

САПР буровзрывных работ на карьерах «Blast Maker»

В.Г. Долгушев (slavado@istc.kg)

Институт коммуникаций и информационных технологий
Кыргызско-Российского Славянского Университета

I. Введение

Эксплуатация большинства месторождений связана, как правило, с необходимостью предварительного рыхления горной массы. Для проведения вскрышных и добычных работ на карьерах с преобладанием скальных пород, наиболее является дробление отдельных блоков массива группами скважинных зарядов. От качества подготовки массовых взрывов зависят объемы вторичных буровзрывных работ (дробление негабаритов, устранение порогов в подошвах уступов и т.д.) и эффективность последующих производственных процессов, в частности, экскавации, транспортировки и дополнительного измельчения руды для ее обогащения.

Неоднородность прочностных свойств горных пород остается главным фактором, осложняющим проектирование взрывных работ и достижение требуемого качества дробления горной массы. Геологическая разведка в общем случае не может дать достаточно полной информации, так как шаг сетки разведочных скважин обычно слишком велик. Поэтому в отсутствии реальных данных о районировании карьерного поля, проектировщики при отбойке сложно-структурированных массивов намеренно завышают объемы бурения и количество взрывчатых веществ (ВВ) в скважинах.

Одним из эффективных способов получения сведений о свойствах взрываемого массива является использование информации, получаемой в процессе бурения скважин. Данный подход привлекателен тем, что не нарушает существующую технологию ведения работ на карьере и не требует дополнительных затрат на проведение геологических исследований, связанных с определением физико-прочностных характеристик слагающих пород блока. Программно-технический комплекс (ПТК) «Blast Maker» - практическая реализация такого подхода на основе передовых технологий в микропроцессорной технике и программировании. Автоматизированное проектирование буро-взрывных работ с использованием этого комплекса обеспечивает расстановку скважин, учитывающую геометрию блока и свойства горных пород, и рациональное распределение скважинных зарядов для наиболее эффективного дробления горной массы. В условиях высокой интенсивности горных работ на карьерах ПТК «Blast Maker» обеспечивает оперативность и многовариантность проектных решений при выполнении БВР.

II. Состав и основные характеристики программных компонентов комплекса

Программный пакет САПР БВР «Blast Maker» - является комплексом программных средств, объединяющих цифровую модель месторождения, средства сбора информации о среде, математическую модель взаимодействия заряда со средой, и средства, обеспечивающие подготовку необходимой проектной документации для производства массовых взрывов. Структурно САПР БВР состоит из набора модулей, которые могут функционировать как в составе комплекса, так и независимо от него. Обмен информацией между отдельными модулями осуществляется через единую базу данных. Основными модулями САПР БВР являются:

- цифровая модель месторождения - для сбора, анализа и хранения геологической и технологической информации в трехмерном виде;
- цифровая модель поверхности карьера - обеспечивает построение карты поверхности карьера и выполнения операций горно-геометрического анализа;
- модуль проектирования БВ - для расчета параметров массового взрыва и расстановки скважин на взрываемом блоке;

- модуль имитационного моделирования - для оценки качества массового взрыва и прогноза параметров развала;
- модуль импорта-экспорта данных - обеспечивает взаимодействие пакета САПР БВР с программными продуктами, используемыми на предприятии;
- генератор выходных документов - предназначен для выполнения работ, связанных с подготовкой и выпуском проектной документации на массовый взрыв.

Цифровая модель месторождения является информационной основой САПР БВР. Основные функции цифровой модели месторождения включают в себя обработку и анализ данных, полученных с буровых станков и моделирование свойств горных пород в пределах карьерного поля. В САПР БВР для построения модели используется метод нерегулярных узловых элементов. Месторождение представляется как трехмерное поле распределения свойств горного массива, и узловые элементы располагаются в точках, где значения исследуемых параметров известны. Это может быть, например, энергоемкость бурения, содержание полезного ископаемого, любые другие количественные характеристики, полученные на этапе геологической разведки или в процессе разработки месторождения. Величина исследуемого параметра в произвольно заданной точке находится путем интерполяции значений узловых элементов, пространственно окружающих эту точку. Подобная реализация цифровой модели обладает следующими достоинствами:

- интерполяция пространственного распределения параметров обеспечивает высокую достоверность в любой точке области;
- количество параметров, хранимых в узлах нерегулярной сетки, может быть неограниченным;
- наряду с количественными параметрами в узлах сетки можно хранить и качественные признаки;
- обеспечивается простота корректировки и уточнения модели.

