возьмем минимальное из них. При $j \in [1; 8]$ и $k \in [1, n]$ (в данном случае $n = 3$)

$$r(\xi, d_j) = \sum_{k=1}^{n} (d_j(\Theta_k) P(\Theta_k)), \qquad (2)$$

где $r(\xi, d_1) = -18{,}8$; $r(\xi, d_2) = -20{,}04$; $r(\xi, d_3) = -11{,}44$; $r(\xi, d_4) = -6{,}12$; $r(\xi, d_5) = 1{,}24$; $r(\xi, d_6) = -7{,}36$; $r(\xi, d_7) = -12{,}68$; $r(\xi, d_8) = 0$.

Из полученных данных заключаем, что $\min r(\xi, d) = r(\xi, d_2) = -20{,}04$.

Следовательно, оптимальной байесовской стратегией специалиста в статистической игре (Ω, D, R), которая моделирует эксплуатацию техногенного месторождения, будет функция решения d_2, в которой $d_2(x_1) = a_1$, $d_2(x_2) = a_1$, $d_2(x_3) = a_2$.

Таким образом, рассмотренные варианты 1 и 2 являются экономически целесообразными для инвестирования, а вариант 3 – нерентабелен. В результате разработки техногенного месторождения может быть получена прибыль в размере 20 млн руб.

Научный руководитель профессор, д.т.н. *Г.А.Холодняков*

УДК 622.272

Д.Ю.МИНАЕВ
Горный факультет, студент группы ТПР-99,
ассистент профессора

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОСХОДЯЩЕЙ ОТРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Во всем мире наблюдается тенденция к отработке мощных месторождений комбинированным открытоподземным способом с нисходящим порядком отработки этажей. В статье предлагается восходящий порядок отработки этажей при применении комбинированной отработки месторождения. Сущность рассматриваемого предложения состоит в следующем: вскрытие месторождения ведется сразу на всю глубину разработки ступенями по 240 м, где располагают концентрационные горизонты. Каждый шаг вскрытия делится на этажи высотой от 40 до 120 м, отрабатываемые в восходящем порядке. Этаж разбивается на выемочные блоки, отрабатываемые этажно-камерной системой разработки. При этом в пределах блока в первую очередь отрабатывают узкие камеры длиной 5 м и закладывают их малопрочной твердеющей закладкой. После этого отрабатывают оставшиеся запасы блока длиной 35 м и заполняют гидравлической породной закладкой от проходки горных выработок и вскрыши карьера. Применение породной и низкопрочной твердеющей закладки позволяет снизить себестоимость добываемой руды несмотря на значительные первоначальные капитальные затраты на проведение капитальных выработок – стволов и концентрационных горизонтов.

Проведенное исследование убедительно доказывает, что восходящий порядок отработки глубокозалегающих месторождений при комбинированной отработке месторождения является более эффективным, чем традиционный нисходящий порядок выемки с применением прочной твердеющей закладки.

The whole world tends now to mine mineral deposits combining mining with open-cut mining using downcast mining level by level. In the given article a method of upward mining of levels using combined method is offered. The sum and substance of the offered is in simultaneous stripping the whole depth of stratum in benches 240 m high, where concentration levels should be placed. Every bench is subdivided into levels 40-120 m high, which should be mined upward. Every level in its turn is divided into extraction blocks, which are to be mined using level-and-room method. Firstly, narrow rooms 5 m long should be mined. Then they have to be filled back with weak hardening backfill. After that the rest 35 m of each block are to be mined and eventually filled with hydraulic rock backfill, which consists of gangue and overburden. Usage of

rock and weak hardening backfill allows to reduce production costs of ores in spite of considerable initial capital costs of front entry: shafts and concentration levels.

This research proved that upward mining of deep-seated mineral deposits using combined mining was more effective than traditional downward mining that used firm hardening backfill.

В настоящее время мощные рудные тела, залегающие неглубоко от земной поверхности, все чаще разрабатывают комбинированным способом. Отработку месторождений ведут последовательно, т.е. сначала открытым, а затем подземным способами. Имеет место одновременная разработка открытым и подземным способами. В России 18 месторождений разрабатывают комбинированным способом, среди них Гайское медное месторождение, Тишинское, Учалинское полиметаллические месторождения и др. Отрабатываемые в настоящее время открытым способом Оленегорское, Ковдорское, Ждановское месторождения будут переходить на подземный способ разработки.

