© Н.Н. Беляков, 2014

УДК 622.271

Н.Н. Беляков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Своевременная корректировка параметров горных работ в соответствие с изменением условий разработки осуществляется посредством моделирования развития карьера на различных этапах его жизненного цикла. Современные горно-геологические программные комплексы позволяют исследовать варианты разработки месторождения при различных условиях. Структура модели представляет собой комбинацию информационных блоков, алгоритмов, постоянных и переменных параметров, ограничений, и зависимостей. Оперативная корректировка основных параметров карьеров требуется при существенных изменениях внешних и внутренних обстоятельств разработки. Высокая изменчивость условий горных работ обусловливает необходимость своевременного изменения текущих параметров карьеров. Для снижения ущерба от задержки корректировки параметров необходимо применение сокращенных процедур согласования, позволяющих минимизировать организационные усилия.

Ключевые слова: жизненный цикл карьера; горно-геологические программные комплексы; оперативная корректировка.

По мере увеличения глубины и мощности карьеров увеличиваются денежные потоки, что повышает требования к эффективности управления горными работами. Своевременная корректировка параметров горных работ в соответствие с изменением условий разработки осуществляется посредством моделирования развития карьера на различных этапах его жизненного цикла. Современные горно-геологические программные комплексы позволяют исследовать варианты разработки месторождения при различных условиях [1].

Целями моделирования открытых горных работ могут быть технико-экономические задачи, некоторые из которых приведены ниже:

• определение границ эффективного применения открытых горных работ;

• поиск оптимальных параметров применения отдельных технических решений;

• определение основания для среднесрочного планирования;

• оценка эффективности отработки месторождения или его отдельных этапов;

• сравнение альтернативных технических решений, направленных на выполнение аналогичных задач;

• прогноз изменения технико-экономических параметров на исследуемом этапе жизненного цикла карьера;

• анализ чувствительности системы открытых горных работ к изменению различных влияющих факторов;

• определение функциональных зависимостей между параметрами исследуемой системы и технико-экономическими внешними и внутренними факторами.

Эти цели определяют структуру модели и ее специфические конструктивные особенности. При построении модели обычно выполняются следующие этапы ее формирования:

• определение основной и вспомогательной цели моделировании;

• обоснование структуры имитационной модели;

• формализация взаимосвязей между элементами модели;

• определение значений ограничений и характеристик процессов;

• испытание разработанной модели и проверка достоверности получаемых результатов;

• проведение экспериментальных исследований и назначение итерационных циклов;

• анализ и адаптация полученных данных.

Горное производство представляет собой сложную многовариантную систему, поэтому ее исследование представляет собой итерационный многоуровневый процесс, включающий уточнение отдельных элементов исследуемой модели горных работ в процессе моделирования. Каждый уровень детализации отличается от предыдущего требуемой точностью расчетов.

Принципиально можно выделить следующие этапы детализации модели:

• эскизный этап, с определением блоков, исследование которых необходимо для достижения целей моделирования;

• этап базовой формализации выбранных элементов модели, предполагающий разработку качественных и количественных характеристик;

• структурная детализация на основе верификации и развития итерационных циклов;

• специальные дополнения для развития адаптационных возможностей использования результатов моделирования.

Структура модели представляет собой комбинацию информационных блоков, алгоритмов, постоянных и переменных параметров, ограничений, и зависимостей.

База исходных данных используемых в модели может возрастать по мере уточнения решаемых задач и расширения области исследования.

Многообразие горно-геологических и технико-экономических условий горнодобывающих предприятий предопределяет использование гибких многовариантных методов структуризации имитационной модели. Использование полученных результатов для условий конкретного месторождения требует детального изучения всего комплекса особенностей действующего или планируемого карьера.

Для всесторонней оценки условий использования технических решений необходим предварительный анализ всех факторов, оказывающих влияние на принятие решений.

Если неэкономические критериями проекта, к которым относятся экологические и социальные показатели, сложно оценить в стоимостном выражении, то экономическая эффективность проекта может быть представлена с минимальным количеством ограничений.

Важнейшей особенностью определения эффективности отработки глубоких горизонтов карьеров, является необходимость учета конструкций бортов карьера и пространственных ограничений развития карьера на каждой стадии эксплуатации месторождения полезных ископаемых.

Кроме этого, необходимо учитывать изменение производительности оборудования в ограниченных условиях, если такие будут иметь место на нижних горизонтах карьеров. В случае сокращения рабочей зоны карьера до критической величины вследствие размещения рабочих площадок альтернативного оборудования, изменение технологии может требовать корректировки основных параметров карьера.

В качестве основы имитационной модели, содержащей информацию о характеристиках исследуемого объекта, используется блочая модель месторождения полезных ископаемых. Для создания блочной модели могут быть использованы любые программные

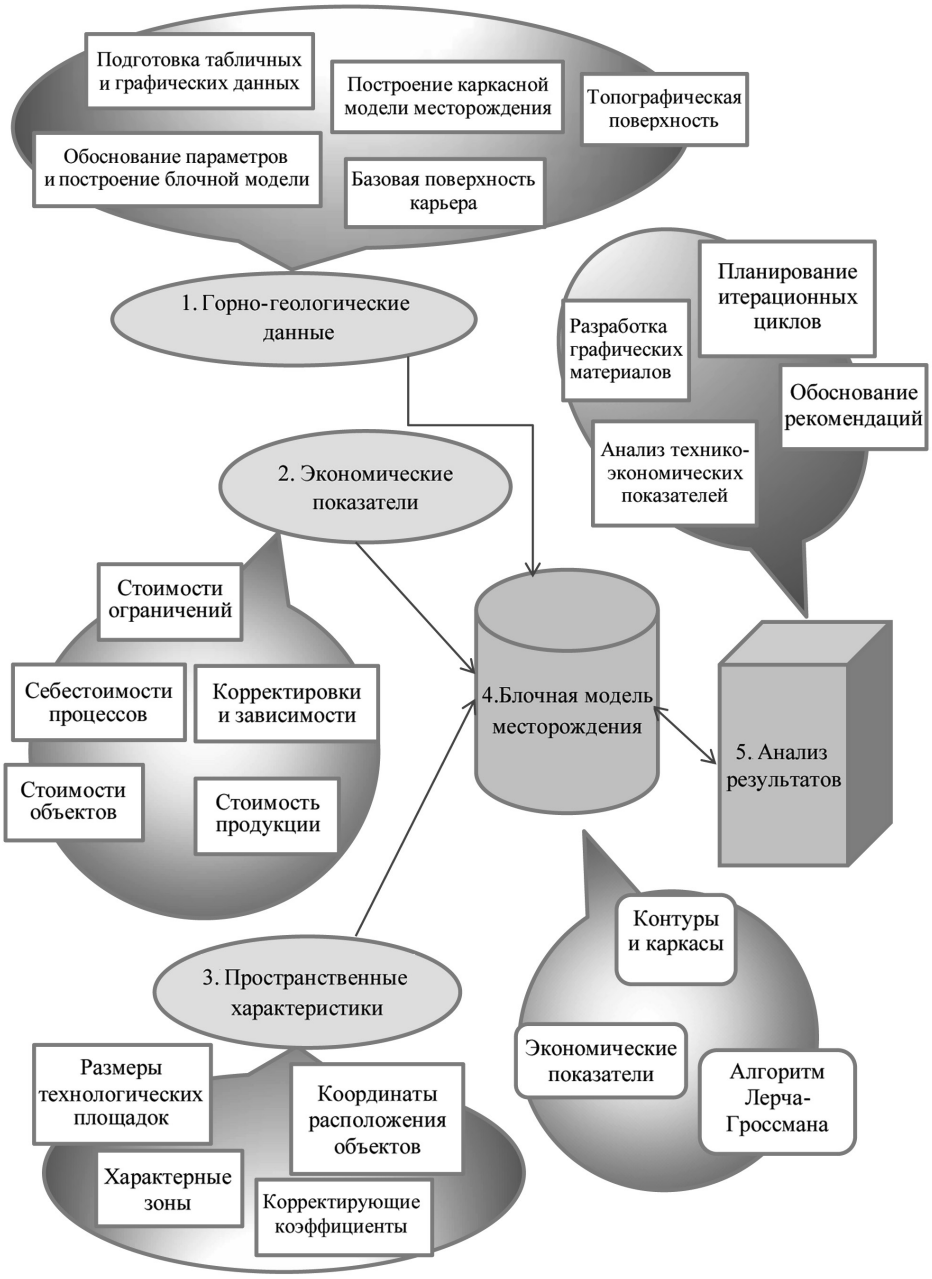

Рис. 1. Структурная схема имитационной модели

продукты имеющие функцию создания блочной модели.

Общая схема имитационной модели отработки глубоких горизонтов карьеров представлена на рис. 1.

Структура имитационной модели карьеров состоит из системы блоков исходных данных (блоки *1–3*), блока хранения и структуризации данных (*4*) и блока анализа полученных результатов (*5*).

Блоки исходных данных представлены и эндогенными и экзогенными факторами.

Экзогенными факторами, по отношению к системе имитационной модели, относятся геологические и топографические данные, некоторые виды ограничений и стоимостных показателей – т.е. показатели, не зависящие от принимаемых технологических решений и являющиеся условно постоянными при проведении моделирования. Экзогенные факторы могут иметь место во всех трех блоках исходной информации.

Эндогенными показателями являются данные, созданные или принятые в имитационной модели. К ним относятся промежуточные показатели состояния системы, полученные в результате обработки экзогенных показателей.

Выходными параметрами являются оптимальные характеристики применения исследуемых технологических решений и рекомендации по использованию, формализованные в виде технико-экономических показателей предлагаемых технологических решений и графических материалов.

Блок горно-геологических данных (*1*) структурирован в виде блочной горно-геологической моделью.

Блок исходной информации (*2*) «Экономические показатели» определяет стоимостные показатели для моделирования, включая рыночные стоимостные параметры продукции.

Пространственные характеристики имитационного моделирования (*3*) представлены технологическими площадками, необходимыми для исследуемых технологий, координатами расположения технологических объектов, выделенными характерными зонами, например, зоны отчуждения. Корректирующие коэффициенты определяют изменения параметров при расчетах в указанных зонах, например, величины потерь и разубоживания.

Полученная информация из первых трех блоков исходных данных загружается в блочную модель месторождения в виде атрибутов и ограничений.

Для определения направления развития горных работ используется

программные модули в основе которых заложен алгоритм типа Лерча-Гроссмана [2]. Ниже приведены наиболее популярные программные комплексы использующие этот алгоритм (таблица).

Завершается процесс моделирования анализом полученных технико-экономических показателей, разработкой итоговых графических показателей и обоснованием рекомендаций для горно-добывающего предприятия (4).

При моделировании горных работ используются различные технико-экономические критерии. Для оценки текущего состояния карьера на различных этапах его жизненного цикла, удобно использовать Текущий чистый дисконтированный доход (ТЧДД), при расчетах которого моментом приведения являются последовательно все точки временного графика [3].

В результате моделирования могут быть установлены различные варианты отработки месторождения в зависимости от изменяющихся параметров горных работ (рис. 2).

Анализ тенденций изменения факторов оказывающих наибольшее влияние на эффективность отработки месторождения показывает, что изменение рыночной стоимости полезного ископаемого в наибольшей степени может определять экономически эффективные границы горных работ (рис. 3).

В исследуемом случае рассматривались варианты отработки месторождения с применением автотранспорта и циклично-поточной технологии. Установленные тенденции снижения экономически эффективной границы

Программные продукты для определения направления развития открытых горных работ

Компания-продавец		Название программы
DM DEEPMINE THE STRATEGY ENGINE	Boamine (Chile), http://boamine.com	DEEPMINE 1.2
CAE Mining	CAE Mining (Canada), http://www.cae.com/	SUMMIT NPV Scheduler
Carlson. Software for Land Development Professionals НИП-ИНФОРМАТИКА	Carlson (USA), http://www.carlsonsw.com «НИП-Информатика» (Санкт-Петербург), http://www.carlsonsw.ru/	Carlson Surface Mining Проектирование и планирование открытых горных работ
DASSAULT SYSTEMES	Dassault Systèmes GEOVIA Inc. (French), http://www.3ds.com/ В Москве: ООО «Дассо Систем Джеовия РУС», (Dassault Systèmes GEOVIA RUS LLC), www.3ds.com/GEOVIA	GEOVIA | Whittle
KAI	Научно-производственное предприятие «КРИВБАСС-АКАДЕМИНВЕСТ», Украина http://kai.com.ua	Геоинформационная система K-MINE K-MINE
MAPTEK	Maptek. (Australia), www.maptek.com	Vulcan™
MICROMINE Intuitive Mining Solutions	Mikromine Rty Ltd. (Australia), http://www.micromine.com/ MICROMINE Russia, http://ru.micromine.com	Micromine Micromine
VENTYX AN ABB COMPANY	http://www.ventyx.com/ru, (Australia) Austrade Москва, Moscow@austrade.gov.au Austrade Владивосток, Vladivostok@austrade.gov.au	Ventyx MineScape
MINEFRAME Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук	Mineframe (Russia) http://www.mineframe.ru/	
minemax	Minemax (Australia), www.minemax.com	Pit Optimization
MINESIGHT EXPERIENCE | LEADERSHIP | RESULTS	Mintec (USA), www.minesight.com	LONG-TERM PLANNING
Runge Pincock Minarco	Runge (Australia), http://www.rpmglobal.com/ CJSC Runge trading as Runge Pincock Minarco Moscow, info@rpmglobal.com	храс

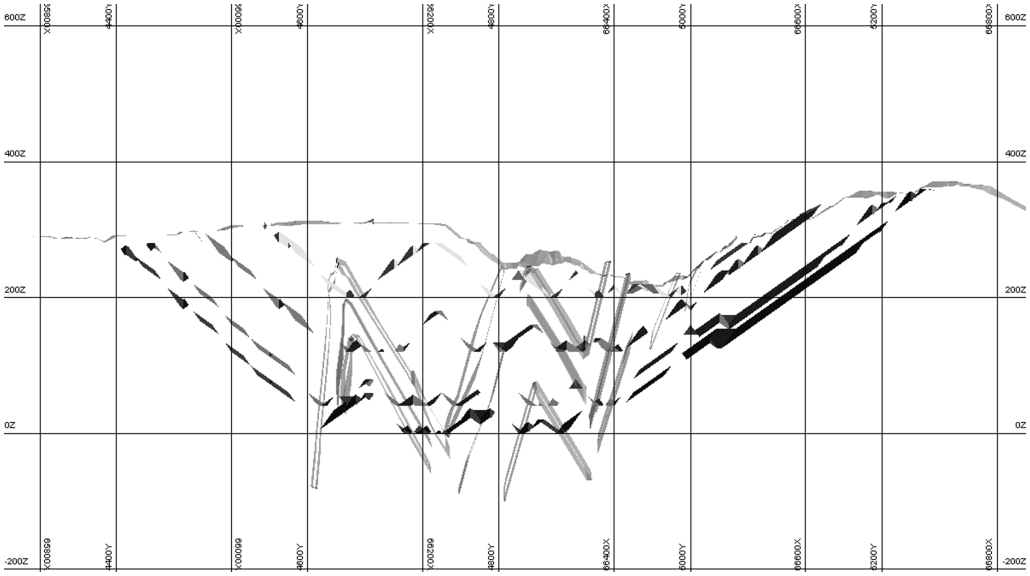

Рис. 2. Различные варианты отработки месторождения в зависимости от параметров моделирования

отработки месторождения в пределах установленных лицензионных объемов. При снижении стоимости добытого полезного ископаемого до критического значения происходит сокращение экономически целесообразной границы отработки. При этом, отличие отрабатываемых объемов полезного ископаемого в зависимости применяемых технологических решений может составлять существенную часть месторождения.

