических задач. Лучшим вариантом в этом случае является интеграция программных средств проектирования в горную интегрированную систему.

Подобный вариант был реализован в рамках горной интегрированной системы MineFrame*, направленной на комплексную автоматизацию решения геологических, маркшейдерских и технологических задач в едином информационном пространстве горного предприятия. Достигается это средствами трехмерного моделирования объектов горной технологии и коллективного доступа к удаленным базам данных (БД) с использованием локальной вычислительной сети предприятия.

Программные средства MineFrame в режиме проектирования МВ решают семь блоков задач: 1) моделирование горно-геологической обстановки; 2) создание модели взрывного блока; 3) формирование конструкций скважинных зарядов; 4) размещение моделей взрывных скважин на блоке; 5) корректировка моделей взрывных сква-

* Система автоматизированного планирования и проектирования горных работ Geotech-3D-Апатит / С.В.Лукичев, О.В.Наговицин, В.С.Свинин и др. // Горный журнал. 2000. № 3. С.56-58; *Лукичев С.В.* Автоматизированная система MineFrame 3.0. / С.В.Лукичев, О.В.Наговицын // Горная промышленность. 2005. № 6. С.32-35.

жин по данным фактического бурения; 6) формирование схемы коммутации; 7) подготовка технологической документации.

Рассмотрим суть решения этих задач.

**1. Моделирование горно-геологической обстановки.** Данный блок задач заключается в своевременной корректировке цифровых моделей:

- карьера (информация по местоположению бровок уступов, точек и линий гипсометрии площадок, линии предохранительного вала и последнего ряда взорванных скважин);
- геологических тел, моделирующих месторождение.

Работа с цифровыми моделями осуществляется в среде специализированного графического редактора.

Для выполнения работы, связанной с поддержанием векторной и каркасной модели карьера в актуальном состоянии, используются программные средства маркшейдерского обеспечения горных работ, позволяющие:

– формировать БД маркшейдерских точек, создавать и визуализировать их модели в трехмерном пространстве, на планах и разрезах;

– решать с использованием БД маркшейдерских точек различные геодезические задачи (расчет и уравнивание теодолитного хода, определение координат точки методом прямой и обратной засечки);

– осуществлять обработку результатов тахеометрической съемки (в том числе и с электронных тахеометров) с формированием на их основе новых положений бровок и точек гипсометрии поверхности.

Для выполнения работы, связанной с поддержанием геологических моделей в актуальном состоянии, используются инструментальные средства графического редактора, обеспечивающие корректировку векторных, каркасных и блочных конструкций, несущих информацию о форме геологических тел и пространственной изменчивости в них содержания полезных компонент или иных характеристик массива ГП. Следует отметить, что при комплексной автоматизации работы геологических и маркшейдерских служб предприятия поддержание моделей объектов горной технологии в актуальном состоянии создает основу не только для проектирования МВ, но и для решения практически всех технологических задач.

**2. Создание модели взрывного блока.** Модель блока создается с использованием модели карьера (рис.1). Для построения блока может быть использован инструмент формирования прирезки на уступе, когда формирование модели осуществляется по заданным параметрам, или интерактивно, когда технолог задает контур границы на верхней площадке уступа и затем, с учетом заданной высотной отметки подошвы и угла наклона откоса, автоматически формируется контур нижнего основания блока. Созданная таким образом векторная модель блока может быть автоматически дополнена точками гипсометрии поверхности уступа, что повышает ее геометрическую достоверность. По точкам векторной модели блока создается его каркасная модель, управлять построением которой можно, используя механизм «сцепок». Наличие каркасной модели позволяет рассчитать объем взрывного блока и с помощью инструментальных средств графического редактора построить разрезы любой ориентации. Внутри каркасной можно построить блочную модель, что при наличии данных опробования взрывных скважин позволяет уточнить качественные характеристики взрывного блока и использовать эту информацию для оперативного планирования добычи и управления качеством руды.

