

Сравнение систем подземной разработки полезных ископаемых методом игр

Богатов Б.А., Богатов И.Б.

Белорусский национальный технический университет

При разработке калийных месторождений подземным способом используют в основном две системы [1,2]. Первая из них камерно-столбовая система (рис. 1).

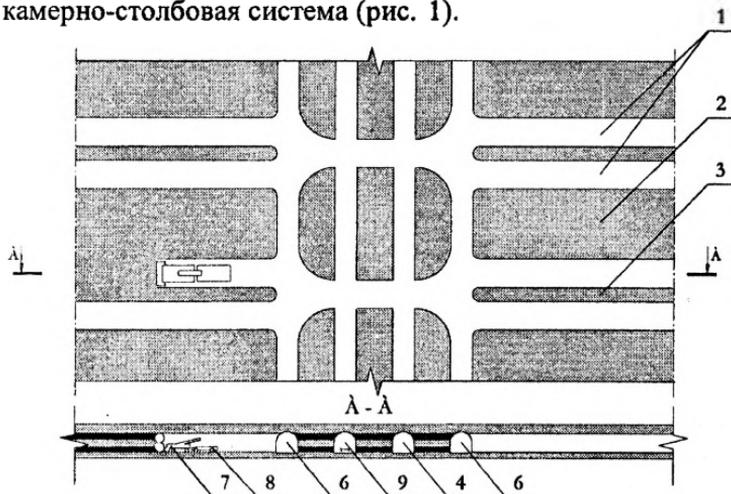


Рис. 1 Отработка блоков камерной системой разработки:
 1 – очистные ходы, 2 – междукамерный целик, 3 – межходовой (поддерживающий) целик, 4 – вентиляционный панельный штрек, 5 – конвейерный штрек, 6 – транспортные штреки, 7 – комбайн «Урал – 10 КС», 8 – самоходный вагон, 9 – конвейер

Камерную систему разработки применяют для отработки пологих и наклонных залежей с устойчивой кровлей и с различной мощностью полезного ископаемого. При этой системе выемочные камеры отделяются одна от другой жесткими или податливыми целиками. При отработке месторождений соли потери руды составляют до 50 – 60% всех запасов. К достоинствам камерно-столбовых систем разработки относят высокую производительность труда, сравнительно низкую себестоимость добычи и небольшое разубоживание (до 5 – 7%) руды.

2). Вторая система разработки - отработка столбов лавой (рис. 2).

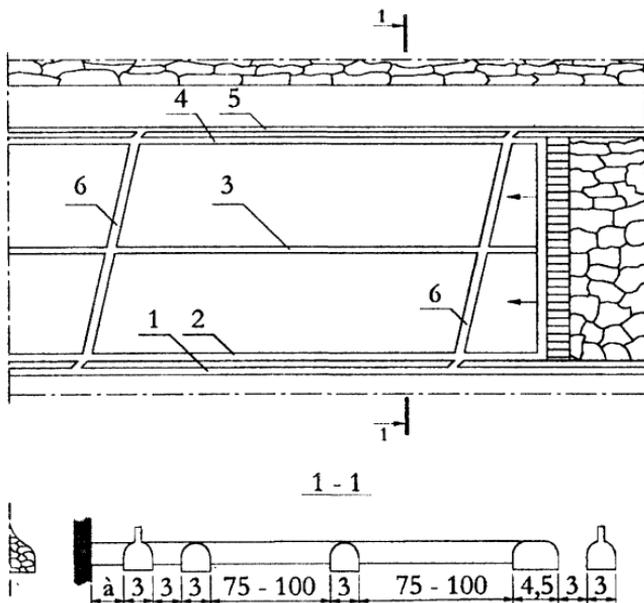


Рис. 2 Принципиальная схема отработки панелей лавой:
1 – панельный конвейерный штрек, 2,3 и 4 – конвейерный, вентиляционный и транспортный штреки лавы, 5 – разгружающий штрек, 6 – вспомогательные выработки

В комплекс входит гидрокрепь, добычный комбайн и забойный скребковый конвейер. На границе столбов длиной 1200 – 1500м проходят разрезные выработки шириной 3,0 – 4,5м и длиной 150 – 300м. Комбайн в лаве движется от конвейерного штрека к вентиляционному штреку, снимая полосу шириной 0,6м. После выемки полосы комбайн возвращается к выемочному штреку и передвигает к забою крепь и конвейер. По сравнению с камерно-столбовой системой отработка столбов лавами более эффективна, обеспечивая снижение потерь руды до 15 – 20%. Однако их применение возможно, если высота зоны возможного обрушения пород и образование техногенных трещин не достигают водоносных горизонтов. Сравнивая эффективность действующих систем разработки месторождения, следует также, учитывать экологический ущерб. При разработке калийных месторождений подземным способом отрицательным фак-

тором является опускание (проседание) дневной поверхности земли над подработанным пространством, достигающее в Солигорском регионе 4,0 – 4,5м. Считается, что экологический ущерб, связанный с применением той или иной системы разработки, пропорционален 0,9 от коэффициента извлечения руды подземным способом. Можно назвать еще ряд факторов, отличающих названные системы разработки полезных ископаемых подземным способом и по разному проявляющихся в зависимости от горно-геологических и других причин. Это вносит значительную неопределенность.

Для анализа и сравнения систем разработки калийных месторождений подземным способом, учитывая большую неопределенность и неоднозначность ситуации, следует применить метод игр [3].

В этом случае в качестве стратегий «А» рассматриваем: A_1 – камерно-столбовую систему разработки месторождения, A_2 – разработку столбов лавами. Событие «В», являющееся следствием применения «А», характеризуется коэффициентами потерь руды – B_1 и B_2 , < 1 относительного экологического ущерба.

