

УДК 622.012:681.3.01:519.67

О.В. Наговицын, С.В. Лукичев

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ
ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ
В СИСТЕМЕ MINEFRAME**

Приведено описание автоматизированных инструментов системы MINEFRAME для решения задач возникающих при проектировании и планировании горных работ. Описаны инструменты каркасного и блочного моделирования, проектирования массовых взрывов, определения границ карьеров, планирования открытых и подземных горных работ, проходки подземных выработок.

Ключевые слова: горные работы, САПР, автоматизированное планирование, база данных.

В настоящее время в связи с широким распространением компьютерных технологий в инженерном обеспечении горных работ происходят серьезные изменения. Эффективность извлечения запасов полезного ископаемого, рациональное и безопасное недропользование напрямую зависит от квалификации специалистов, слаженности их действий, а иногда и от скорости принятия организационных и технологических решений, учитывающих множество факторов, определяющих особенности горно-геологических условий. Важную роль при решении этих задач, играет тесное и оперативное взаимодействие специалистов разных профилей в едином информационном пространстве горного предприятия, что достигается за счет использования локальных компьютерных сетей и удаленных баз данных (БД) коллективного доступа. На сегодня это общепринятая стратегия создания автоматизированных рабочих мест для специалистов горного профиля.

Наиболее оптимальным вариантом автоматизации рабочих мест специалистов горного предприятия является использование программного обеспечения, в котором комплексно реализованы решения геологических, маркшейдерских и технологических задач, что позволяет повысить производительность труда и качество технологических решений. Такой подход успешно реализуется при развитии системы MINEFRAME. Это выражается в том, что сложные инструменты и программные модули системы основаны на едином моделирующем ядре, унифицированном доступе к объектам, хранящимся в БД и единообразном пользовательском интерфейсе. За все время развития системы разработано множество автоматизированных инструментов и модулей входящих в автоматизированные рабочие места маркшейдеров, геологов, горных технологов. Здесь представлен краткий обзор наиболее значимых модулей и инструментов системы MINEFRAME и возможно-

сти, которые они предоставляют для решения основных задач проектирования и планирования горных работ [1].

Моделирование геологоразведочной сети

Модель геологоразведочной сети используется для представления данных геологического опробования. Модель состоит из набора скважин (выработок), для каждой из которых существует список проб, которые, в свою очередь, содержат список компонентов полезного ископаемого со значениями содержаний или иных характеристик. Каждая проба в исходном состоянии моделируется отрезком в трехмерном пространстве, координаты начала и конца которого для скважин определяются с учетом координат устья и данных по замерам инклинометрии. Модель опробования визуализируется в трехмерном пространстве и на разрезах, однако, основное ее назначение – это интерпретация информации о залегании полезного ископаемого, его геометризация, подсчет объемов и качества на основе трехмерного каркасного и блочного моделирования.

Моделирование маркшейдерской сети

В основе модели маркшейдерской сети лежит ее представление набором точек съемочного обоснования в трехмерном пространстве с определенными числовыми и текстовыми характеристиками. Реализация проектных решений связана с выполнением значительного объема маркшейдерских вычислений, направленных на определение координат объектов горной технологии в пространстве. Для выполнения этой работы используются маркшейдерские, точки входящие в соответствующую модель

опорной сети, с их помощью может быть вычислено местоположение в пространстве любого объекта. Для автоматизации этой работы на реализованы программные средства, позволяющие:

- формировать базу данных (каталог) маркшейдерских точек;
- решать прямую и обратную геодезическую задачу;
- находить координаты точек методом прямой и обратной засечки;
- производить расчет и уравнивание теодолитных ходов;
- осуществлять импорт и обработку результатов тахеометрической съемки;
- выполнять моделирование проходки подземных горных выработок по данным маркшейдерских замеров;
- осуществлять корректировку местоположения точек различного рода технологических поверхностей (карьеры, склады, отвалы и т.п.).

В конечном итоге все результаты маркшейдерских измерений и расчетов реализуются в виде векторных и каркасных моделей.

