

**О.В.НАГОВИЦЫН**, канд. техн. наук, *nagovitsyn@goi.kolasc.net.ru*

**С.В.ЛУКИЧЕВ**, д-р техн. наук, *lu24@goi.kolasc.net.ru*

**А.Ю.АЛИСОВ**, аспирант, *alisov@goi.kolasc.net.ru*

*Горный институт Кольского научного центра РАН, г.Апатиты Мурманской обл.*

**O.V.NAGOVITSYN**, *PhD in eng. sc.*, *nagovitsyn@goi.kolasc.net.ru*

**S.V.LUKICHEV**, *Dr. in eng. sc.*, *lu24@goi.kolasc.net.ru*

**A.Yu.ALISOV**, *post-graduate student*, *alisov@goi.kolasc.net.ru*

*Mining Institute of the Kola Research Center of the RAS, Apatity, Murmansk region*

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В СИСТЕМЕ MINEFRAME

Представлены результаты разработки средств для автоматизированного проектирования и планирования на карьерах в системе Mineframe. Показаны такие особенности процесса автоматизированного планирования, как выделение погоризонтных запасов, создание годовых прирезок, набор из них квартальных (месячных) объемов, составление месячного графика работы оборудования с расстановкой по уступам, решение задач декадно-суточного и сменного планирования на основе моделирования заходок.

**Ключевые слова:** карьер, планирование, проектирование, автоматизация, моделирование.

## PROBLEM SOLVING OF DESIGN AND PLANNING OF OPEN PIT MINING IN MINEFRAME SYSTEM

The article presents the results of development for computer-aided design and planning of open-pit mines with the Mineframe software. There have been shown such peculiarities of computer-aided planning process as horizon reserves, development of annual cutbacks, searching of quarterly (monthly) volumes, monthly scheduling of equipment operation placed on benches, solution of the problems of ten-day periods, daily and shifts planning based on bench modeling.

**Key words:** open pit, planning, design, automation, modeling.

**Общие положения.** Программное обеспечение (ПО) для проектирования и планирования горных работ начинает достаточно широко применяться на рудниках, шахтах и в карьерах. Применение такого ПО значительно повышает качество принимаемых проектных решений и улучшает экономические показатели горного производства. Поэтому все больше горных предприятий переходят на автоматизированные методы решения инженерных задач для обеспечения процесса планирования горных работ. Приходит понимание того, что создание и использование баз данных и методов моделирования приводит к непосредственным выгодам, заключающимся в том, что используются и обрабатываются все большие

объемы информации. Эта информация структурируется, проверяется и становится надежным фундаментом для определения стратегии по добыче полезных ископаемых. Исключительно важными стали возможности трехмерного моделирования, так как в наглядной форме показывают особенности строения геологической среды, помогают принять правильные проектные решения на основании ясного представления о форме горных выработок, их пространственном положении и взаимодействии с геологической средой.

На мировом рынке предлагается более десятка интегрированных горных систем, которые имеют примерно одинаковую функциональность [1]:

- управление базами данных;
- интерактивная трехмерная графика и картирование;
- статистическая и геостатистическая обработка информации;
- трехмерное моделирование геологических объектов и поверхностей;
- проектирование открытых и подземных горных работ;
- планирование горных работ и календарное планирование;
- маркшейдерские расчеты;
- проектирование буровзрывных работ (БВР);
- создание горной графической документации.

Система автоматизированного проектирования, планирования и сопровождения горных работ Mineframe, разрабатываемая в Горном институте КНЦ РАН, обеспечивает вышеперечисленную функциональность, имеет развитые средства для проектирования и планирования горных работ.

**Проектирование горных работ.** Основой для проектирования горных выработок и насыпных сооружений является наличие трехмерных моделей, отражающих геологию месторождения, топографию местности и фактическое состояние горных работ. Сам проект представляет собой совокупность моделей тех объектов горной технологии, которые должны быть реализованы в процессе разработки месторождения. Для их создания используются как стандартные, так и специализированные инструменты:

- моделирования выемок (траншеи, котлованы и пр.) и насыпей (дороги, дамбы, отвалы, склады горной массы и пр.), при построении которых осуществляется автоматическая отстройка откосов с учетом заданных параметров;
- моделирования конструктивных элементов борта карьера (площадки, бермы, съезды, уступы) по заданным параметрам;
- оптимизации границ карьеров, определения направления углубки и режима горных работ;
- автоматизированного проектирования массовых взрывов на карьерах.

Перспективным для проектирования является использование базы данных моделей

стандартных конструктивных элементов и узлов систем разработки, что значительно упрощает и ускоряет процесс нахождения оптимальных технологических решений, особенно применительно к подземным горным работам.

Традиционно к проектной части относят средства геометрического моделирования. С их помощью проектировщик задает форму моделей, добавляет и удаляет их части, проверяет их взаимное положение 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 имеют средства каркасного, поверхностного и твердотельного моделирования. Они обеспечивают создание и модификацию (в том числе и с помощью булевых операций) моделей топографических, бортов карьеров, отвалов, рудных тел, пластов и других объектов геологической среды и горной технологии. Существуют 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. Полученные объекты визуализируются в трехмерном пространстве моделирования, а инструменты построения разрезов помогают контролировать взаимное положение объектов моделирования. Важными инструментами анализа создаваемых моделей являются инструменты подсчета объемов добываемых полезных ископаемых, отрабатываемых и отсыпаемых в отвалы вскрышных пород.

Обоснование производственной мощности карьера и календарного плана, проектирование вскрытия и отвалообразования во многом происходит с использованием инструментов геометрического моделирования объектов открытых горных работ.

При определении направления развития горных работ в СССР в 60-80-е гг. прошлого

века [2,3] находили положение вскрывающей выработки (траншеи, котлована) на по-перечном разрезе с минимизацией текущего или среднего с начала разработки коэффициента вскрыши. Этот подход служил основой для горно-геометрического анализа и давал исходную информацию для построения графика объемов, определения рационального режима горных работ и построения календарного графика разработки. Традиционный подход был основан на методе поперечных разрезов и приемлем для своего времени, несмотря на то, что обладал некоторыми недостатками, в частности, был весьма трудоемок, а также требовал особым образом учитывать объемы в торцевых частях карьерной выемки.

С приходом объемных методов моделирования геологической среды, с возможностями более точного учета пространственного распределения качества полезного ископаемого, разновидностей вскрышных пород, стоимости их разработки и перемещения, появилась возможность применения оптимизационных методов, основанных на теории графов и методах динамического программирования. Таким образом, например, была решена задача оптимизации границ карьеров – алгоритмы Лерчса – Гроссмана, Коробова и плавающего конуса. С успехом эти алгоритмы применяются и для выделения пространственно-временных этапов разработки открытым способом. Для их правильного использования необходимо разрабатывать методику, учитывающую наличие обратной связи результатов оптимизации и значений исходных данных, так как основные исходные экономические параметры разработки ощутимо зависят от принятых границ карьера.

Однако применение этих алгоритмов для определения направления углубки выявило следующие особенности:

- не учитывается конструкция вскрывающей выработки;
- алгоритмы определяют форму оптимальной карьерной выемки для заданных экономических параметров – стоимости руды и затрат на вскрышу, однако эта форма не является формой карьера, образованной от вскрывающей выработки исследуе-

мого горизонта вверх по рабочим бортам, в соответствии с конструкцией уступов и рабочих площадок;

- не учитывается связь положений вскрывающей выработки на смежных горизонтах, которая определяется углами наклона бортов рабочей зоны.

Наличие этих ограничений не позволяет говорить о полной пригодности вышеупомянутых алгоритмов для определения режима горных работ. Следовательно, необходима разработка алгоритмов и методик автоматизированного нахождения объемной поверхности направления углубки и последующего решения задачи обоснования режима горных работ. Необходимо отметить, что удобным инструментом для решения такой задачи является использование методов блочного моделирования геологической среды. А с появлением возможности определения и задания для каждого блока модели детальной информации о качестве и стоимости полезного ископаемого, затрат на его разработку и удаления вскрышных пород становится возможным переход от анализа коэффициента вскрыши к исследованию соотношения стоимости удаления вскрышных пород к цене добываемого полезного ископаемого.