При последовательном способе чаще всего применяют системы разработки с обрушением вмещающих пород, обеспечивающих минимальную себестоимость добываемой руды. Однако это приводит к значительным нарушениям земной поверхности и, как следствие, к заболачиванию и затоплению громаднейших территорий. К тому же на поверхности земли образуются громадные отвалы пород. Все это ухудшает экологическую обстановку в районе добычи, что в настоящее время становится весьма актуально. Кроме того, при системах с обрушением вмещающих пород имеют место значительные потери и разубоживание руды.

При параллельном способе отработки применяют камерные системы с открытым очистным пространством с последующим заполнением камер твердеющей закладкой (Гайский рудник). При этом не будет обрушения земной поверхности. Однако с понижением горных работ приходится увеличивать прочность закладки с 1 МПа на глубине 300 м до 7 МПа на глубине около 1000 м. К тому же при разработке нижележащего этажа закладка отработанных камер становится потолочиной и, как показали исследования докторов О.В.Славиковского, В.Л.Яковлева, Ю.В.Волкова и др. из Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук, в кровле отработанной камеры, представленной закладочным материалом, возникают значительные концентрации напряжений, что существенно снижает прочностные свойства закладки. Кроме того, взрывные работы при очистной выемке приводят к нарушению целостности закладки, происходит ее разрушение и разубоживание руды закладкой, что, в свою очередь, ведет к увеличению объема рудной массы и отходов обогащения.

Таким образом, рассмотренный способ разработки имеет следующие недостатки:

1) значительные затраты на твердеющую закладку, причем они увеличиваются при возрастании глубины разработки; 2) разрушение находящейся в потолочине отрабатываемой камеры; 3) увеличение затрат на транспорт и подъем разубоженной закладкой горной массы; 4) увеличение затрат на обогащение разубоженной рудной массы; 5) увеличение объема хвостохранилищ и затрат на их содержание; 6) углубка ствола на 40-60 % дороже проходки ствола с поверхности; 7) порода от проходки полевых горных выработок и вскрыши карьера складируется на поверхности в отвалах; 8) теряется руда в подкарьерном целике.

Для исключения указанных недостатков предлагается восходящий порядок отработки месторождения. Мощное крутопадающее месторождение вскрывают сразу на всю глубину рудной залежи (1000 м), после чего ведут его отработку снизу вверх. Сущность такого порядка отработки заключается в следующем: отработка месторождения предусматривается тремя ступенями высотой по 240 м. При разработке первой ступени на самом нижнем горизонте проходят выработки концентрационного горизонта, а выше – выработки вентиляционного горизонта. С концентрационного горизонта проходят автосъезд, подготовительные и нарезные выработки. Ступень высотой 240 м делят на этажи высотой 40, 80, 120 м. Отра-

ботку запасов этажа ведут блоками длиной 40 м. Отработку блоков ведут в две очереди с последующим заполнением их комбинированной закладкой. В первую очередь отрабатывают камеру шириной 5 м на границе блока, которую заполняют твердеющей монолитной закладкой прочностью 7 МПа, во вторую – отрабатывают оставшиеся запасы блока. Отработанную камеру заполняют породной гидравлической закладкой. Это стало возможно, поскольку закладка не должна обладать высокой устойчивостью, так как находится внизу. Кроме того, такая комбинированная закладка имеет стоимость на порядок ниже твердеющей монолитной закладки.

В качестве гидрозакладки предлагается применять пустую породу от проходки горных выработок и вскрыши карьера. Порода из карьера поступает в рудник через породоспуск. Под землей ее додрабливают до крупности 60-80 мм, смешивают с водой и по трубам транспортируют в отработанные камеры. В камере из гидрозакладки вода дренирует в штрек и поднимается на верхний подкарьерый горизонт для приготовления гидрозакладки. Происходит оборот воды, она не сбрасывается в реки и водоемы, не загрязняет окружающую среду. При этом примерно 2/3 вскрышных пород и вся порода от проходки горных выработок уходит на гидрозакладку, существенно сокращая объемы отвалов на земной поверхности, что уменьшает площадь земельного отвода и, как следствие, стоимость руды. Площадь, занятая под отвалами, сокращается с 333 до 100 га, что экономит предприятию 34 млн руб.

При наличии в породной закладке полезных компонентов целесообразно проводить выщелачивание из них металлов, что также принесет существенную дополнительную прибыль предприятию.

Возможно заполнение камер не пустыми породами, а хвостами обогатительных фабрик в смеси с дробленой породой для увеличения ее проницаемости с последующим выщелачиванием из них металла. Складирование хвостов обогатительных фабрик под землей позволит сократить отчисления в федеральный фонд за загрязнение окружающей среды более чем на 300 млн. руб. После отработки запасов 1-й ступени приступают к вскрытию, подготовке и отработке запасов 2-й ступени.