Инструменты САПР

С их помощью средств геометрического моделирования проектировщик задает форму моделей, добавляет, изменяет и удаляет их части, проверяет взаимное положение объектов в трехмерном пространстве. Эти средства основаны на ядре геометрических вычислений, обеспечивающих операции векторной алгебры, нахождение взаимных отношений геометрических примитивов, таких как точки, отрезки, полилинии, окружности, плоскости и их сочетания. Инструменты более высокого уровня работают со средствами каркасного, поверхностного и твердотельного моделирования. Они обеспечивают созда-

ние и модификацию (в том числе и с помощью булевских операций) моделей топоповерхностей, бортов карьеров, подземных выработок, отвалов, рудных тел, пластов и других объектов геологической среды и горной технологии.

Моделирование каркасное, блочное

Каркасное триангуляционное моделирование является основным приемом при моделировании практически всех объектов горной технологии и геологической обстановки имеющих как незамкнутую поверхность: рельеф местности, выработки открытых горных работ (ОГР), насыпи; так и замкнутую: подземные выработки, сооружения, рудные тела, пласты и пр.

Реализованы такие методы моделирования, как триангуляция поверхности между двумя выбранными контурами и внутри замкнутого контура; автоматическая корректировка триангуляционной модели после добавления/удаления точек и контуров; исключение точек/контура из каркаса без их удаления; создание треугольников по выбранным точкам; удаление выбранных треугольников; переброска диагонали двух смежных треугольников (флип); триангуляция поверхности подземных выработок и выработанного пространства по облаку точек. При моделировании объектов представленных набором взаимопересекающихся разрезов, например комбинацией вертикальных и горизонтальных разрезов имеется возможность моделировать поверхность геологических тел, используя более полную информацию об их пространственной геометрии.

Важными являются инструменты верификации и заверки триангуляци-

онных моделей. На сегодня они включает такие проверки как: пересечения треугольников друг другом в одной модели; пересечения каркасных моделей друг с другом; проверка на наличие отверстий (незакрытых областей); удаление вырожденных треугольников.

Инструменты построения и обработки блочных моделей необходимы для представления пространственного распределения природных компонентов, технологических признаков, экономической информации. Блочные модели используются для подсчета запасов, оптимизации границ карьеров, горно-геометрическом анализе, планировании открытых и подземных горных работ (ППР). Для обеспечения таких расчетов реализованы средства переблокировки блочных моделей; реализована возможность табличного представления блочной модели, в которой строки таблицы содержат информацию о каждом блоке модели, такую как координаты центры блока, его размеры, содержание по всем компонентам и расчетным характеристикам. Обеспечена возможность пространственной и условной фильтрации блочной модели, и создания новых атрибутов либо для всех блоков модели, либо для их групп.

Геостатистика

Для нахождения зависимостей, описывающих изменчивость содержания полезного компонента, используются методы теории пространственной переменной – геостатистики, являющейся мощным инструментом для получения наиболее достоверной информации о запасах полезных ископаемых, оптимального планирования их отработки и проведения геологоразведочных работ. Инструменты

геостатистического анализа позволяют проводить полный цикл исследований месторождения с целью получения значений содержания полезных компонентов в любой точке массива в пределах рудных тел, включающий подбор теоретических вариограмм по направлениям и осуществление перекрестной проверки математической модели изменчивости.

С помощью кригинга производится нахождение наилучшей оценки средневзвешенного значения содержания полезного компонента в блочных моделях. Для оценки пространственной переменной используются значения опробования как внутри, так и вне оцениваемого блока, с весами, обеспечивающими минимум дисперсии оценки.

Кроме кригинга в системе MINEFRAME используются интерполяция методом обратных расстояний различных степеней, с учетом эллипсоида анизотропии рассчитываемых свойств.

Проектирование массовых взрывов

Разработка проектов массовых взрывов является одним из самых трудоёмких видов проектирования при ведении открытых и подземных горных работ. Сложность заключается в значительном объёме информации от различных производственных служб, необходимом при составлении проекта массового взрыва (МВ) и формировании текстовой и графической отчетной документации. Процесс проектирования взрывного блока на открытых горных работах состоит из следующих этапов:

- создание трёхмерной модели взрывного блока;
- расчет основных параметров буровзрывных работ (БВР);

- автоматизированное размещение моделей скважин 1-ого и 2-ого рядов,

- размещение моделей взрывных скважин с помощью электронной палетки, корректировка параметров скважин в ручном режиме.

- формирование моделей скважин на основе данных фактического бурения;

- использование моделей скважинных зарядов;

- формирование схемы коммутации скважинных зарядов;

При проектировании подземных массовых взрывов решаются следующие задачи:

- Автоматических расчет расположения скважин, в зависимости от заданных параметров проекта.

