УДК 550.8.028

К.В.МОРОЗОВ, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, k_moroz@rambler.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)
С.В.ЛУКИЧЁВ, *д-р техн. наук, заместитель директора по научным вопросам, lu24@goi.kolasc.net.ru*
Горный институт КНЦ РАН, г.Апатиты

K.V.MOROZOV, *PhD in eng. sc., leading research assistant, k_moroz@rambler.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)
S.V.LUKICHEV, *Dr. in eng. sc., Deputy director on science, lu24@goi.kolasc.net.ru*
Mining Institute of the Kola Research Centre RAS, Apatity

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СТАДИЯХ РАЗВЕДКИ, ОТРАБОТКИ И КОНСЕРВАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Изложены методики применения специализированного применения программного обеспечения на стадиях разведки, проектирования, планирования и сопровождения горных работ, а также при ликвидации или консервации месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: компьютерные технологии, программное обеспечение, месторождения, разведка, отработка, проектирование, планирование, горные работы.

THE USE OF COMPUTER TECHNOLOGIES AT THE STAGES OF PROSPECTING, MINING AND CONSERVATION OF MINERAL DEPOSITS

The article described the methods for the use of specialized application of software on the stages of exploration, design, planning and maintenance of mining operations and also in abandonment or conservation of mineral resources deposits.

Key words: computer technologies, software, deposits, prospecting, mining, designing, planning, mining.

Разработка месторождений полезных ископаемых (МПИ) включает следующие основные стадии:

1. Геологическая разведка, в ходе которой классифицируются запасы, уточняются контуры геологических тел и распределение содержания полезных компонентов.

2. Проектирование отработки месторождения на основе проведенного технико-экономического обоснования кондиций.

3. Планирование горных работ, обеспечивающее реализацию проектных решений при отработке МПИ.

4. Сопровождение горных работ, включающее геологическое, маркшейдерское и технологическое обеспечение инженерных служб горного предприятия.

5. Ликвидация или консервация месторождения, необходимая для обеспечения комплексной безопасности технологических и природных объектов, находящихся в зоне влияния отработанного МПИ.

Оперативное и качественное выполнение каждой из этих стадий требует координации усилий сотен специалистов, работы со значительными объемами информации, использовании сложных математических аппаратов и в реальных условиях немыслима без применения современного программного обеспечения (ПО).

Исторически первые попытки построения автоматизированных систем инженерного обеспечения горного производства предпринимались как нашими, так и зарубежными специалистами и датируются началом семидесятых годов двадцатого столетия. Сегодня больше известны программные продукты (ПП) зарубежного происхождения, такие как DATAMINE (Mineral Industry Computing Ltd), SURPAC (Surpac Software International), GEMCOM (Gemcom Software International), MINESCAPE (Mincom Pty Ltd), MICROMINE (Micromine Pty), VULCAN (Maptek KJRA Systems).

Среди ПП, созданных в странах СНГ и направленных на комплексное решение горно-геологических задач, можно выделить MINEFRAME (Горный институт КНЦ РАН, Россия), GEOMIX (ВИОГЕМ, Россия), САМАРА (ООО «Лаборатория комплексных технологий», Украина) и K-MINE (Кривбасакадеминвест, Украина).

Каждый из перечисленных ПП обладает как достоинствами, так и недостатками, которые необходимо учитывать для оптимального решения поставленных задач. Критериями оптимального выбора являются: функциональный набор решаемых задач, стоимость ПО и технического сопровождения, трудоемкость освоения и внедрения, оперативность технической поддержки со стороны разработчиков ПО. К существенным достоинствам ПО следует также отнести возможность его адаптации под нестандартные задачи конкретного горного предприятия.

Возможности современных компьютерных технологий для каждой стадии освоения МПИ рассмотрим на примерах использования системы MINEFRAME, созданной в Горном институте КНЦ РАН.

Геологические объекты моделируются на основе данных опробования. В системе MINEFRAME ввод и табличное представление данных реализовано в форме привычного для геолога журнала опробования, а наличие функций поиска, сортировки, фильтрации, импорта и экспорта ускоряет и упрощает работу с большими объемами данных.

Ввод данных может осуществляться как в геодезических, так и в рудничных координатах. Для удобства работы с базами данных (БД) в геологическом редакторе, входящим в состав системы, разработан ряд инструментов, таких как: импорт данных из тестовых файлов, поиск данных, их сортировка, сохранение сводных таблиц в текстовом формате, выделение рудных интервалов. Предусмотрена возможность выборки данных по пространственным координатам X, Y и Z. Реализовано графическое представление колонки скважины с диаграммами содержаний полезных компонентов. При задании кондиций (бортовое содержание, минимальная мощность рудного тела, максимальная мощность прослоев пустых пород) возможно автоматическое получение рудных интервалов по скважинам.

Визуализация данных опробования в трехмерном моделируемом пространстве осуществляется в среде графического редактора GeoTech-3D, являющегося ядром системы MINEFRAME. Для повышения информативности возможно отображение траектории скважины, ее устья, а также данных по наименованию и длине как скважин, так и отдельных интервалов опробования; значениям содержания выбранного компонента с заданной точностью представления.

Все современные ПП, обеспечивающие решение геологических задач, обладают средствами 3-мерного моделирования геологических тел, включая построение векторных, каркасных и блочных моделей. Отличие заключается в наличии функциональных возможностей создания сложных моделей геологических объектов, информация о которых может быть, например, представлена системой вертикальных и горизонталь-

ных разрезов, полученных по данным детальной и эксплуатационной разведки.

Создание блочной модели необходимо для моделирования распределения содержания компонент полезного ископаемого в границах геологического тела, моделирующего запасы. Для этого в системе MINEFRAME, как и в других подобных системах, используются различные методы интерполяции. Применительно к блочным моделям – это метод обратных расстояний и кригинг.

В основе кригинга лежат геостатистические исследования данных опробования. Предварительной стадией геостатистического исследования является анализ гистограммы распределений значений содержаний компонентов полезных ископаемых. Вид гистограммы позволяет увидеть явные погрешности в исходных данных геологического опробования. Вариограммный анализ – основной этап исследований, построен на подборе непрерывной теоретической функции, аппроксимирующей дискретную экспериментальную вариограмму, полученную по данным опробования. Подбор моделей может производиться как визуально, так и методами регрессионного анализа. При верно выбранной модели вариограммы получается близкое к истинному среднее содержание данного компонента по оцениваемой залежи, так как не происходит систематического завышения или занижения значений. В результате модель, созданная по данному методу, имеет наименьшую (по сравнению с другими) ошибку в оценке количества и качества запасов.

Наличие блочной модели дает информацию о пространственном распределении полезного ископаемого, как в границах рудного тела, так и выемочных единиц, что является необходимым условием для реализации задач планирования горных работ.

Проектирование горных работ с использованием компьютерных технологий основывается на наборе функций, позволяющих создавать объемные модели объектов горной технологии с их привязкой в трехмерном моделируемом пространстве месторождения.

В системе MINEFRAME для создания моделей подземных объектов разработаны средства параметрического формирования выработок на основе типового набора их сечений.

Специалистам, проектирующим открытые горные работы, предоставлены инструменты автоматизированного создания конструктивных элементов борта карьера (площадки, бермы, съезды, уступы), моделей траншей, котлованов, насыпей, при формировании которых осуществляется автоматическая отстройка откосов с учетом заданных параметров.

При создании проектов специалистами активно используются общие инструменты системы MINEFRAME для создания моделей топоповерхности, отвалов, складов горной массы, водных объектов, систем водопонижения и отведения (скважин, дамб, каналов, отстойников промышленных вод), дорог, трубопроводов, ЛЭП и других объектов инфраструктуры горно-добывающего предприятия.

Планирование горных работ связано с реализацией проектных решений, что при использовании компьютерных технологий предполагает формирование моделей выемочных единиц и определение порядка их отработки. Для нахождения содержания ПИ в выемочных единицах и учета горно-геологических условий их отработки используются геологические и геомеханические модели месторождения. Наличие моделей проектных объектов горной технологии позволяет моделировать не только порядок выемки ПИ, но и развития горных работ.

Традиционно планирование горных работ разделяется на долгосрочное, среднесрочное и краткосрочное (оперативное). Долгосрочное планирование не требует высокой детализации, поэтому в его основе лежит работа с блочными моделями рудных тел, что и реализовано в большинстве ПП. Для среднесрочного и оперативного планирования наряду с объемными и качественными показателями важным является моделирование геометрии горных работ.

Исходными данными для планирования являются показатели добычи по объему и

качеству руды, объемы вскрыши, направление развития горных работ, а также каркасные модели карьера и блочные модели рудных тел на начало планируемого периода. Инструменты для создания объемных моделей поуступных прирезок позволяют формировать их векторные и каркасные модели по одному из трех параметров: объем, ширина или длина прирезки. При этом в качестве ограничения может выступать проектное положение борта карьера. Каждую прирезку в зависимости от срока планирования можно дополнительно разделить на части и отнести к определенному периоду разработки в соответствии с логикой развития горных работ на уступе.

Контроль степени достижения плановых показателей осуществляется с помощью сводной таблицы, содержащей сведения об объемах и планируемых периодах.