В результате технико-экономического исследования установлено, что себестоимость добычи руды при увеличении высоты этажа снижается как при нисходящем, так и при восходящем порядке отработки. Это объясняется снижением затрат на проведение подготовительных и нарезных выработок, транспорт руды, закладочные работы.

Общая же себестоимость добычи руды при восходящем порядке выемки ниже в среднем на 15 %, однако если проанализировать себестоимость добычи по ступеням отработки, то при выемке руды 1-й ступени их значения сближаются за счет того, что при восходящей выемке увеличиваются капитальные затраты на проведение выработок, а при нисходящей выемке – затраты на монолитную закладку всего объема камер.

Однако при отработке 2-й и особенно 3-й ступени преимущество имеет восходящий порядок выемки, так как при нем снижаются затраты на проведение капитальных выработок (требуется пройти только квершлаг, откаточный штрек и автосъезд), а затраты на закладку снижаются в связи с уменьшением ее прочности в первичных камерах. При нисходящем порядке выемки, наоборот, растут как капитальные затраты, так и затраты на закладку всего объема камер все более прочной и прочной закладкой.

Анализ эксплуатационных затрат показывает, что наблюдаются значительные затраты на закладку и отвалообразование при нисходящем порядке выемки. В то же самое время при восходящем порядке выемки возрастают затраты на энергию. Это связано с дополнительными расходами энергии на дробление породы для приготовления закладки и на откачивание воды, дренирующей из закладки.

В расходах не учитывалось увеличение затрат на складирование хвостов обогатительной фабрики, которые будут больше при нисходящем порядке выемки за

счет разубоживания руды закладочным материалом.

Проведенное исследование убедительно доказывает, что при значительной глубине залегания месторождений целесообразно применять восходящий порядок отработки. При отсутствии значительных первоначальных инвестиций в строительство рудника на всю глубину месторождения возможен вариант восходящей отработки в пределах каждой ступени. Однако общие показатели будут несколько хуже и добываемая руда будет дороже.

Снижение капитальных затрат возможно и за счет уменьшения сечения вскрывающих выработок, что может быть достигнуто заменой скипового подъема руды гидроподъемом. Однако этот вариант требует специального дополнительного исследования. Но в любом случае восходящий порядок отработки месторождения будет экономически эффективнее нисходящего.

Научный руководитель профессор, д.т.н. *В.М.Шик*

УДК 622.277.3

С.П.МОЗЕР
Горный факультет, студент группы ТПР-96,
ассистент профессора

ОБОСНОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И РАСХОДА ВОДЫ В ПЕРИОД РАЗМЫВА ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ ПРИ СКВАЖИННОМ МЕТОДЕ РАЗРАБОТКИ НИЖНИХ ГОРИЗОНТОВ СОЛЬ-ИЛЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рассматриваются вопросы отработки запасов нижних горизонтов Соль-Илецкого месторождения каменной соли растворением через скважины с поверхности. Специфика добычи каменной соли данным методом определяется значительными капиталовложениями в строительство сооружений рассолопромысла и сложностью быстрого вывода рассолопромысла на заданную производственную мощность, что вызвано помимо значительных затрат времени на бурение и оборудование скважин необходимостью размыва подготовительной выработки. Интенсификация размыва подготовительной выработки даст эффект в виде уменьшения срока окупаемости капиталовложений, что, в свою очередь, скажется на себестоимости добываемого рассола.

С помощью математического моделирования процесса интенсификации растворения подготовительной выработки были получены следующие результаты:

– оптимальный расход воды для растворения камеры подготовительной выработки 45-55 м³/ч (критерием оптимизации служили затраты электроэнергии на нагнетание растворителя);

– оптимальная температура растворителя 180-220 °С (критерием оптимизации служили затраты электроэнергии на нагнетание растворителя и на подогрев воды до заданной температуры).

Some questions of mining of lower levels stock of Sol-Iletzk mineral deposit of rock-salt by dissolving through boreholes from the surface are examined. One of the peculiarities of the method is considerable capital costs in building structures of brine-mine and difficulty in bringing the brine-mine to the designed capacity as soon as possible, because of protracted drilling and fitting out the borehole and also because of necessity of eroding butt entry. More effective eroding shortens the term of investments compensation. In its turn, that leads to the decrease of cost of brine being rained. Mathematical modelling of the process of more effective eroding the entry gave the following results: