

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Рассматриваются технологические решения по отработке глубокозалегающих месторождений с невысоким содержанием полезного компонента, являющихся перспективной сырьевой базой горных предприятий России. Предлагается восходяще-нисходящая технология вскрытия и отработки таких месторождений. Приводятся результаты исследований напряженно-деформированного состояния горного массива при ведении работ в восходящем порядке и их сравнение с нисходящим порядком.

In the article the technologies of deep ore deposits with medium tenor development are taken up. These deposits are the perspective source of raw materials for many Russia mine enterprises. The «up and down» technology of opening and development such a mines are offers. The results of mode of deformation's tests at up-way technology and there comparison with results at down-way technology are adduces.

Запасы рудных месторождений, пригодных для открытых горных работ или залегающие на глубинах до 1000 м, быстро истощаются, что делает проблему разработки глубокозалегающих месторождений весьма актуальной. Как правило, они характеризуются более низким содержанием полезных компонентов, что серьезно затрудняет решение данной проблемы. Специфика отработки таких глубокозалегающих рудных тел заключается в сложных геомеханических условиях, отражающихся на вскрытии, системах разработки и управлении горным давлением.

Необходимо отметить, что применяемый в настоящее время нисходящий порядок ведения работ, равно как и новый, широко рассматриваемый в литературе, восходящий порядок, не отвечают предъявляемым требованиям. Первый вызовет плановое увеличение горного давления на элементы системы разработки при относительно высоких затратах на добычу руды. В то же время стадийность вскрытия месторождения, снижающая первоначальные капитальные затраты, является преимуществом данного варианта. Второй вариант приведет к необходимости проведения вскры-

вающих выработок сразу на всю глубину распространения рудного тела. При высоких рисках горного производства в целом, возможном неподтверждении запасов на большей глубине, больших объемах горнокапитальных выработок, представляется нецелесообразным сразу инвестировать огромные капиталовложения. С другой стороны, вести выемку рудного тела ступенями при отработке каждой ступени в восходящем порядке не представляется возможным из-за высоких сжимающих напряжений, возникающих в рудном целике между ступенями вскрытия.

Предлагается совмещение восходящего и нисходящего порядка ведения работ. Месторождение вскрывается в несколько этапов ступенями, при этом первая ступень отработывается в восходящем порядке, а вторая и последующие – в нисходящем. Данный вариант позволит, с одной стороны, снизить капитальные затраты на вскрытие за счет проведения основных вскрывающих выработок только на глубину первой ступени вскрытия, а с другой, уменьшить эксплуатационные расходы на добычу руды. Оработка второй ступени в нисходящем порядке не приведет к оставлению целика

между ступенями вскрытия и концентрации в нем сжимающих напряжений.

Вопрос о рациональной глубине первой ступени вскрытия решается на базе экономико-математического моделирования, где критерием принята величина ЧДД или приведенные затраты. Увеличение глубины ведет к росту капитальных затрат на вскрытие первой ступени, но одновременно и к росту вскрытых запасов, обрабатываемых относительно дешевой системой разработки. Расчеты, проведенные для месторождений Печенгской группы рудных тел, в частности Тундрового месторождения, показали, что при глубине распространения рудного тела 1500 м и угле падения  $60^\circ$  минимальная глубина первой ступени составляет 800 м. При ее увеличении значения приведенных затрат получились равнозначными. В данном случае вопрос о выборе глубины первой ступени вскрытия должен решаться на базе анализа других факторов: финансовых возможностей инвесторов, годовой производительности рудника, запасов руды в этаже и др.

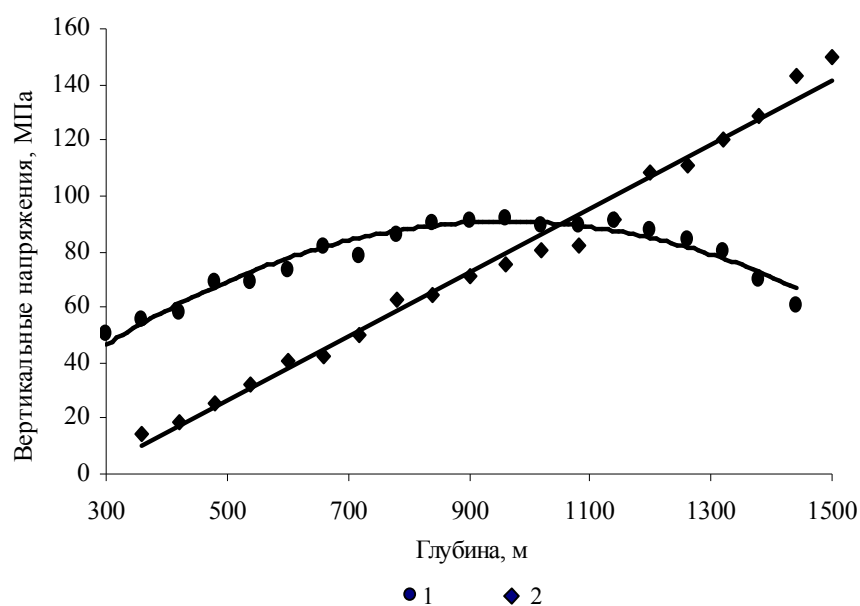
Специфика разработки рассматриваемых месторождений накладывает жесткие ограничения и на выбор технологии добычи руды. Из-за низкого содержания полезных компонентов в руде выбор системы разработки должен основываться на минимизации эксплуатационных расходов на добычу руды при высокой производительности блока. Наиболее дешевым является вариант системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород. Из-за большой глубины ведения работ и высокого горного давления применение систем разработки данного класса затруднительно. Применение систем разработки с открытым выработанным пространством требует оставления жестких рудных целиков, являющихся концентраторами напряжений, что может привести к горным ударам или разрушению элементов системы разработки. Таким образом, применение этих систем разработки также затруднительно.

