

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В. Б. Скаженик, А. С. Петровская  
Донецкий национальный технический университет

*Проаналізовано сучасні вимоги до систем управління гірничими підприємствами, а також до автоматизованих систем планування розвитку гірничих робіт. Розглянуто існуючі зарубіжні пакети програм у цій галузі, запропоновано оптимізаційну модель розвитку гірничих робіт, представлено структуру розробленого програмного забезпечення.*

В рыночной экономике необходимым условием инвестиций в горнодобывающие объекты, как свидетельствует зарубежный опыт привлечения инвестиций, является наличие компьютерных моделей, обеспечивающих оперативную оценку вариантов эксплуатации месторождений и позволяющих принимать управленческие решения, адекватные изменяющейся конъюнктуре рынка. В условиях борьбы за инвестиции в развитие угольных шахт вопросы создания компьютерных моделей приобретают особую актуальность.

Оценка инвестиционной привлекательности горнодобывающих объектов предполагает рассмотрение возможных вариантов развития горных работ и технико-экономическую оценку каждого из них.

При этом необходимо в соответствии с принятой стратегией развития предприятия, исходя из сложившейся производственной ситуации, наметить технически осуществимые варианты развития работ, обеспечивающие требуемую производственную мощность предприятия. Для каждого из технически допустимых вариантов необходимо построить календарный план развития горных работ, включающий график ввода-выбытия добычных забоев и связанный с ним план проведения горных выработок.

Качество сформированных вариантов производственного плана зависит от степени учета реально существующих ограничений, выбор наиболее эффективного варианта предопределяется количеством рассмотренных вариантов. Поэтому адекватную оценку производственного плана можно осуществить только на основе компьютерного моделирования вариантов развития горных работ.

Ниже проанализированы существующие методы и подходы при формировании календарного плана развития горных работ, представлена математическая постановка задачи календарного планирования и структура разработанного программного обеспечения для принятия управленческих решений по развитию горнодобывающих объектов.

Впервые полностью компьютеризованные процессы: горное проектирование, оптимизация, календарное планирование появились в конце 80-х г.г. Программное обеспечение для горного моделирования и проектирования сегодня превратилось в системы, которые отличаются интерактивной графикой, высокого качества визуализацией поверхностей и моделей объектов, а также дружественными интерфейсами пользователя.

Возможностями планирования горных работ обладают системы двух типов [3]:

1. Горные системы общего назначения. Эти системы стандартно включают в себя такие разделы, как геологическое моделирование, оценка запасов, проектирование и планирование горных работ, календарное планирование и маркшейдерия. Имеется 5 лидирующих в мире компаний (Gemcom, Maptek, Mintec, Surpac и Datamine), которые предлагают на рынке такие системы.

2. Специализированные горные программные продукты. К ним относятся специализированные системы для областей технологии, которые пока (полностью или частично) не обеспечиваются универсальными горными системами. Обычная тематика таких пакетов: оптимизация карьеров, календарное планирование, буровзрывные работы, вентиляция, геомеханика, экология и т.д. Существует большое количество таких пакетов, которые создаются специализированными компаниями, самими горными предприятиями или исследовательскими учреждениями.

Далее перечисляются наиболее известные и распространенные горные системы, имеющие модули планирования:

1. Комплекс программ Vulcan (Австралия, компания KJRA Systems, член группы МАРТЕК). Фирма предлагает к системе Vulcan отдельный модуль календарного планирования горных работ Shute, который позволяет осуществлять автоматическую нарезку блоков в заданных контурах и получать графики оптимальной отработки взрывных блоков. При этом рассматриваются все влияющие факторы и ограничения. Используется трехмерная интерактивная графика компьютера Silicon Graphics. Программный комплекс также имеет модули контроля качества добываемой руды, проектирования массовых взрывов на подземных рудниках, оптимизации календарного плана горного предприятия, проектирования генпланов предприятий.

2. Модуль планирования iGantt (Австралия, компания MineMax).

iGantt отображает основанный на экономических показателях график добычи с помощью диаграммы Ганта. В системе может быть определено любое число атрибутов планируемых процессов, любой из которых можно отслеживать. В пользовательских отчетах можно получить контрольные показатели производства в виде цифровых значений или в форме графиков, а также в 3D виде.

3. Автоматизированная система SurvCADD 2000 (США, компания Carlson Software). Система имеет большой набор инструментов для проектирования рудников (подземных и карьеров) и последующего планирования. На экране результат планирования отображается в виде областей, показывающих, как распределяется по времени добыча руды, насколько эффективно загружено оборудование. Одновременно вся информация может быть выведена в виде пользовательских отчетов.

4. Система GEMCOM (Канада, компания Gemcom Software International Inc). Включает в себя функции от ввода первичных данных до блочного моделирования месторождений, проектирования и планирования открытых и подземных горных работ. Это одна из самых распространенных в мире систем. Она содержит следующие основные модули: управление данными геологоразведки; моделирование месторождений; проектирование карьеров и шахт; планирование горных работ; производственная программа; контроль производства; управление работой горного оборудования; экологическое моделирование; управление документооборотом предприятия.

5. Интегрированная система MineSight (США, компания Mintec Inc). Основные модули системы содержат следующие возможности: обработка данных по скважинам, статистика и компоновка; блочное моделирование на основе скважин БВР; геостатистика; оценка запасов руды (существующих и извлекаемых) с учетом качества; оптимизация и проектирование карьеров; планирование горных работ (долгосрочное и краткосрочное); проектирование размещения скважин в блоке; маркшейдерские расчеты; трехмерные модели пластов; проектирование отработки пластовых месторождений.

На протяжении нескольких лет сотрудниками ДонНТУ ведутся работы по созданию программного обеспечения для построения графических моделей месторождений и решению задач управления горным производством на основе использования моделей. Программное обеспечение внедрено на ряде рудных месторождений России. В основу разработки подсистемы планирования горных работ заложены следующие соображения.

При разработке производственной программы горнодобывающего объекта требуется в рамках подготовленных и готовых к выемке запасов, применяемых систем разработки, имеющихся ресурсов определить сроки, места и интенсивность ведения добычных работ,

обеспечивающие требуемую производственную мощность шахты. Для решения этой задачи необходимо:

— наметить технически осуществимые варианты развития горных работ;

— определить оптимальное сочетание сроков начала выполнения подготовительных и добычных работ.

Выбор наиболее приемлемого варианта может быть проведен на основе формализации задачи календарного планирования и ее решения математическими методами [1]. Возможный вид формализованной постановки рассматриваемой задачи приводится ниже.

$$\sum_i \sum_t C_i A_i x_i^t + \sum_j \sum_t C_j V_j x_j^t \rightarrow \min$$

В качестве критерия для оценки возможных вариантов развития горных работ принимается минимум издержек на проведение добычных и подготовительных работ:

где  $A_i$  — месячная добыча из  $i$ -того очистного забоя;

$V_j$  — скорость проведения выработок  $k$ -того вида в  $j$ -том забое;

$C_i$  — себестоимость добычи 1 т угля из  $i$ -того очистного забоя;

$C_j$  — себестоимость прохождения 1 м выработки в  $j$ -той выработке.

$x_i^t = 0$ ;  $x_j^t = 0$  — целочисленные переменные, равные 1, если в

$t$ -ом периоде в  $i$ -ом очистном забое или в  $j$ -ом подготовительном забое работы ведутся, и равны 0, если работы в соответствующем периоде не ведутся.

Система ограничений может быть представлена следующим образом:

а) ограничение на минимальную добычу из всех очистных забоев шахты  $A_{ш}$

$$\sum_i A_i x_i^t \geq A_{ш} \quad (1)$$

б) ограничения на максимально возможную добычу из очистного забоя за весь период  $A_{вч}$

$$\sum_t A_i x_i^t \leq A_{вч} \quad (2)$$

в) опережение подготовительных работ  $t_{начi}$  перед добычными работами  $t_{конj}$

$$t_{начi} < t_{конj} \quad (3)$$

г) ограничение на одновременную работу нескольких добычных забоев (по факторам вентиляция, транспорт, горное давление и другие)

$$x_{il}^t + x_{im}^t = 1 \quad (4)$$

д) ограничение на непрерывность работ в добычных и подготовительных забоях;

е) количество одновременно действующих добычных забоев на данном предприятии не более заданного  $K_l$

$$\sum_i x_i^t \leq K_l \quad (5)$$

ж) количество одновременно действующих проходческих забоев на данном предприятии не более заданного  $K_3$

$$\sum_j x_j^t \leq K_3 \quad (6)$$

Для решения поставленной задачи могут быть использованы методы математического программирования или имитационного моделирования.

Основные функции разработанной подсистемы планирования:

- расчет плановых эксплуатационных запасов и объемов работ, показателей разубоживания и потерь;
- формирование возможных вариантов развития горных работ на перспективный и текущий период;
- расчет натуральных показателей сформированных вариантов горных работ;
- графическое моделирование динамики развития горных работ на руднике: отображение изменения во времени границ распространения горно-подготовительных и добычных работ; вывод на монитор диаграмм изменения во времени объемов горно-подготовительных, добычных работ, среднего содержания металла, добытого металла;
- имитационное моделирование возможных вариантов развития горных работ в различных условиях;
- учет фактического положения горных работ с отображением на графической модели;
- расчет фактических показателей работы предприятия за анализируемый период (объемов работ, количества добытой руды, металла);
- сопоставление и анализ полученных результатов с плановыми показателями.

Внедрение систем управления горным производством, основанных на компьютерном моделировании месторождений, позволяет:

- автоматизировать формирование взаимосвязанных вариантов добычных и подготовительных работ с учетом технологических и ресурсных ограничений;
- реализовать комплексный подход к созданию системы управления горным предприятием, учитывающий взаимосвязь геологических, производственных и экономико-финансовых задач горного производства.

## Литература

1. Скаженик В.Б., Моргун Е.Ю. Компьютерное моделирование развития горнодобывающих объектов с целью оценки их инвестиционной привлекательности: Геотехнологии на рубеже XXI – Донецк: ДУНПГО, 2001, Т.3. — С. 44–47.
2. Скаженик В.Б., Вицинский В.А., Кравченко А.А. Решение задач по управлению горнодобывающими предприятиями на основе графических компьютерных моделей. — Донецк: ДонНТУ, 1'2001. — С. 16–18.
3. Краткий обзор современного состояния программного обеспечения для горных предприятий // <http://www.geocad-it.ru/302/302r.html>

Поступила в редакцию 15 декабря 2003 года