Этот пример показывает высокую динамичность изменения основных параметров карьеров в зависимости от быстро изменяющихся внешних и внутренних факторов. Определение с помощью моделирования величин корректировки основных параметров открытых горных работ, позволяет отрабатывать месторождения с максимальной эффективностью. Однако, принятия решений по изменению параметров, во многих случаях, требует минимизации процедур административного согласования. Время затраченное на согласования изменения

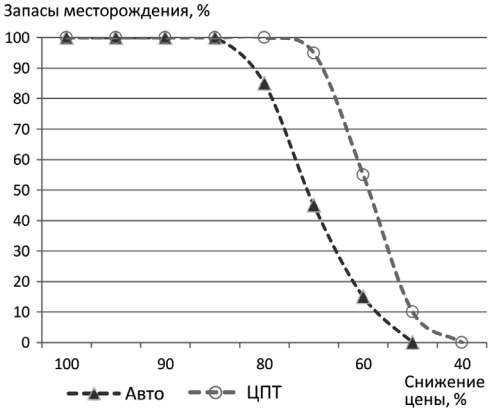

Рис. 3. Тенденции изменения объемов отрабатываемого полезного ископаемого при снижении рыночной стоимости полезного ископаемого

параметров горных работ обусловливает сокращение эффективности горных работ. При этом, величина экономического ущерба определяемого длительностью согласования, зависит от величины эффективности корректировки параметров в изменившихся условиях.

Выводы

• Разнообразие основных технико-экономических показателей предопределяет многовариантную итерационную структуру алгоритма вычислений имитационной модели открытых горных работ. Важным элементом анализируемой системы является динамика пространственных параметров карьеров с учетом влияния технологических зон использования альтернативных технологий.

• Моделирование изменения технико-экономических показателей в рамках жизненного цикла отработки месторождения на основе современных программных средств позволяет оперативно корректировать основные параметры горных работ в зависимости от изменения различных влияющих факторов.

• Высокая изменчивость условий горных работ обусловливает необходимость своевременного изменения текущих параметров карьеров. Для снижения ущерба от задержки корректировки параметров необходимо применение сокращенных процедур согласования, позволяющих минимизировать организационные усилия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Капутин Ю.Е.* Информационные технологии и экономическая оценка горных проектов. – СПб.: Недра, 2008.

2. *Стагурова О.В.* Алгоритм Лерча-Гроссмана в задаче определения границ карьера в его предельном положении // Недропользование XXI век. – 2010. – № 6.

3. Беляков Н.Н. Выбор экономических критериев для моделирования развития карьеров // Уголь. – 2013. – № 6. – С. 28–29. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Беляков Николай Николаевич – кандидат технических наук, руководитель Лаборатории планирования и оптимизации горных работ, e-mail: bel221@mail.com.

UDC 622.271

MODELING OF OPEN PITS

Belyakov N.N., Candidate of Technical Sciences,
Head of Laboratory of Mining Planning and Optimization, e-mail: bel221@mail.com.

Duly updating of parameters of mining operations in conformity with change of conditions of development is carried out by means of modeling development of open pits at various stages of its life cycle. Modern mining – geological software complexes allow to investigate variants of development of a deposit under various conditions. The structure of model represents a combination of information blocks, algorithms, constants and variable parameters, restrictions, and dependences. Operative updating of key parameters of open pits is required at essential changes of external and internal circumstances of development. High variability of conditions of mining operation causes necessity of duly change of the current parameters of open pits. For decrease of damage from a delay of updating of parameters application of the reduced procedures of the coordination, allowing minimizing organizational efforts is necessary.

Key words: life cycle of the open pits; mining–geological software complexes; operative updating.

REFERENCES

1. Kaputin Yu.E. *Informatsionnye tekhnologii i ekonomicheskaya otsenka gornykh proektov* (Information technologies and economic appraisal of mining projects), Saint-Petersburg, Nedra, 2008.

2. Stagurova O.V. *Nedropol'zovanie XXI vek*, 2010, no 6.

3. *Belyakov N.N. Ugol'*, 2013, no 6, pp. 28–29.