УДК [553.411.043+622.342.1]:681.3.06

О.В.СТАГУРОВА, Ю.Е.КАПУТИН
ООО «ВИСТ Групп»,
С.А.ВАСИЛЬЕВ
ОАО «Высочайший»,
С.Н.ЖИДКОВ
ЗАО «НБЛзолото»,
М.Ю.КАТАНСКИЙ
ЦНИГРИ, Москва

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОБЫЧНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ GEMCOM НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЗОЛОТА В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Применение компьютерной технологии (продукт канадской компании «Gemcom Software Inc.») для оптимального проекта добычи рассматривается на примере золоторудного месторождения III группы сложности (формационный тип Сухого Лога). В последовательности моделирования были учтены индивидуальные особенности залежи и системы ее разведки: сложная складчатая структура с дислокациями высоких порядков, интенсивное искривление скважин и др. Детально рассмотрена процедура использования блочной модели для выбора оптимального контура карьера и составления плана горных работ на весь срок эксплуатации. При оптимизации формируется последовательность из многих карьерных поверхностей, получаемых при различных «коэффициентах дохода», отражающих переменный характер цены золота. Экономическая целесообразность применения и приобретения программных систем (типа Datamine, Gemcom, Micromine) горно-добывающими предприятиями зависит от объемов производства и конкретного перечня задач.

Application of computer module (product of Canadian Gemcom Software Inc. company) for the optimal design of mining is esteemed by example of a gold ore field of the III-rd group of geological complication (formational type of Sukhoy Log goldfield). The subsequent operations of modeling are taken under considerating peculiar features of the ore body and the system of its exploration: folded structure complicated by local dislocations, intensive crooking of drill-holes, etc. Composition of the blocking model is reviewed in detail from the point of its usage for a choice of an optimal outline of opencast mine and schedule of mining operations for the whole period of exploitation. During this optimization, there was formed a succession of numerous minable surfaces of future open-pits projected by calculations with different «profit ratios», which reflect possible variations of the gold price. Economical profitability of applying and acquisition of the computer program systems (such as Datamine, Gemcom, Micromine) by mines depends on volumes of their usage and a concrete list of resolving problems.

Компьютерные технологии могут быть применены для обеспечения добычных работ на золоторудных месторождениях типа Сухого Лога. Участок рассматриваемого месторождения сложен толщей протерозойских пород, смятой в антиклинальную складку. В составе продуктивной свиты ритмично переслаиваются терригенные и карбонатные породы: песчаники, известковистые песчаники, известняки, филлитовидные сланцы, алевролиты.

Кварц-пирит-арсенопиритовая минерализация приурочена к сбросу, рассекающему рудоносную толщу вдоль осевой плоскости антиклинали, и локализована в песчаниках, полого погружающихся на северо-запад под углом 10-15°. Зона максимальной концентрации сульфидов образует основное

пластообразное рудное тело протяженностью около 1 км. Текстуры руд прожилковые и вкрапленные. Самородное золото встречается в виде включений в пирите, реже в ассоциации с арсенопиритом.

По особенностям геологического строения и изменчивости содержания золота месторождение отнесится к III группе сложности по классификации ГКЗ. Физико-механические свойства пород и руд обеспечили при алмазном бурении высокий выход керна, что позволило использовать колонковые скважины в качестве основного технического средства разведки. Расположены скважины по системе параллельных вертикальных разрезов, плотность сети (40-60) × 50 м. Оруденение прослежено по простиранию и падению двумя горизонтами подземных выработок; контрольные восстающие, пройденные вдоль стволов скважин, подтвердили надежность данных кернового опробования. В целом горно-буровой системой разведки был обеспечен подсчет запасов по категории C_1.

Для проектирования карьера, планирования добычи и управления качеством руды, поступающей на фабрику, было решено приобрести специализированное программное обеспечение производства канадской компании «Gemcom Software Inc». Специалисты ООО «ВИСТ Групп», представляющего интересы «Gemcom» в России и странах СНГ, участвовали в разработке проекта наряду с геолого-маркшейдерской службой рудника.

Моделированию месторождения предшествовала кропотливая работа по созданию базы данных, представленной рядом таблиц: координат устьев скважин, подземных горных выработок, канав и траншей, данных инклинометрии, описания пород по скважинам, данных опробования и др. Геологическая модель месторождения была сконструирована в упрощенном виде, так как в стратиграфическом разрезе увязку рудных интервалов обеспечивает маркирующий горизонт известняков, а смещения по разрывным нарушениям имеют небольшие амплитуды.

Вначале была отстроена топографическая поверхность участка работ, затем по разрезам прослежены линии верхнего и нижнего контактов пачки известняков и на их основе построены поверхность пачки и трехмерная каркасная модель маркирующего горизонта (solid), образующего антиклинальную складку, осложненную пликативными дислокациями более высоких порядков.