- Учет геотехнологических объектов, попадающих в область проектирования, при формировании веера скважин; определение влияние границы этих на расположение скважин.

- Управление координатами точки забуривания при проектировании скважин.

- Загрузка фактических данных по обуренным скважинам.

- Создание, редактирование и привязка конструкций зарядов к скважинам.

- Заряжание скважин на основе заданных шаблонов, в зависимости от длины или нумерации скважины.

- Создание каркасных моделей отбиваемых секций на основе вееров скважин, как проектных, так и фактических.

Определение направление углубки

Решение задач горно-геометрического анализа и определения направления углубки основано на использовании каркасных моделей текущего

положения карьера или природной топографической поверхности, положения карьера на конец отработки, а также блочных моделей рудных тел и вскрышных пород. Результатом работы разработанных алгоритмов является положение вскрывающей выработки (разрезной траншеи, котлована) на каждом горизонте карьера. Для его нахождения у каждого элементарного блока блочной модели, попадающего в конечный контур карьера, рассчитывается средний коэффициент вскрыши в конусе с углом откоса рабочего борта. На блоках с рассчитанными коэффициентами строится связный неориентированный граф. Положение траншеи на горизонте определяется как подграф минимального веса необходимой (заданной) длины. Совокупность таких положений (осевых линий) на всех горизонтах и даст поверхность представляющую направление углубки.

Полученная в процессе поиска и построения поверхности направления углубки информация об объемах ПИ и вскрышных пород дает объективную основу для анализа режима горных работ, позволяет получить оптимальную последовательность развития горных работ, графики $V=F(P)$ и режима горных работ, календарный график разработки карьера.

Классификация запасов по степени подготовленности к выемке

Инструменты этого модуля позволяют определить объемы руды по степени подготовленности по классификации проф. А.И. Арсентьева: готовые к выемке запасы, подготовленные к выемке запасы и вскрытые запасы. Вскрытые запасы связаны со вскрытием рабочих горизонтов,

подготовленные – с завершением на них горно-подготовительных работ, готовые к выемке – с освобождением запасов от расположенного на них оборудования и сооружений. Исходными данными для такой классификации являются проектный угол откоса уступа и минимальная ширина рабочей площадки. Определение запасов руды происходит путем построения эквидистантных контуров от исходного положения карьера на минимальную ширину рабочей площадки под проектным углом откоса уступа. Результатами работы инструмента являются таблицы объемов каждого вида запасов по горизонтам и контуры, показывающие пространственное расположение этих запасов в карьере.

Интерактивный набор объемов при планировании ОГР

На основании анализа выделенных запасов можно отстраивать погоризонтные прирезки. Каждая прирезка содержит информацию об объеме и качестве ПИ или вскрышных пород с разбивкой на разновидности горных пород. Прирезку можно отнести к определенному периоду разработки (год, квартал, месяц), можно разбить на произвольное количество частей с отношением каждой к определенному периоду разработки в соответствии с последовательностью развития горных работ на данном горизонте.

Разработаны инструменты, предназначенные для интерактивного и наглядного набора объемных и качественных показателей по руде и вскрыше. Инструменты реализуют объемный шаблон рабочей зоны с заданными параметрами по каждому уступу: угол откоса уступа, ширина площадки, максимально допустимая подвижка вглубь борта и ограничение

минимальной шириной рабочей площадки по вышележащему уступу. Пользователь, перемещая этот шаблон в требуемом участке борта карьера, контролирует объемы, которые будут отработаны в текущем положении шаблона и принимает решение об их достаточности или, двигая шаблон, достигает требуемых показателей. Также реализован инструмент планирования открытых горных работ на основе системы разрезов. Он позволяет в интерактивном режиме формировать прирезки в карьере, рассчитывать их объемы прирезок и корректировать текущее положение карьера с учетом выемки этих прирезок.

График работы оборудования

При решении задач месячного планирования необходимо задавать расстановку горного оборудования, создавать график работы оборудования по блокам, уступам. Используемые для этого инструменты позволяют создать ежемесячные графики работы экскаваторов и буровых станков. Они содержат информацию о размещении экскаваторов по горизонтам карьера, их состоянии на каждый день (ППР, добыча руды или вскрыши, перегоны и пр.). В графике отображаются данные по объемам горной массы, разделенной по видам пород, и руды на начало и конец месяца, а также объёмные и качественные показатели руды, добытой конкретным экскаватором с каждого горизонта, размещение буровых станков и метраж пробуренных скважин. Автоматически рассчитываются плановые показатели по добыче и бурению, техника распределяется в графике ППР в соответствии с планируемыми взрывными днями. Набираются объемы руды и вскрыши для экскаваторов и метраж

скважин для буровых станков, строится суммарный график для рудника по нескольким карьерам, который отражает общую статистику по планово-предупредительным ремонтам, объемным и качественным показателям добычи.