Для нахождения направления углубки могут быть использованы каркасные модели текущего положения карьера или природной топографической поверхности и положения карьера на конец отработки, блочные модели рудных тел и вскрышных пород. Результатом работы должно стать положение разрезной траншеи на каждом горизонте карьера. Для его нахождения для каждого элемента блочной модели, попадающего в конечный контур, рассчитывается средний коэффициент вскрыши в конусе с углом откоса рабочего борта карьера. На блоках с рассчитанными коэффициентами строится связный неориентированный граф. Положение траншеи на горизонте будет определяться как подграф минимального веса необходимой (заданной) длины. Совокупность таких положений (осевых линий разрезных траншей) на всех горизонтах и даст искомую поверхность, описывающую направление развития горных работ в пространстве карьера.

**Планирование горных работ.** Исходными данными для процесса планирования являются плановые показатели добычи по объему и качеству руды, объемы выемки вскрыши, направление развития горных работ, положение карьера на начало планируемого периода, модель геологической обстановки (блочные модели рудных тел).

В основе метода решения задачи текущего планирования лежит интерактивный подбор выемочных единиц, обеспечивающих заданный объем и качество руды на планируемый период.

Автоматизация процессов планирования включает выполнение следующих операций:

- 1) определение объемов руды по степени подготовленности;
- 2) формирование прирезок;
- 3) расчет качественных показателей полезного ископаемого (ПИ) в них;
- 4) набор годового плана;
- 5) переход к квартальному плану;
- 6) месячное планирование;
- 7) недельно-суточное планирование.

Инструменты Mineframe 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.

Результатами работы являются таблица объемов каждого вида запасов по горизонтам и контуры, показывающие пространственное расположение этих запасов в карьере.

На основании анализа выделенных запасов можно отстраивать погоризонтные прирезки. Прирезки представляют собой часть уступа с относительно однородными геологическими условиями и технологическими параметрами разработки [4]. Модели

прирезок обычно имеют форму скошенной призмы. Ее подошва одной стороной повторяет фактическую нижнюю бровку уступа, положение другой задает ширину прирезки. Обычно уровень подошвы – это отметка нижележащего горизонта, в некоторых случаях подошва следует форме почвы или кровли пласти. Верх прирезки создается точно по форме площадки верхнего горизонта, повторяя ее рельеф. Боковые поверхности прирезки отстраиваются по фактическому или проектному углу откоса отрабатываемого уступа. Каждая прирезка содержит информацию об объеме и качестве ПИ с разбивкой на разновидности горных пород.

Прирезку можно отнести к определенному периоду разработки (год, квартал, месяц), можно разбить на произвольное количество свободно конфигурируемых частей с отнесением каждой к своему периоду разработки в соответствии с логикой развития горных работ на данном уступе.

Для контроля набора объемов и качественных показателей в прирезках по планируемым периодам используется сводная таблица. Эта таблица может находиться в открытом состоянии во время создания и модификации прирезок. По мере появления новых или изменения старых прирезок данные в таблице синхронно изменяются. Также имеется возможность в произвольном порядке отображать (скрывать) прирезки, относящиеся к определенному периоду отработки.

Подсчет качественных показателей может быть произведен инструментальными средствами Mineframe тремя способами: с использования блочных моделей рудных тел с рассчитанными заранее параметрами распределения качества ПИ, методом метропроцентов с использованием моделей проб или путем применения процедуры интерполяции (метод обратных расстояний или кригинг) к блочной модели самой выемочной единицы. При подсчете объемных и качественных показателей выемочных единиц учитываются все геологические объекты, представленные в ее границах.

На последнем этапе планирования необходимо сформировать модель карьера на конец планируемого периода. Осуществля-

ется это корректировкой положения верхних и нижних бровок по границам созданных прирезок.

