

---

© И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин,  
А.А. Смирнов, И.В. Никитин,  
К.В. Барановский, 2013

УДК 622.273.217.4

**И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин, А.А. Смирнов, И.В. Никитин,  
К.В. Барановский**

## **ВЫБОР ВАРИАНТА ВСКРЫТИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЗАПАСОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭКОНОМИКО- МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Предложена классификация способов и схем вскрытия подземных запасов при комбинированной разработке месторождений, на основе которой сконструированы рациональные варианты. Установлены эффективный вариант и оптимальная высота этажа при вскрытии подземных запасов медно-цинкового месторождения на основе созданной экономико-математической модели и программы расчета для ПЭВМ.*

*Ключевые слова:* комбинированная разработка, способ и схема вскрытия месторождения, экономико-математическое моделирование, критерии выбора эффективных вариантов вскрытия.

---

**А**нализ опыта разработки месторождений комбинированным способом (проанализировано 122 случая) показал, что реализация последовательной или параллельной схемы ведения открытых (ОГР) и подземных (ПГР) горных работ позволяет применить различные варианты вскрытия подземных запасов месторождения. Разнообразие горно-геологических, горнотехнических, экономических условий, учет специфических факторов (например, потенциальной возможности использования карьерного пространства и оборудования ОГР для вскрытия и разработки запасов подземного рудника) обусловливает необходимость изыскания, конструирования и оценки достаточно большого количества рациональных вариантов вскрытия разработки месторождения [1].

При решении оптимизационных проектных и плановых задач горного производства применяют следующие

четыре критерия: чистый дисконтированный доход (ЧДД); индекс доходности; внутренняя норма доходности; срок окупаемости. Для оценки варианта вскрытия по данным критериям необходимо знать практически все ежегодные результаты (положительные значения потока финансовых средств) и затраты (отрицательные значения потока финансовых средств) горно-обогатительного производства в течение оцениваемого периода (горизонта расчета), приведенных к настоящему времени [2]. При обосновании вариантов вскрытия – это представляется излишним, поскольку технико-экономические расчеты на стадии предпроектных исследований, в отличие от проектной документации, производятся менее детально на основе аналогов и удельных экономических показателей, что позволяет хотя и приближенно, но более оперативно и в минимальные сроки произвести сравнение большого количества ва-

**Классификация способов и схем вскрытия подземных запасов при комбинированной разработке месторождений**

Классифицирующий признак	Класс	Группа	Вариант
Разделение на классы – тип главных вскрывающих выработок	<b>Способ вскрытия:</b> I. Вертикальными стволами II. Наклонными стволами III. Горизонтальными и наклонными выработками: автотранспортный уклон (наклонный съезд), штольня IV. Комбинированный способ (сочетание различных по типу выработок)	<b>Особенность схемы вскрытия:</b> А. Земная поверхность Б. Карьер	<b>Вспомогательные выработки:</b> 1. Вертикальный ствол (восстающий) 2. Наклонный ствол (восстающий) 3. Горизонтальная и наклонная выработка: автотранспортный уклон (наклонный съезд), штольня 4. Сочетание различных по типу выработок
Разделение на группы – место заложения главных вскрывающих выработок			
Разделение на варианты – тип вспомогательных вскрывающих выработок			

риантов. Гораздо более важным на данной стадии исследований является учет действующих на выбор схемы и способа вскрытия конструктивных, технологических и функциональных параметров и факторов, присущих и актуализируемых при комбинированной разработке месторождения.

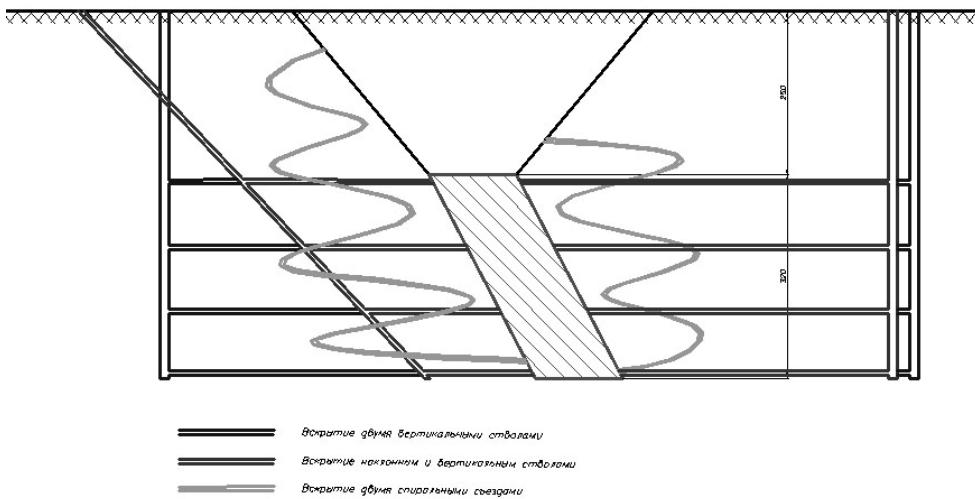
Экономико-математическое моделирование с применением ЭВМ, основанное на методологии системного подхода, позволяет учесть специфические факторы и из множества рациональных вариантов (технически возможных) найти оптимальные (наиболее эффективные). Основным методом решения задач оптимизации является сравнение вариантов, по каждому из которых для заданных условий рассчитываются показатели критерия оценки. На наш взгляд, показатели – объем вскрывающих и подготовительных выработок (ГКР) и затраты на их проведение, принятые в качестве критериев оценки вариантов вскрытия, на стадии предпроектных исследований достаточно объективно описывают варианты подсистемы «вскрытие подземных запасов» (вхо-

дящей в суперсистему «подземный рудник»).

Основой формирования вариантов вскрытия является предложенная классификация способов и схем вскрытия подземных запасов при комбинированной разработке месторождения. Она заключается в том, что в основу разделения на классы положен признак, характеризующий способ вскрытия – тип главных вскрывающих выработок (вертикальный, наклонный ствол, автотранспортный уклон, штольня), на группы – признак, характеризующий главную особенность схемы вскрытия – место заложения главных вскрывающих выработок (земная поверхность или карьер), на варианты – тип вспомогательных вскрывающих выработок (табл. 1).

Для условий комбинированной разработки уральского медно-цинкового месторождения сконструировано три принципиально отличающихся варианта вскрытия (рис. 1):

- вертикальными стволами с поверхности;
- наклонным стволом с поверхности и автоуклоном из карьера;



**Рис. 1. Моделируемые варианты вскрытия**

- автоуклонами из карьера и с поверхности.

При выборе оптимальной схемы вскрытия месторождения для всех вариантов принимаются постоянными: годовая производственная мощность предприятия, порядок отработки запасов, системы разработки, потери и разубоживание руды. Чтобы определить суммарные по варианту вскрытия объемы проходки и затраты необходимо манипулировать множеством горно-геологических, горнотехнических и экономических исходных данных (всего около 120). Составлена компьютерная программа на языке *Microsoft-Excel*, методика работы с которой состоит из следующих этапов:

- группирование исходных данных по виду (роду) – геологическая, горнотехническая, технологическая, экономическая информация – в соответствующих блоках-таблицах исходных данных, являющихся изменяемыми параметрами;

- формирование блоков-таблиц нормативных исходных данных, являющихся неизменяемыми параметрами;

- создание расчетных блоков-таблиц, отображающих результаты расчетов;

- установление экспертным путем диапазона изменяемого параметра и шага его изменения и, таким образом, формирование вариантов расчета;

- расчеты на ПЭВМ сформированной совокупности вариантов;

- оценка каждого варианта и их сравнение производится экспертом по установленным критериям – на первом этапе минимуму суммарного объема вскрывающих выработок и суммарных затрат на ГКР – визуализируемым в расчетных блоках-таблицах. (На втором этапе предполагается разработать алгоритм и программу расчета по критериям ЧДД и сроку окупаемости, определяемым по целевым функциям, отражающим сумму доходов и затрат по производственным процессам, входящим в суперсистему «подземный рудник»).

В качестве примера рассмотрен выбор варианта вскрытия и оптимизация одного из важнейших параметров вскрытия – высоты этажа при

### Параметры рудника

N	Наименование	Значение
1	Длина по простиранию, м	300
2	Средняя мощность, м	40
3	Глубина залегания (начало расчета), м	250
4	Граничная глубина разработки, м	570
5	Начало заложения спирального съезда, м	250
6	Длина штолни, м	300
7	Угол падения рудного тела, град	60
	Угол падения рудного тела, радиан	1,0471976
8	Угол сдвижения вмещающих пород, град	30
	Угол сдвижения вмещающих пород, радиан	0,5235988
9	Потери руды, %	5
10	Разубоживание, %	10
11	Начальная высота этажа, м	20
12	Конечная высота этажа, м	200
13	Интервал, м	20
	Количество горизонтов, шт.	10

**Рис. 2. Основные параметры рудника и расчет диапазона оптимизируемого параметра**

### Удельные капитальные затраты

N	Наименование	Ед. изм.	Значение
1	На строительство вертикальных стволов	руб./ $\text{м}^3$	20 000,00
2	На строительство наклонных стволов	руб./ $\text{м}^3$	5 000,00
3	На строительство спиральных съездов	руб./ $\text{м}^3$	2 500,00
4	На строительство штолен	руб./ $\text{м}^3$	3 000,00
5	На проведение околоствольных выработок	руб./ $\text{м}^3$	3 000,00
6	На проведение квершлагов	руб./ $\text{м}^3$	2 500,00

**Рис. 3. Удельная стоимость строительства выработок разных типов**

вскрытии подземных запасов уральского медно-цинкового месторождения, разрабатываемого по последовательной схеме. Некоторые основные исходные данные приведены в таблицах (рис. 2 и 3).

Результаты расчетов суммарного объема проходческих работ и суммарных затрат на ГКР для трех вариантов вскрытия в зависимости от высоты этажа приведены на графиках (рис. 4 и 5).