Важным элементом проектируемого блока являются следы взрывных скважин вышележащих блоков. Моделируются они



Рис.1. Модели карьера и взрывного блока

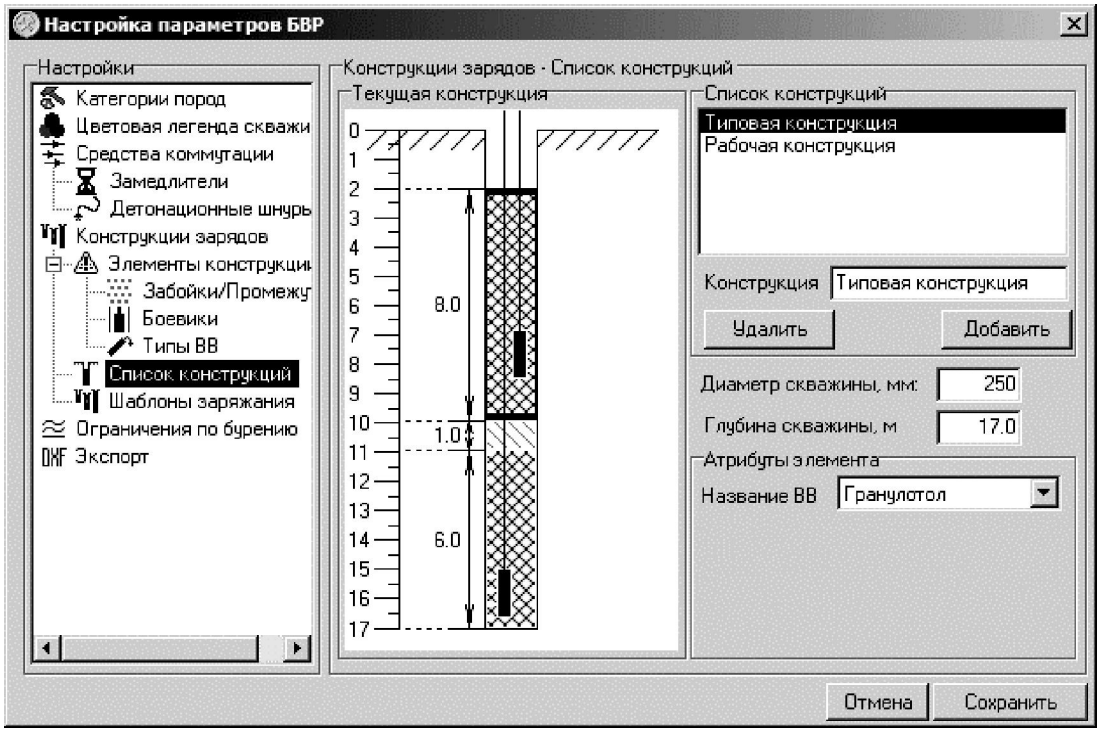



Рис.2. Редактор конструкции зарядов

окружностями заданного размера на площадке блока, радиус которых выбирается исходя из возможности неточного определения координат. Информация по координатам следов скважин на площадке блока может быть получена или в результате маркшейдерской съемки или из проектов массовых взрывов блоков вышележащих уступов.

**3. Формирование конструкций скважинных зарядов.** Как правило, на горном предприятии используют несколько типовых конструкций, включающих в себя геометрические размеры зарядов и их пространственное расположение, типы применяемых взрывчатых веществ, количество и местоположение боевиков, наличие инертных промежутков между зарядами и забойки в устье скважины, их размеры и состав.

Для формирования конструкций зарядов применяется специальный редактор (рис.2), позволяющий создать модель практически любой конструкции. Работа редактора построена на использовании списков составных элементов конструкции и интерактивных инструментов ее формирования. Среди этих списков:

– применяемые типы ВВ с энергетическими характеристиками и плотностью заряжания;

– применяемые конструкции боевиков с указанием их массы, энергетических характеристик, типа используемых в них детонаторов и времени замедления;

– используемые материалы забойки и инертных промежутков с характеристикой крупности и насыпной плотности материала;

– применяемые типы детонирующих шнуров со значениями скорости детонации.