При решении задач месячного планирования необходимо задавать расстановку горного оборудования, создавать график работы оборудования по блокам, уступам. Для этого в системе Mineframe имеются автоматизированные инструменты, позволяющие рассчитывать месячный график работы экскаваторов и буровых станков. График содержит информацию о размещении экскаваторов по горизонтам карьера, их состоянии на каждый день (планово-предупредительные ремонты (ППР), техническое обслуживание (ТО), добыча руды или вскрыши), данные по объемам горной массы и руды на начало и конец месяца, а также объемы работ конкретного экскаватора с каждого горизонта и длину набуренных скважин по каждому буровому станку.

Процесс сменно-суточного планирования заключается в контроле нагрузки на добывной 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, 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 одинакового объема, для каждой подвижки также 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 шкала элементарных подвижек, по оси ординат – шкала содержаний опробованных полезных и вредных компонентов. В заголовке каждой заходки отображены: общий объем, отработанный объем и остаток. Нагрузка на забой представлена прямоугольниками различных цветов (отражают со-

стояние нагрузки – планируемая, утвержденная к отработке, отработанная). Внутри каждого прямоугольника (нагрузки) отображены объем и качественные показатели. 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. Во многих случаях ручной подбор вариантов распределения нагрузок на забой является сложной задачей. Для облегчения решения этой задачи предусмотрен автоматизированный режим, в котором происходит поиск вариантов нагрузок, отвечающих плану.

**Заключение.** Система Mineframe создает основу для перехода на новую, автоматизированную технологию инженерного обеспечения горных работ, которая предоставит специалистам современные инструменты планирования, проектирования и сопровождения горных работ. Ее использование дает возможность реализовать следующие функции:

- обеспечить стандартную системную среду для работы геологов, маркшейдеров, горных технологов в локальной вычислительной сети рудника, горного предприятия;
- использовать базовую клиент-серверную технологию хранения данных, а также технологию интеграции трехмерных моделей объектов горной технологии, созданных различными инженерными службами в едином комплексном проекте;
- создать основу для коллективной одновременной работы геологической, маркшейдерской, технологической служб, выполняющих различные виды работ единого комплексного проекта в целях сокращения времени проектирования и планирования горных работ.

Использование программных средств Mineframe, предоставляющих инструменты трехмерного моделирования в автоматизированном инженерном обеспечении горных работ, предоставляет их пользователям следующие преимущества:

- Обеспечение высокого качества горной документации, высокой точности в решении задач оптимизации. Получаемая до-

кументация соответствует требованиям стандартов горной графики и обладает высокой наглядностью, что, в конечном счете, приводит к повышению качества ведения горных работ.

• Повышение производительности труда инженерного персонала. Построив трехмерную модель объекта, можно автоматически получать чертежи различных видов и любых разрезов, а также комбинировать множество объектов горно-геологической обстановки. Проектирование и планирование горных работ становится наглядным и понятным, и в конечном итоге более эффективным.

• Повышение качества проектных решений. Учет геометрических особенностей залегания полезного ископаемого и существующих горных выработок обеспечивает высокое качество проектных решений, что приводит к экономии денежных средств и повышает безопасность ведения работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров). СПб.: Недра, 2004. 424 с.
2. Лукичев С.В. Автоматизированная система MineFrame 3.0 / С.В.Лукичев, О.В.Наговицын // Горная промышленность. 2005. № 6. С.32-35.
3. Планирование развития горных работ в карьерах / А.И.Арсентьев, А.А.Советов, В.С.Хохряков, Н.Д.Бевз, В.Г.Близнюков. М.: Недра, 1972. 152 с.
4. Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьере / Под ред. акад. Н.В. Мельникова. Л.: Наука, 1981. 280 с.

## REFERENCES

1. Kaputin Yu.E. Information technologies of planning of mining operations (for mining engineers). St.Petersburg: Nedra, 2004. 424 p.
2. Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V. Computer-aided Mine-Frame system 3.0 // J.Mining industry. 2005. N 6. P.32-35.
3. Arsentiev A.I., Sovetov A., Khokhryakov V.S., Bevz N.D., Bliznyukov V.Y. Planning of mining operations at open-pit mines. Moscow: Nedra, 1972. 152 p.
4. Improvement of methods for designing and planning of mining operations at open-pit mines / Edited by Acad. Melnikov. Leningrad: Nayka, 1981. 280 p.