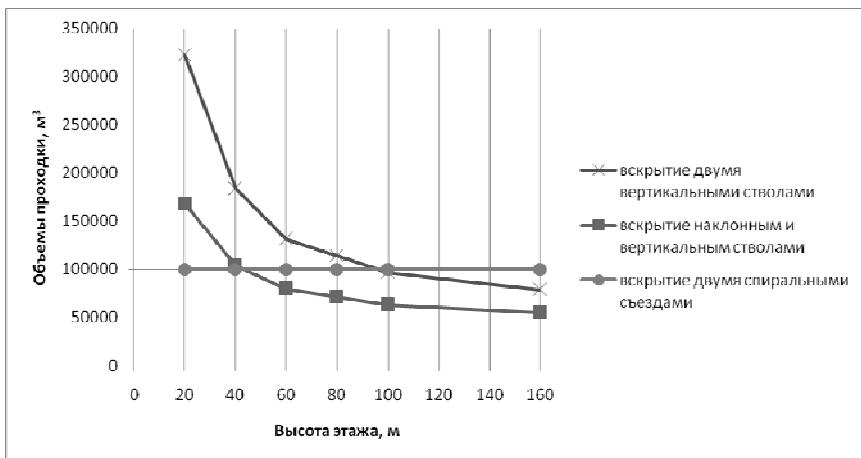


Рис. 4. Зависимость объема ГКР от высоты этажа при различных вариантах вскрытия

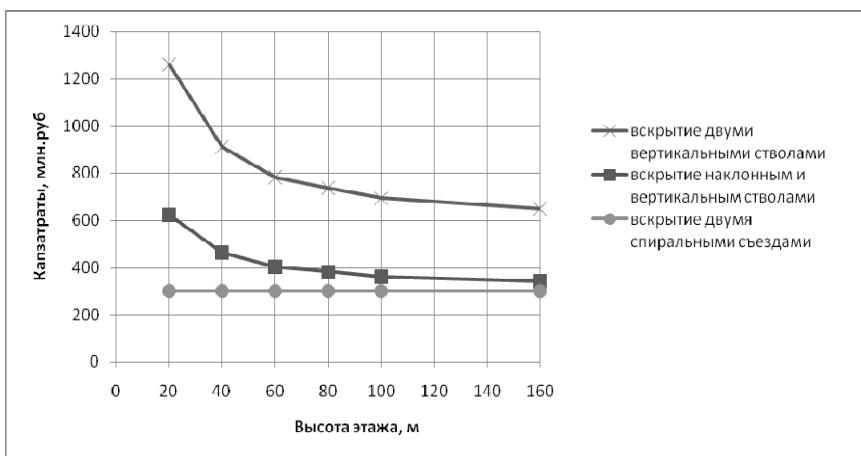


Рис. 5. Зависимость величины капитальных затрат на ГКР от высоты этажа при различных вариантах вскрытия

Проведенное экономико-математическое моделирование вариантов вскрытия подземных запасов уральского медно-цинкового месторождения, разрабатываемого по последовательной схеме, позволило установить:

1. Вариант вскрытия месторождения наклонным и вертикальным стволами, пройденными с поверхности, наиболее рационален по сум-

марному объему ГКР при высоте этажа более 40 м. При высоте этажа менее 40 м рационален вариант вскрытия двумя автоуклонами, пройденными из карьера.

2. Вариант вскрытия двумя автоуклонами, пройденными из карьера, наиболее эффективен по капитальным затратам во всем диапазоне изменения высоты этажа.

3. Вариант вскрытия двумя вертикальными стволами наименее эффективен во всем диапазоне изменения высоты этажа как по суммарному объему ГКР, так и по капитальным затратам.

4. Эффективность варианта вскрытия двумя автоуклонами, пройденными из карьера, не зависит от высоты этажа, поскольку в данном варианте практически отсутствуют квершлаги, заезды на этажи в силу небольшой длины 20 м практически не влияют на показатели вскрытия по варианту.

5. Эффективность варианта вскрытия двумя автоуклонами, пройденными из карьера и с поверхности, во всем диапазоне изменения высоты этажа перед вариантом вскрытия месторождения наклонным и вертикальным стволами, пройденными с поверхности, достигается за счет меньших удельных капитальных затрат на проведение слабонаклонных выработок и ликвидации квершлагов.

Таким образом, использование предложенной классификации и разработанной экономико-матема-

тической модели и программы расчета на ПЭВМ позволяет установить области рационального и эффективного использования вариантов вскрытия подземных запасов месторождения при комбинированной разработке в зависимости от конструктивных, технологических и функциональных параметров и действующих факторов.

С позиций системного анализа, экономико-математическое моделирование дает возможность определения состояния подсистемы «вскрытие подземных запасов» (входящим в суперсистему «подземный рудник»), оцениваемое по предложенными критериям, в зависимости от множества действующих специфических и традиционных факторов актуализируемых при комбинированной разработке месторождения. Это, в свою очередь, дает предпосылки для более объективного исследования закономерностей, возникающих при вскрытии подземных запасов при комбинированной разработке рудных месторождений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков Ю.В., Соколов И.В. Комбинированная геотехнология разработки меднорудных месторождений Урала // Горный журнал. Известия Вузов – 2005. – № 1. – С. 12–16.
2. Волков Ю.В., Соколов И.В. Оценка рисков при реализации инвестиционных проектов освоения месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 9. – С. 232–234. ГИАБ

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

---

Соколов Игорь Владимирович, заведующий лабораторией, кандидат технических наук, Антипин Юрий Георгиевич, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Смирнов Алексей Алексеевич, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Никитин Игорь Владимирович, младший научный сотрудник, горный инженер, Барановский Кирилл Васильевич, ведущий инженер, горный инженер, Институт горного дела УрО РАН (лаборатории подземной геотехнологии), geotech@igduran.ru