Сформированные таким образом списки конструкций зарядов могут быть использованы для проектирования всех массовых взрывов карьера, по мере необходимости их пополняют. Учитывая, что при размещении взрывных скважин на блоке их реальная глубина может существенно меняться, необходимо изменять конструкцию скважинных зарядов или их параметры. Для этого используются шаблоны, которые задают алгоритм изменения конструкций и их параметров с изменением глубины скважин.

**4. Размещение моделей взрывных скважин на блоке.** Данный блок задач осу-

ществляется в автоматизированном режиме с учетом гипсометрии верхнего и нижнего оснований взрывного блока. Уже на этом этапе модели скважин формируются с заданной конструкцией зарядов. Для реализации механизма пространственного размещения взрывных скважин используется специализированный редактор, содержащий инструменты для построения моделей скважин первого, второго и контурного ряда, внутренней области и редактирования моделей.

*Построение моделей скважин первого и второго рядов*, которые предназначены для отбойки части блока, расположенной со стороны откоса уступа. Для управления процедурой формирования моделей используются следующие параметры:

– размер линии сопротивления по подошве (ЛСПП); данный параметр задается на основании табличных или расчетных данных, где учитываются: упругопрочностные характеристики ГП, высота уступа и конструкция заряда (включая его диаметр, тип ВВ и размер недозаряда);

– расстояние между скважинами в ряду;

– расстояние между первым и вторым рядами скважин;

– величина перебура скважин;

– минимальное расстояние до края уступа по условиям безопасного размещения бурового станка;

– возможность размещение дополнительных скважин, которые устанавливаются вблизи скважин первого ряда и используются в том случае, когда расстояние по подошве превышает ЛСПП.

Алгоритм формирования скважин первого и второго ряда построен таким образом, что в случае невозможности создания вертикальных скважин из-за превышения ЛСПП делается попытка создания наклонных (в заданном диапазоне). Если это не решает проблему, устанавливаются дополнительные скважины, для управления размещения которыми используется ряд дополнительных параметров.

*Построение моделей скважин контурного ряда*, которые предназначены для формирования поверхности откоса уступа с минимальными нарушениями массива ГП. Исходя из этого формируется соответствующая конструкция заряда и выбираются параметры размещения скважин в массиве. Для управления построением контурного ряда используются следующие параметры:

– расстояние между скважинами в ряду;

– угол наклона скважин;

– размер перебура скважин;

– смещение скважин относительно контура нижнего основания блока.

Поскольку контурный ряд скважинных зарядов располагается по границе блока со стороны массива ГП, для управления процедурой его формирования перечисленных параметров достаточно.

*Построение моделей скважин внутренней области.* В зависимости от параметров откоса уступа и местоположения блока (рабочий он или приконтурный) могут формироваться или нет скважины первого, второго и контурного рядов. Местоположение остальных скважин взрывного блока определяется с помощью «электронной» палетки.

Для управления процедурой размещения моделей скважин по палетке используются следующие параметры:

– тип палетки (шахматная или квадратная);

– размер ячейки палетки; данный параметр задается на основании табличных или расчетных данных, где учитываются: упругопрочностные характеристики ГП, высота уступа и конструкция заряда, включая его диаметр, тип ВВ и размер недозаряда;

– размер перебура скважин.

В основе инструмента электронной палетки лежит возможность ее интерактивного перемещения и поворота. Средства управления палеткой позволяют включать режимы: отсечения скважин по границам блока и отдельной выделенной области; перемещения скважин внутрь области размещения в случае незначительного выхода за границы; смещение скважины на безопасное расстояние в случае ее попадания в «след» ранее взорванной скважины. В случае разбиения блока на области существует возможность разместить скважины по палетке с различными параметрами для каждой из областей.