В программу может быть загружен фактический график из диспетчерской системы, которая хранит информацию о координатах техники, виде и объеме перевозимого груза, скорости, уровне топлива и др., в зависимости от установленных датчиков. Положение техники связано с карьером и может быть визуализировано в 3D-модели.

Сменно-суточное планирование

Процесс сменно-суточного планирования заключается в управлении нагрузкой на добычную забой, таким образом, чтобы при соблюдении плановых качественных характеристик суммарного грузопотока обеспечить и его объемные показатели. Для обеспечения такого режима работы необходимо иметь модели выемочных единиц, а при ведении БВР – модель развала горных пород с прогнозом распределения качества опробованных компонентов, и модели экскаваторных заходок. Модели заходок формируются с учетом направления отработки, они разбиты на множество элементарных подвижек, для которых рассчитаны прогнозные показатели качества опробованных компонентов.

Процесс планирования заключается в интерактивном регулировании нагрузки на каждый забой, он осуществляется с помощью специального инструмента, который показывает каждую заходку в виде диаграммы, по оси абсцисс которой размещена шка-

ла элементарных подвижек, по оси ординат – шкала содержаний опробованных полезных и вредных компонентов. В заголовке каждой диаграммы отображены: общий объем заходки, отработанный объем и остаток. Нагрузка на забой представлена прямоугольниками различных цветов (отражают состояние нагрузки – планируемая, утвержденная к отработке, отработанная). Также отображаются суммарные сменные показатели – это объем и качество по компонентам. Таким образом, процесс планирования заключается в подборе таких нагрузок на забой, чтобы объемные и качественные показатели смены находились в пределах плановых показателей.

Проектирование борта карьера и оптимизация границ

Разработаны средства автоматизированного построения бровок, берм и площадок, съездов, траншей и насыпей. С их помощью решаются такие задачи, как создание бортов карьеров с параметрами, заданными их конструкцией; формирование схемы вскрытия и карьерных транспортных коммуникаций; построение моделей насыпных сооружений, в том числе отвалов.

Одной из важнейших задач при проектировании открытой разработки недр является определение конечных контуров карьеров. Решение этой задачи основывается на учете пространственного распределения полезных компонентов и принятых устойчивых или технологически допустимых углов откосов бортов карьера. За основу был взят предложенный С.Д. Коробовым [3] метод распределенных оценок и модификация этого алгоритма, разработанная Р.А. Dowd и А.Н. Onur [4]. Модификация

заключается в том, что при выполнении оптимизации необходимо осуществлять поиск пути между положительным и отрицательным конусом, что, в свою очередь, устраняет некорректность работы оригинального алгоритма в некоторых случаях.

Проектирование системы разработки ПГР

Для решения задач проектирования подземных горных выработок имеется обширный набор инструментов, позволяющих работать с их трехмерными векторными и каркасными моделями. Реализована возможность создания объектов подземных горных работ, которые представляют собой как линейные выработки с различными формами поперечного сечения, так и более сложные конструкции, такие как автоуклоны и автосъезды, камеры дробления, выпускные воронки, рудоспуски с бункерной частью и т.д. Построение модели подземного горного объекта может производиться по заранее определенной трассе с сохранением построенного полигона в базе данных, при этом автоматически формируется векторная и твердотельная модели.

Планирование слоевой выемки ПГР

Модуль планирования очистных работ для системы разработки со слоевой выемкой обеспечивает возможность проведения многовариантного анализа горнотехнических условий, возникших на момент начала процесса планирования. Это позволяет оперативно определять параметры производительности, показатели потерь и разубоживания ПИ и, в целом, качества руд, оценивать особенности применения различных вариан-

тов развития горных работ, подбирать технологическое оборудование. На основе сформированного плана горных работ производится расчет технико-экономических показателей по основным технологическим процессам добычи ПИ.

Информационной основой модуля планирования является цифровая модель месторождений и участков, данные которой используются при осуществлении расчетов и формировании всех видов горно-графической документации.