Заключительным этапом в этом режиме работы является формирование модели карьера на конец планируемого периода, в результате чего производится автоматическая корректировка положения верхних и нижних бровок карьера по границам созданных прирезок. Таким образом, можно получить геометрию карьера как на конец планируемого года, так и на любой промежуточный этап отработки.

Квартально-месячное планирование осуществляется с использованием моделей прирезок при соблюдении плановых характеристик суммарного грузопотока. Схема отработки прирезки формируется с учетом направления ведения горных работ. При этом создаются модели последовательности отработки прирезки, представляющие собой множество элементарных подвижек одинакового объема, для каждой из которых рассчитываются прогнозные показатели качества. Для этого периода планирования производится также расстановка оборудования, что реализовано путем его выбора из БД и интерактивного размещения на модели карьера.

Процесс оперативного планирования осуществляется регулированием объемов добычи по забоям с выводом диаграммы распределения качества в направлении движения забоя и суммарных показателей рудопотока.

Планирование предполагает выполнение отдельных локальных проектов, наиболее сложными и ответственными из которых являются проекты массовых взрывов (МВ). Проектирование МВ для открытых горных работ в системе реализовано в виде специализированного набора инструментов, обеспечивающих расчет рациональных параметров буровзрывных работ.

Сопровождение горных работ включает функции поддержки текущей работы геологической, маркшейдерской и технологической служб предприятия. Значительная часть ПО рабочих мест геолога и технолога была уже рассмотрена выше, поэтому остановимся на средствах автоматизации маркшейдерских работ, мониторинге технологических и техногенных процессов.

Важнейшим инструментом автоматизированного рабочего места маркшейдера являются средства моделирования горных выработок. Модели выработок можно создавать, либо опираясь на предварительно оцифрованные планы горных работ, либо произвольно в 3-мерном моделируемом пространстве.

При создании или редактировании выработки определяющим является элемент – сечение. Для задания параметров сечения разработаны интерфейсные средства, обеспечивающие ввод даты создания или проходки, формы сечения, типа крепи, положения осевой линии, таблицы домеров при ортогональной или тахеометрической съемке.

Все подземные выработки рудника (фактические и проектные) по методологии и сложности создания их моделей можно разделить на пять основных групп: вертикальные, камерные, горизонтальные, наклонные, выработки сложной конфигурации (например, автоуклоны). При этом перечисленные модели могут быть созданы в ручном или автоматическом режиме.

Вертикальные выработки строятся на наборе сечений, расположенных на параллельных горизонтальных разрезах. Моделирование камерных выработок практически совпадает с моделированием рудных тел.

Построение горизонтальных выработок осуществляется на горизонтальных разрезах с расстановкой сечений либо в ручном режиме, либо по полигону, сформированному по точкам съемки. Моделирование выработок сложной конфигурации удобно проводить, используя маркшейдерские точки (МТ), объединенные в полигон.

Особо следует отметить способ моделирования выработок с использованием векторизованных подложек их планов и вертикальных разрезов. При этом ширина выработки определяется согласно плану, а высотные отметки кровли и почвы – по разрезу.

Важнейшим инструментом каждодневной работы сотрудника маркшейдерской службы является редактор маркшейдерских точек. Он предназначен для ведения каталога МТ, обработки результатов тахеометрической и теодолитной съемки, определения координат точки методом прямой и обратной засечки, расчета и уравнивания теодолитных ходов.

Каталог МТ обеспечивает ведение БД маркшейдерских точек. С его помощью можно изменять информацию о маркшейдерских точках, перемещать точки в другие группы. Добавление точек в группу МТ может осуществляться через загрузку данных из файла. Формат файла настраивается пользователем.

Инструменты для расчета прямой и обратной засечки, а также обработки результатов тахеометрической съемки предусматривают сохранение исходных данных в файл с возможностью последующей загрузки, формирование отчета о результатах расчета в выбранном формате. Для обработки результатов тахеометрической съемки предусмотрена загрузка данных из файлов, формируемых электронными тахеометрами.

С помощью инструмента для расчета и уравнивания теодолитных ходов можно рассчитать: висячий ход; ход, опирающийся на дирекционный угол; ход, опирающийся на пункт с известными координатами; ход, опирающийся на пункт с известными координатами и известный дирекционный угол.

Мониторинг геомеханического состояния массива горных пород и горных выработок в ходе отработки месторождения строится на основе геомеханической модели месторождения. Под геомеханической моделью понимается геолого-маркшейдерская модель, включающая компьютерные модели рудного тела, тектоники и горных выработок, и координатно привязанные результаты исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Специалист, использующий данную модель, имеет оперативный доступ ко всем горно-техническим данным, характеризующим состояние массива горных пород в любой его точке.