В этих условиях наиболее целесообразными являются многостадийные системы разработки с делением блока на камеры первой и второй очереди. Традиционно в

одном блоке длина камер разных очередей принимается одинаковой. Камеры первой очереди заполняют твердеющей закладкой, камеры второй очереди – на 1/3 твердеющей закладкой, а на 2/3 – сыпучей породной закладкой. Заполнение камер второй очереди на 1/3 твердеющей закладкой необходимо для обеспечения возможности отработки запасов нижерасположенного этажа.

Анализ удельных затрат на добычу руды показал, что значительная их часть (до 60 %) расходуется на закладочные работы из-за применения дорогостоящей твердеющей закладки в камерах первой очереди. Для удешевления закладочных работ целесообразно изменить длину камер первой и второй очереди относительно друг друга в пределах одного блока: уменьшить длину камер первой очереди, заполняемых дорогостоящей твердеющей закладкой, и соответственно увеличить длину камер второй очереди, заполняемых дешевой породной закладкой.

Технология добычи руды в блоке при восходящем порядке ведения работ отличается от нисходящего порядка тем, что отработанные и заложенные камеры находятся под эксплуатируемой, а над ней – ненарушенный массив руды. Данное обстоятельство позволяет значительно усовершенствовать технологию добычи руды. Во-первых, отпадает необходимость в заполнении камер второй очереди на 1/3 твердеющей закладкой. Во-вторых, днище вышерасположенной камеры может быть создано (патент № 2229600) путем перебура верхних веерообразных скважин за проектный контур блока до уровня днища вышерасположенной камеры. После заполнения камеры породной закладкой последняя формирует плоское или траншейное (в зависимости от расположения закладочных выработок) днище вышерасположенной камеры. Данные технологические решения ведут к снижению объема подготовительно-нарезных работ, времени подготовки и нарезки блоков, удельных затрат на закладочные работы, повышению производительности труда рабочих и, как следствие, к снижению удельных затрат на добычу руды.



Зависимость напряжений на границе с выработанным пространством при восходящем (1) и нисходящем (2) порядках ведения горных работ на различной глубине

Расчеты, выполненные для условий Тундрового месторождения Печенгской группы рудных тел, показали\*, что оптимальными параметрами системы разработки являются: длина камер первой очереди 8 м, длина камер второй очереди 40 м, прочность твердеющей закладки камер первой очереди 3 МПа. Применение вышеописанных мероприятий позволяет снизить удельные затраты на добычу руды (по сравнению с нисходящим порядком ведения работ) более чем на 30 %.

Ведение горных работ на больших глубинах накладывает жесткие требования к управлению состоянием горного массива и связанной с этим безопасностью ведения горных работ. Изрезанность массива подготовительными и нарезными выработками, подработка пород висячего бока камерами увеличивают и без того высокие значения естественного поля напряжений, что может привести к горным ударам различной степени интенсивности.

Для оценки напряженно-деформированного состояния горного массива при восхо-

дящем и нисходящем порядках отработки глубокозалегающих месторождений была составлена математическая модель и проведены расчеты методом конечных элементов. Они показали, что нисходящий порядок не обеспечивает безопасных условий ведения горных работ. С ростом глубины ведения работ растет как естественное поле напряжений, так и пролет подработки пород висячего бока, что ведет к увеличению сжимающих напряжений в зоне опорного давления (см. рисунок). Учитывая большую изрезанность массива горными выработками, наличие большого количества угловых элементов в системе разработки, можно прогнозировать превышение действующих сжимающих напряжений пределов прочности горных пород, что приведет к динамическим формам проявления горного давления различной интенсивности.

При восходящем порядке ведения горных работ наблюдается противоположная картина. Горные работы начинаются на большой глубине от земной поверхности при минимальных размерах подработки. С развитием горных работ они перемещаются вверх к земной поверхности, при этом глубина, а, следова-

\* Богуславский Э.И. Расчет параметров искусственных целиков при восходящем порядке отработки месторождения / Э.И.Богуславский, Д.Ю.Минаев // Записки Горного института. 2004. Т.156. С.123-126.

тельно, и естественные напряжения, снижаются, пролет подработки пород висячего бока растет. Расчеты, выполненные для условий Тундрового месторождения, показали, что при восходящем порядке сжимающие напряжения сначала растут, затем стабилизируются и постепенно снижаются (см. рисунок). Восходящий порядок обеспечивает более чем двухкратное снижение действующих в масси-

ве сжимающих напряжений при ведении работ на глубоких горизонтах по сравнению с нисходящим порядком, что обеспечивает более безопасные условия отработки рудного тела.

Таким образом, восходяще-нисходящая технология ведения работ позволит отработать глубокозалегающие рудные тела при невысоких содержаниях в них полезного компонента.