На следующем этапе было выполнено трехмерное моделирование балансовых и забалансовых запасов в контурах блоков категорий C_1 и C_2, утвержденных ТКЗ (рис.1). Контуры блоков отстраивали на разрезах с привязкой линий к точкам начала и конца интервалов, с реальными координатами X, Y, Z, а не к их проекциям на плоскость разреза, как при традиционном ручном подсчете запасов. Эта деталь чрезвычайно важна для месторождений, где стволы скважины интенсивно искривляются по азимутам и углам наклона.

По условиям договора основная задача состояла в построении оптимального контура карьера и составлении плана горных работ на год, по годам, на весь срок эксплуатации месторождения, поэтому на следующем этапе был выполнен подсчет запасов с использованием процедуры кригинга и блочной модели.

Блочная модель в целом представляла собой параллелепипед размерами $L_x \times L_y \times L_z$, ориентированный в соответствии с пространственным положением рудного тела и состоящий из совокупности элементарных ячеек («блочков») размером $l_x \times l_y \times l_z$; размеры ячейки были приняты равными 10 × 10 × 5 м. Содержание золота в каждой ячейке было рассчитано методом ординарного кригинга. Для определения его

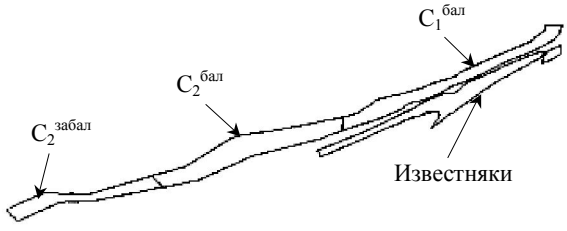


Рис.1. Положение запасов категорий C_1 и C_2 относительно контакта с известняками (разрез 13)

параметров и анизотропии оруденения были построены серии эмпирических вариограмм с последующей их аппроксимацией модельными функциями.

При подсчете запасов учитывались все ячейки, у которых не менее 1 % объема попадало в контур модели рудного тела. Для каждого из пограничных блоков точный объем его части, входящей в состав рудного тела, определялся с помощью операции needling. Блочная модель позволила оценить общие запасы рудного тела и, главное, представила распределение руд по качеству в его объеме, в том числе и по уступам проектируемого карьера. Эта информация была использована затем для экономической оптимизации параметров карьера с помощью программы Whittle.

В программе Whittle Four X Analyser используется алгоритм Лерча – Гроссмана, который является промышленным стандартом при оптимизации конечного контура при проектировании карьеров и применяется в программном обеспечении не только компании «Gemcom». Среди всех ячеек модели (начиная с одной ячейки) последовательно выделяются «вынимаемые» ячейки и для каждого их набора оценивается сумма экономических значений. В итоге программа находит такой набор «вынимаемых» ячеек, для которого эта сумма максимальна. При этом учитывается, что выемка любой ячейки возможна только вместе с несколькими вышележащими ячейками, каждая из которых, в свою очередь, может быть вынута только вместе с вышележащими ячейками следующего слоя модели и т.д. При определении такого рода взаимосвязи ячеек с вышележащими объемами система руководствуется задаваемыми предельными углами наклона борта.

Особенность системы Four X Analyser состоит в том, что в результате оптимизации формируется не один конечный контур карьера (набор вынимаемых ячеек), а целая последовательность поверхностей карьеров. Для получения такого результата расчет по алгоритму оптимизации выполняется многократно, при этом каждый раз задаваемый пользователем показатель дохода, получаемого от продажи металла, умножается на некоторый коэффициент. Диапазон и шаг выбора значений этих коэффициентов также задается пользователем. Например, при задании диапазона от 0,5 до 1,8 с шагом 0,1 система использует значения коэффициентов дохода 0,5; 0,6; 0,7; …; 1,6; 1,7; 1,8 и производит оптимизацию конечного контура для каждого из получаемых таким образом значений. Увеличение коэффициента дохода, т.е. повышение цены металла, приводит к увеличению размеров оптимального карьера. Последовательность получаемых при этом поверхностей представляет собой набор контуров карьеров, «вложенных» один в другой.

Смысл формирования на основе искусственного варьирования цены металла не одного, а нескольких контуров, заключается в том, что:

– получаемый результат позволяет оценить чувствительность проекта к изменениям исходных параметров затрат и доходов;

– карьеры из формируемой последовательности, внутренние по отношению к выбираемому в качестве конечного для данного проекта, представляют последовательное положение горных работ при экономически оптимальном их развитии, эти данные могут быть использованы как исходные при решении задач оптимального календарного планирования.

Углы наклона бортов карьера в их предельном положении были заданы в соответствии с рекомендациями НИИ, выполнявшего ранее исследования физико-механических свойств пород и руд месторождения, и с учетом элементов залегания слоистой рудовмещающей толщи. Был учтен и опыт разработки соседнего месторождения, где породы лежачего бока залежи легко сползали по плоскостям напластования. Откосы с углами больше, чем угол падения рудовмещающей пачки, оказались там неустойчивыми, выполаживались постоянным обрушением пород и в конечном итоге достигли углов поверхности напластования. При этом другие борта карьера оказались достаточно устойчивы.

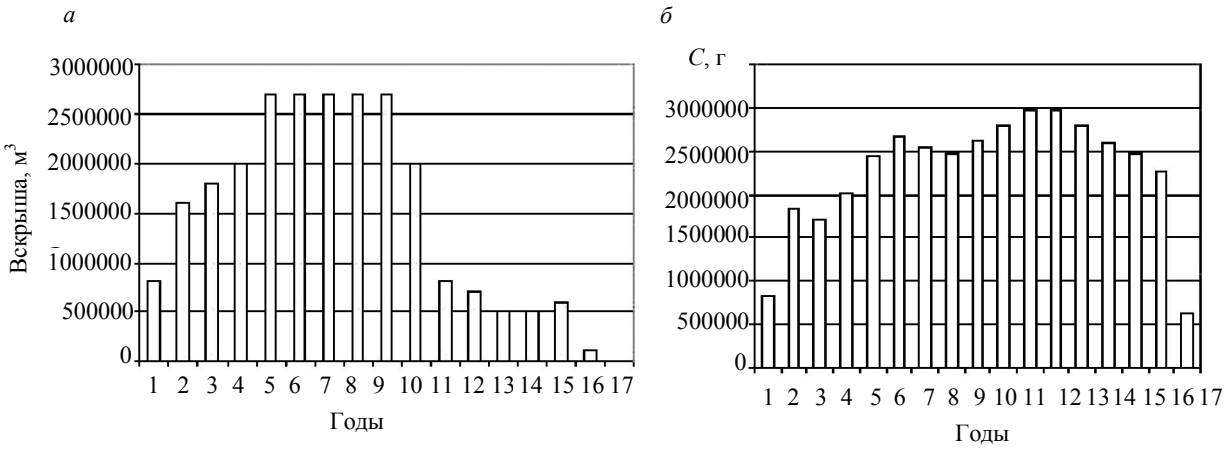


Рис.2. Графики объема вскрышных работ (*а*) и содержания золота в товарной руде (*б*) по годам на период эксплуатации карьера

С учетом этих факторов, были заданы следующие значения углов откоса борта карьера: по азимуту 0º – 48º, по азимуту 180º – 35º, по азимутам 90º и 270º (промежуточные направления) – 45º.

Календарный план горных работ по проекту карьера базировался на следующих основных параметрах (рис.2):

- производственная мощность карьера – 600 тыс.т руды в первый год разработки, 1200 тыс.т – в каждый последующий год;
- для вскрышных работ используются экскаваторы ЭКГ-4У с максимальной годовой производительностью 1 млн м^3 каждый;
- в течение срока службы карьера на выемке вскрыши одновременно работают 4 экскаватора.

Применение программных систем типа Datamine, Gemcom или Micromine экономически оправдано на горно-добывающих предприятиях, независимо от их масштабов, при правильном определении круга задач, их важности и периодичности выполнения. На предприятии со средним объемом добычи, как на рассматриваемом месторождении, основными задачами являются: 1) систематическое пополнение базы данных; 2) обеспечение маркшейдерских работ; 3) оперативный учет движения запасов; 4) уточнение проекта добычных работ по данным эксплуатационной разведки; 5) управление качеством добываемой руды; 6) оптимальное размещение объемов взрывного бурения, машин и механизмов; 7) пересчет ТЭО кондиций и балансовых запасов при существенном изменении цен на металл, при приросте запасов на флангах и глубоких горизонтах.

Задачи 1, 2 и 5 решают ежедневно, для их обеспечения должны создаваться специализированные рабочие места участкового геолога (Field Unit или Essentials), маркшейдера (Open Pit Survey), технолога (Ore Control). Задачи 3, 4, 6 решаются с периодичностью 1-3 месяца, задача 7 – один раз в 5-7 лет силами геолого-маркшейдерского или производственного отделов ГОКа, для их обеспечения достаточно одно-два рабочих мест геолога и горняка с большей функциональностью: например, Resource Evaluation и Open Pit Mining. Такой подбор программных средств существенно снижает затраты на выполнение работ.

Более сложные задачи, вроде оптимизации параметров карьера, решаются эпизодически, и приобретать для их решения дорогое программное обеспечение (типа Whittle или NVP Scheduler) целесообразно только крупным предприятиям, ведущим добычу руды одновременно на нескольких месторождениях. Средние и мелкие компании могут заказать выполнение таких услуг проектным организациям или консалтинговым фирмам. Сроки окупаемости горно-геологических компьютерных программ в России составляют от 1 до 3 лет, они сокращаются, если

пользователи имеют необходимую квалификацию и опыт. Пока лишь Санкт-Петербургский горный институт и Уральская горно-геологическая академия (в Екатеринбурге) приступили к подготовке таких специалистов. Между тем компьютеризация производства – не только условие повышения его эффективности, но и фактор привлечения молодежи в геолого-разведочные организации и на горно-добывающие предприятия, где средний возраст инженерных кадров сейчас превышает 50 лет.