Значения напряжений и деформаций можно получить расчетными и экспериментальными методами. В последнем случае мы имеем дело с наиболее точными и достоверными данными.

В большинстве случаев горной практики напряженное состояние массива горных пород оценивают косвенными методами по проявлениям горного давления, например, по сейсмической активности массива, связанной с его напряженно-деформированным состоянием.

Для обработки данных сейсмического мониторинга в ПО MINEFRAME имеется набор инструментов, предназначенных для визуализации и интерпретации сейсмических событий (СС), содержащих информацию о местах, размерах и интенсивности разрушений массива. Инструмент обеспечивает работу с данными, полученными системами контроля за СС в двух режимах: мониторинга результатов контроля и ретроспективного просмотра результатов контроля. У пользователей имеются возможности фильтровать события по времени и энергии, строить временные ряды и графики повторяемости событий. На экране мониторов, разрезах и планах события отображаются сферами или окружностями заданного цвета и размера. По результатам мониторинга может быть построена блочная модель месторождения по критерию сейсмической опасности, косвенно связанным с критерием удароопасности участка горных работ.

Характерным примером мониторинга технологических процессов является спутниковый мониторинг горно-транспортного оборудования на карьерах. Данный мониторинг кроме решения чисто диспетчерских задач по управлению транспортом и оборудованием позволяет в автоматическом режиме отслеживать процесс добычи и перемещения горной массы.

Ликвидация и консервация месторождения проводится на основании «Инструкции о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользованием недрами» (постановление № 33 Госгортехнадзора России от 2 июня 1999 г.).

Согласно данной Инструкции, для ликвидации месторождения необходимо подготовить проект, в котором отражается комплекс геологических, технологических, экологических и экономических характеристик, среди которых: геологическая и гидрогеологическая характеристика участка недр, состояние балансовых и забалансовых запасов, перспектива прироста запасов, зоны проникновения токсичных и вредных веществ во вмещающий горный массив, состояние горных выработок и оценка их устойчивости, состояние объектов инфраструктуры предприятия. Обязательной является оценка состояния окружающей среды, возможные образования провалов, трещин, затопления и заболачивания земной поверхности после ликвидации или консервации объекта. В состав проекта включаются копии основной геолого-маркшейдерской документации (топография, планы, разрезы, вертикальные и горизонтальные проекции).

В ходе подготовки проекта ликвидации или консервации необходимо решить множество инженерных задач. Например, при восстановлении нарушенных земель средствами MINEFRAME достаточно просто вычислить необходимые объемы земляных работ при операциях с существующей поверхностью открытых горной работ и плановой поверностью, являющейся результатом рекультивационных работ.

При ликвидации объектов под застроенными территориями наличие модели горных работ позволит определить необходимые объемы закладочных материалов для обеспечения сохранности горных выработок, расположенных выше безопасной глубины.

При «сухой» консервации объектов (п.49 Инструкции) основные горные выработки периодически осматриваются. Всю информацию об их состоянии и необходимых операциях по обеспечению сохранности возможно вести с использованием соответствующего ПО. В случае «мокрой» консервации необходим оперативный доступ ко всем данным, обеспечивающим информационную поддержку мероприятий по предотвращению загрязнения недр и водных объектов, нарушения гидрогеологического режима подземных вод.

Наличие геомеханической модели позволит контролировать активизацию опасных геомеханических процессов (сдвижений земной поверхности, оползней, обвалов, деформаций выработок и массива вокруг них), что также является составляющей проекта.

Таким образом, содержание проекта ликвидации горного предприятия во многом совпадает с проектом на разработку месторождения и специализированное программное обеспечение проектирования, планирования и сопровождения горных работ может быть использовано для подготовки и осуществления проекта ликвидации и консервации месторождения.

Использование компьютерных технологий на стадиях разведки, отработки и консервации месторождений полезных ископаемых в современных условиях является необходимым условием принятия обоснованных инженерных решений, обеспечивающих безопасное освоение месторождений.

Это сложный и трудоемкий процесс, объединяющий усилия значительного числа специалистов. Именно поэтому одним из главных результатов прошедшей в сентябре 2008 г. Всероссийской научной конференции «Компьютерные технологии при проектировании и планировании горных ра-

бот» явилось создание Координационного совета по компьютерным технологиям в горном деле.

Основная задача совета состоит в координации деятельности научных коллективов по разработке и внедрению инновационных компьютерных технологий в практику горного дела. Другой важнейшей составляющей является работа с Управлением горного надзора и Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых по сертификации программных продуктов и изменению требований к горно-технологической документации в связи с переходом предприятий на компьютерные технологии инженерного обеспечения горных работ.