Планирование проходки

С помощью модуля планирования проходки, в рамках которого были реализованы инструменты расчета объема горно-проходческих работ осуществляется планирование проходки горных выработок для выбранного периода времени и реализована возможность анализа параметров проходки выработок с учетом: выбора планируемых объектов – линейные и камерные горные выработки подземных горизонтов и блоков; выбора направления проходки, скорости проведения для линейных и камерных выработок, количества забоев в одновременной работе; выбора очередности проведения выработок; планирования проходки с заданного сечения или времени;

Производится расчет расхода материалов и взрывчатых веществ на год и поквартально по всем планируемым выработкам. Инструменты ведения базы данных оборудования позволяют выбрать технику для каждой операции проходческого цикла и сформировать оптимальные комплексы оборудования.

Закладка

Закладка выработанного пространства является важной частью

технологии ведения горных работ на многих подземных рудниках. Наличие подобного модуля способствует не только совершенствованию практики проектирования и планирования горных работ, но также создает основу для решения задач повышения их безопасности и эффективности.

Инструменты для обеспечения работ, связанных с инженерным обеспечением работ по закладке выработанного пространства подземного рудника решают следующие задачи:

1. Работа с перемычками: расстановка, хранение проектных и фактических перемычек; определение расстояния между перемычками; редактирование (перемещение, удаление).

2. Создание секций: определение выработок, участвующих в построении секции; создание каркасной модели секции, как результат объединения фрагментов нескольких выработок.

3. Формирование актов: ввод параметров по секциям; управление документами, (акты, выкопировки) связанными с секциями и группами секций, входящих в акт передачи/возврата секций под закладку.

4. Формирование графических материалов: выкопировки из планов (в форме, принятой для акта передачи секции под закладку); разрезы; планы; сводные таблицы по секциям.

5. Формирование паспорта искусственной кровли

6. Трассировка трубопроводов: создание моделей трубопроводов с атрибутами разновидностей и параметров скважин, трубопроводов; подготовка графических материалов с трассировкой закладочных скважин, коллекторов, трубопроводов.

Мониторинг снегонакопления на лавиноопасных склонах

Подсистема мониторинга снегонакопления в зонах лавинной опасности, является важным элементом компьютерной технологии инженерного обеспечения горных работ, при разработке нагорных месторождения. Эта подсистема позволяет выполнять цифровое моделирование рельефа гористой поверхности и снежного покрова на ней. Модель снегонакопления представляет собой ограниченный контур, внутри которого расположена ячеистая структура с параметрами снежной толщи по всей площади лавиноопасного склона, которые используются для определения зон лавинных очагов и объемов ожидаемых лавин.

Решение задач геотехнологии при разработке твердых полезных ископаемых является важной и ответственной частью инженерного обеспечения технологических процессов эксплуатации месторождения. Разработанные средства компьютерного моделирования, проектирования и планирования горных работ в системе MINEFRAME обеспечивают возможность решения этих задач в автоматизированном режиме, при этом, на каждом этапе работы возможна корректировка геотехнологических моделей, их пополнение и уточнение с учетом появившейся дополнительной информации. Инструменты системы позволяют реализовать современные методические подходы к автоматизированному проектированию, планированию и сопровождению горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Компьютерная технология инженерного обеспечения горных работ при освоении месторождений твердых полезных ископаемых.* С.В. Лукичев, О.В. Наговицын// Горный журнал, 2010, №9. с.11-15.
2. *Реализация автоматизированных рабочих мест геологов, маркшейдеров и технологов в системе GeoTech-3D.* С.В. Лукичев, О.В. Наговицын, А.В. Морозова «Неделя горняка – 2003».
3. *Коробов С.Д. Метод определения оптимальной конфигурации карьера на вертикальном разрезе// Проблемы создания САПР горнодобывающих предприятий.* - Тула: ТПИ. - 1977.
4. *Dowd P.A. and Onur A.H. Open-pit optimization - part 1: optimal open-pit design// Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Section A: Mining industry) 1993 A95-A104.* **ГИАЗ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Наговицын Олег Владимирович - кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ГОИ КНЦ РАН, Naqovitsyn@goi.kolasc.net.ru
Лукичев Сергей Вячеславович – доктор технических наук, заместитель директора ГОИ КНЦ РАН, Lu24@goi.kolasc.net.ru