*Добавление, удаление и редактирование моделей скважин.* При визуальном контроле результата автоматизированного размещения взрывных скважин на блоке могут обнаружиться неточности. Для их исправления предусмотрена возможность ручной корректировки (перемещение, удаление, добавление, изменение параметров) моделей скважин. Изменение параметров скважины может быть выполнено как интерактивно, так и через таблицу ее параметров.

**5. Корректировка моделей взрывных скважин по данным фактического бурения.** Результатом выполнения предыдущих операций являются модели взрывных скважин, на основе которых формируется проект бурения. Пробуренные (фактические) скважины могут отличаться от проектных. Для перехода к формированию карты заряжания и схемы коммутации требуется уточнение местоположения и параметров фактических скважин. Для выполнения этой работы используется электронная таблица, содержащая список всех скважин с проектными и фактическими координатами и параметрами. Заполнение полей с фактическими значениями может осуществляться разными способами, в том числе путем «закачки» данных с электронного тахеометра. На основе этих данных формируются модели фактических скважин, конструкции зарядов которых соответствуют проектным. Используя специализированный редактор, можно в случае необходимости изменить конструкцию заряда.

**6. Формирование схемы коммутации.** Схема создается на основе моделей фактических взрывных скважин. Работа по ее созданию осуществляется в интерактивном режиме с использованием инструментальных средств специализированного редактора. Работа разбивается на три этапа.

*Формирование магистральных линий и рядов скважин* позволяет смоделировать коммутационную сеть, элементами которой являются соединенные детонирующим шнуром магистрали, ряды, их участки и боевики.

*Расстановка замедлений* осуществляется путем их выбора из списка используемых на предприятии и установкой на указанный курсором элемент схемы.

*Расчет времени замедления взрывания каждого скважинного заряда* производится с учетом скорости детонации детонирующих шнуров путем решения сетевой задачи.

Результаты расчета визуализируются в трехмерной проекции с возможностью временной развертки процесса инициирования всех скважинных зарядов, что позволяет проконтролировать схему коммутации и в случае необходимости изменить ее.

**7. Подготовка технологической документации.** Сформированная в результате перечисленной выше последовательности действий модель взрывного блока содержит практически всю необходимую информацию для формирования на ее основе пакета технологической документации. Документация состоит из графической, табличной и текстовой частей.

Графическая часть может включать: схему размещения скважин на блоке и несколько характерных вертикальных разрезов; зарядную карту; схему коммутации зарядов; чертежи конструкции зарядов.

Для формирования чертежей и другой графической документации используется экспорт из среды графического редактора, в котором осуществлялось моделирование, в среду любого конструкторского редактора, обрабатывающего файлы формата *.dxf. В качестве базового редактора предлагается использовать AutoCAD.

Для формирования табличной и текстовой частей проекта МВ предусмотрен экспорт данных из среды графического редактора в среду программы Excel. Для сокращения времени формирования документации экспорт осуществляется на шаблоны, используя которые, в частности, можно автоматически вычислять расход ВВ, выход горной массы с 1 погонного метра скважины и др.

Табличная и текстовая части проекта содержат: общие сведения, геологическую и маркшейдерскую записки; таблицу параметров МВ и расчета ВВ по скважинам; расчет разлета кусков породы, оценку сейсмического и ударно-воздушного воздействия.

Сам проект МВ представляет собой связанный набор графических, табличных и

текстовых данных, хранящихся в БД вместе с моделью взрывного блока, что позволяет достаточно просто формировать архив массовых взрывов.

В заключение хотелось бы отметить, что при разработке системы автоматизированного проектирования МВ одной из основных задача являлась ее тесная интеграция в комплекс программных средств, обеспечивающих подготовку исходной горно-геологической информации. Следует также сказать, что развитие программных средств в направлении моделирования результатов МВ (развала ГП) позволит выйти на автоматизацию решения задач оперативного планирования и управления качеством.