На рис.1 приведен пример построения пространственного распределения энергоемкости бурения по данным, полученным с буровых станков.

Цифровая модель поверхности (ЦМПК) позволяет наглядно представлять поверхность карьера в различных масштабах и ракурсах при выполнении операций горно-геометрического анализа. В САПР БВР применяется гибридная цифровая модель представления поверхности. Суть данного подхода состоит в том, что для ввода, корректировки и редактирования исходных данных используется структурная (атрибутивно-топологическая) модель, а для решения задач горно-геометрического анализа – сеточная модель. Использование гибридной модели допускает разделение способов хранения и обработки структурной и пространственной информации. Сеточная модель может быть получена из структурной модели в любой произвольный момент времени. Построение регулярной сеточной модели участков карьера (рис.2) производится в интерактивном режиме с помощью триангуляции и процедур кригинга. Реконструкция рельефа производится в узлах регулярной сетки с заданным фиксированным размером ячеек. Восстановленная поверхность цифровой модели сглаживается для обеспечения плавности перехода на границах расчетных значений.

Модуль проектирования БВР предназначен для подготовки и выпуска проектно-технической документации на проведение буровзрывных работ. Данный модуль включает в себя подсистемы для выполнения следующих функций:

- расчет параметров массового взрыва;
- расстановку скважин на взрываемом блоке;
- коммутацию скважин и выбор интервалов замедления;

- анализ распределения энергии взрыва.

Расчет параметров массового взрыва базируется на информации от геологических служб карьера и на данных об энергоемкости бурения. В качестве главных характеристик служат удельные расходы ВВ для всех типов пород блока, которые обеспечивают гарантированное дробление горной массы до требуемого размера отдельностей. Удельные расходы ВВ рассчитываются в соответствии с прочностными свойствами массива по специальным методикам. Основные функции расчета параметров взрыва включают в себя:

- определение зон неоднородностей в пределах блока и расчет удельного расхода эталонного ВВ для каждой из зон;
- выбор рациональной конструкции зарядов для проведения взрыва;
- расчет количества скважин, необходимых для разрушения блока с заданными параметрами дробления;
- расчет технико-экономических показателей взрыва.

В САПР БВР предусмотрено использование составных скважинных зарядов с одним или несколькими воздушными промежутками (рис.3). Несмотря на то, что сплошные скважинные заряды являются традиционными, они наименее эффективны с точки зрения механики дробления. Основное отличие скважинных зарядов с воздушными промежутками состоит в возможности расширения продуктов взрыва на начальной стадии и увеличении длительности волны сжатия вследствие многократного отражения. Наличие дополнительных волн сжатия позволяет увеличить время активного воздействия продуктов взрыва на разрушаемый массив, повышая степень фрагментации породы.

Основным методом расстановки скважин на блоке является расстановка по палетке, которая представляет собой регулярную треугольную или прямоугольную сетку. Шаг палетки определяется исходя из расчетной линии сопротивления по подошве. Для блоков сложной геометрической конфигурации и геологической структуры возможно использование нескольких палеток с различной сеткой скважин. Итерационный метод автоматической расстановки скважин позволяет разместить на блоке заданное количество скважин оптимальным образом с учетом зон неоднородностей и конфигурации блока. Процесс автоматической расстановки производится таким образом, что на каждом шаге итерации скважины равномерно распределяются блоку в соответствии с их характеристическими радиусами, зависящими от локальной крепости породы. На рис.4 приведен пример расстановки скважин по данным о величине энергоемкости бурения.

Коммутация скважин для короткозамедленного взрывания в САПР БВР может быть выполнена по указанной типовой схеме и заданному вектору направления взрываемых рядов. При использовании типовых схем коммутационная сеть автоматически проектируется таким образом, чтобы инициирование зарядов производилось порядным, врубовым, клиновидным или диагональным способами. На рис.5 приведен пример подготовки схемы инициирования и выбора интервалов замедления.

Для осуществления автоматической коммутации указывается вектор направления коммутируемых рядов скважин, и линии коммутации выстраиваются параллельно этому направлению. Возможные погрешности при автоматической коммутации устраняются вручную с помощью удаления и добавления связей между скважинами. На степень дробления оказывает влияние не только выбор схемы коммутации, но и выбор интервала короткозамедленного взрывания. В САПР БВР для этих целей существует обширный инструментарий, который позволяет эмулировать работу КЗВ и представлять результаты в виде различных диаграмм и графиков. Это дает возможность инженеру-проектировщику за короткое время проанализировать несколько вариантов комбинаций интервалов и схем коммутации и выбрать наиболее рациональный из них.

Модуль имитационного моделирования массового взрыва предназначен для расчета распределения энергии взрыва и прогноза разрушения массива горных пород. В системе САПР БВР данный модуль используется для оценки:

- фракционного состава взорванной массы;
- качества проработки подошвы;
- профиля образующейся выемки;
- контуров и границ развала.

Модуль имитационного моделирования и анализа динамики процессов разрушения скального массива может использоваться в тех случаях, когда необходимо выполнить тщательный анализ энергонасыщенности взрываемого блока. Такая ситуация возникает, если массив содержит разнородные включения и прослойки, либо когда существенно важным моментом для проектировщика является необходимость изменить степень фрагментации раздробленной породы.

Для определения качества дробления блока строится распределение энергии в вертикальных и горизонтальных сечениях. Области недостаточной или чрезмерной энергонасыщенности автоматически выделяются на этих графиках определенными цветами. Определив по картине распределения энергии области плохой проработки породы, принимаются меры по насыщению таких областей дополнительной энергией за счет добавочных скважин или использования более мощных ВВ. Модуль имитационного моделирования позволяет выполнять расчет характеристик развала, таких как профиль образующейся выемки и предполагаемый контур границ разлета горной массы. Расчет энергии дробления выполняется с учетом применяемой схемы короткозамедленного взрывания и образующихся при этом свободных поверхностей. После определения энергии, затрачиваемой на разрушение каждого из элементарных объемов блока, рассчитывается фракционный состав взорванной массы. При расчете фракционного состава используется экспериментальная кривая распределения размера кусков породы от величины энергии дробления.

Модуль импорта и экспорта данных обеспечивает взаимодействие САПР БВР со сторонними программными продуктами, используемыми на предприятии. Взаимодействие осуществляется посредством обмена файлами в специальных форматах, таких как XML, ASCII, DXF, GMC, GRD, STR и т.д. В качестве импортируемых данных в пакете САПР БВР могут выступать данные по расположению соседних блоков, данные по геометрии и параметрам рудного тела, контуры подземных выработок, данные по схеме коммутации зарядов на заданном блоке и многое другое.

В настоящее время система САПР БВР предоставляет возможность экспорта и импорта данных для большинства распространенных программ, используемых в горном деле (Datamine, Gemcom, SimBlast, Micromine, AutoCAD и др) (рис.6).

Генератор выходных документов САПР БВР позволяет формировать различные отчетные документы в соответствии с принятыми на предприятии стандартами. Задача данного модуля – представление и вывод результатов проектирования БВР, данных маркшейдерской съемки, геологических изысканий, различной аналитической, статистической и оценочной информации, используемой на горном предприятии. Универсальность данного модуля заключается в том, чтобы он не только обеспечивает вывод стандартных графических и табличных данных, но и позволяет подготавливать шаблоны выходных документов, исходя из особенностей проектирования на конкретном предприятии, и дополнительных требований и запросов к документированию горных работ. Набор стандартных шаблонов генератора выходных документов включает в себя:

- таблица маркшейдера (номера скважины и координаты на заданном блоке);
- таблица на бурение (номер скважины, глубина, диаметр, перебур);
- схема проектного блока (изображение блока с расставленными скважинами);

- таблица зарядов (номер скважины, длина колонки заряда, вес заряда, длина забойки, интервал замедления);
- схема коммутации КЗВ (графическое представление блока с расставленными скважинами и коммутационных связей);
- общая схема обуренного блока (графическое представление спроектированного блока с расставленными на нем скважинами, конструкций зарядов, сечений по заданным профилям и табличные данные по блоку: категории по трещиноватости, коэффициенты крепости пород, сетка скважин, их количество, объем бурения, объем взрыва, количество ВВ, удельный расход ВВ, выход горной массы).

Обширный набор функций модуля позволяет проектировщику осуществлять предварительный просмотр и корректировку выходных документа на экране дисплея, выбирать и настраивать устройства вывода на печать, изменять форматы бумажных носителей в соответствии с размерами страниц выходных документов и др. Пользовательский интерфейс генератора выходных документов представлен на рисунке 7.

III. Особенности внедрения системы на предприятии

Для описания строения горного массива и моделирования процессов разрушения горных пород взрывом, в ПТК «Blast Maker» применяются достаточно сложные математические модели, использующие разнообразные вычислительные методики и алгоритмы. Значения большинства коэффициентов для этих моделей определяются методами математической статистики по фактическим данным о свойствах взрывающей среды. Как показывает опыт, каждый карьер имеет уникальные физико-механические и структурные свойства горного массива, которые, в конечном счете, определяют характер диссипации энергии взрыва и степень дробления пород.

В связи с этим, внедрение ПТК «Blast Maker» в производственный процесс требует предварительной адаптации к реальным условиям конкретного месторождения, что обусловлено неполнотой исходных параметров моделируемой среды. Информационное наполнение баз данных программно-технического комплекса в процессе его адаптации осуществляется на основе следующих компонентов:

- проектной геологической информации, полученной при разведочном бурении;
- уточняющих геологических данных при эксплуатационном бурении;
- данных об энергетических параметрах бурения скважин на взрываемых блоках;
- экспертных заключений о фактически произведенных взрывах на карьере.

Процесс адаптации комплекса является достаточно продолжительным по времени и выполняется в течение несколько этапов. Первоначально осуществляется сбор и обработка необходимых данных для предварительного определения значений настроечных коэффициентов математических моделей и вычислительных алгоритмов. Одновременно производится наполнение цифровой модели карьера и создание шаблонов выходных документов в соответствии с принятым на предприятии документооборотом при ведении буровзрывных работ. На этапе опытной эксплуатации системы, по мере накопления оперативной информации, уточняются корреляционные функции крепости и взрываемости горных пород в зависимости от энергетических параметров бурения; подбираются оптимальные способы фильтрации данных, получаемых с буровых станков; корректируются параметры вычислительных алгоритмов с целью максимального соответствия результатов численного моделирования с результатами фактических выполненных взрывов.

После завершения «тонкой» настройки всех модулей и компонентов системы осуществляется переход к промышленной эксплуатации ПТК «Blast Maker» в полном объеме. Опыт внедрения ПТК «Blast Maker» на других предприятиях показывает, что экономическая эффективность достигается:

- повышением качества взрыва за счет полноты информации о взрываемом массиве и прогнозирования результатов дробления;

- оптимальным насыщением разрушаемого массива энергией ВВ;
- оперативностью управления оборудованием и процессами на карьере;
- оптимизацией конструкции заряда по данным, полученным с бурового станка, о распределении энергоемкости бурения по глубине скважины;
- автоматизацией процесса проектирования БВР, когда время подготовки проекта на бурение и взрыв значительно сокращается.

Достижение максимальной эффективности требует полномасштабной адаптации комплекса к условиям карьера, что возможно только после накопления больших массивов данных, проведения ряда экспериментальных взрывов, построения четких зависимостей между удельной энергоемкостью бурения и удельной энергией взрыва, и др. Значительная доля работ требуется по внедрению системы в существующую технологию ведения БВР.