При сделанных обозначениях матрица игры может быть записана в виде:

Таблица 1 Сравнение систем разработки калийных месторождений подземным способом.

| | | В | | α |
|---|-------|-------|-------|------|
| | | B_1 | B_2 | |
| А | A_1 | 0,55 | 0,41 | 0,41 |
| | A_2 | 0,18 | 0,74 | 0,18 |
| β | | 0,55 | 0,74 | |

Значение элементов матрицы игры a_{ij} записаны на основании литературных источников [1,2] и статистических данных эксплуатации Старобинского месторождения калийных солей. Методика анализа матриц игр изложена во многих источниках в т.ч. в [3], а потому здесь не рассматривается.

Нижняя цена игры:

$$\alpha = \max_i \min_j a_{ij} = 0,41,$$

и верхняя цена игры:

$$\beta = \min_j \max_i a_{ij} = 0,5.$$

Таким образом, в данной ситуации ($\alpha \neq \beta$) имеем смешанную игру, что предполагает целесообразность одновременного использования всех стратегий добычи:

$$A^0 \left\{ \begin{array}{cc} A_1 & A_2 \\ P_1 & P_2 \end{array} \right\} \quad u \quad B^0 \left\{ \begin{array}{cc} B_1 & B_2 \\ q_1 & q_2 \end{array} \right\},$$

$$P_1 + P_2 = 1 \qquad q_1 + q_2 = 1$$

где P_1, P_2, q_1, q_2 – частота применения стратегий A и событий B . В смешанной игре рассчитывают на средний результат γ : $\alpha < \gamma < \beta$.

Искомые $\gamma, P_1, P_2, q_1, q_2$ находим из систем уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,55P_1 + 0,18P_2 = \gamma \\ 0,41P_1 + 0,74P_2 = \gamma \\ P_1 + P_2 = 1 \end{array} \right. \quad u \quad \left\{ \begin{array}{l} 0,55q_1 + 0,41q_2 = \gamma \\ 0,18q_1 + 0,74q_2 = \gamma, \quad (1) \\ q_1 + q_2 = 1 \end{array} \right.$$

Откуда

$$P_1 = 0,81, \quad P_2 = 0,22, \quad q_1 = 0,53, \quad q_2 = 0,47, \quad \gamma = 0,47.$$

Результат анализа матрицы игры показывает, что при существующих показателях потерь руды при добыче и сопутствующем воздействии на дневную поверхность со всеми вытекающими отрицательными последствиями, лучшей комбинацией является добыча 80% руды камерно-столбовой системой и 20% разработкой столбов лавами. В этом случае ущерб от потерь руды и от воздействия подработанного пространства на дневную поверхность примерно равнозначны ($q_1 = 0,53$ и $q_2 = 0,47$). Безусловно, анализ матриц игры носит рекомендательный характер и за ним должно следовать технологическое рассмотрение ситуации с определением мест

применения той или иной системы разработки на данном предприятии.

При реально планируемом соотношении камерно-столбовой и разработкой столбов лавами матрица игры имеет вид (табл. 2):

Таблица 2. Плановое соотношение объемов добычи камерно-столбовой системой и разработкой столбов лавами

| | | В | |
|---|----------------|----------------|----------------|
| | | В ₁ | В ₂ |
| А | А ₁ | 0,55 | a_{12} |
| | А ₂ | 0,18 | a_{22} |

$$\alpha \leq \gamma \leq \beta$$

$$A^0 \begin{Bmatrix} A_1 & A_2 \\ 0,3 & 0,7 \end{Bmatrix}, B^0 \begin{Bmatrix} B_1 & B_2 \\ q_1 & q_2 \end{Bmatrix},$$

$$q_1 + q_2 = 1.$$

Неизвестные в данной ситуации γ , a_{12} , a_{22} , q_1 , q_2 находим из системы пяти уравнений:

$$\begin{cases} 0,55 \cdot 0,3 + 0,18 \cdot 0,7 = \gamma & (2) \\ a_{12} \cdot 0,3 + a_{22} \cdot 0,7 = \gamma & (3) \\ 0,55 \cdot q_1 + a_{12} \cdot q_2 = \gamma & (4) \\ 0,18 \cdot q_1 + a_{22} \cdot q_2 = \gamma & (5) \\ q_1 + q_2 = 1 & (6) \end{cases}$$

Из (2) находим $\gamma = 0,29$. Затем приравниваем левые части (4) и (5), заменив в них $q_2 = 1 - q_1$ из (6) и

$$a_{22} = \frac{0,29 - 0,3 \cdot a_{12}}{0,7} \text{ из (3):}$$

$$0,55 \cdot q_1 - a_{12} \cdot q_1 = 0,29 - a_{12} \quad (7)$$

$$0,23 \cdot q_1 - 0,43 \cdot q_1 \cdot a_{12} + 0,43 \cdot a_{12} = 0,12 \quad (8)$$

подставив в (8) $a_{12} \cdot q_1 = 0,55 \cdot q_1 - 0,29 + a_{12}$ из (7):

$$0,23 \cdot q_1 + 0,43(0,55 \cdot q_1 - 0,29 + a_{12}) + 0,43 \cdot a_{12} = 0,12 \quad ,$$

находим $q_1 = 0$, $q_2 = 1$, $a_{12} = a_{22} = 0,29$, $\gamma = 0,29$.

Таким образом, устанавливаем, что при существующем планировании добычи калийной руды двумя вышеуказанными системами разработки, принимается полное извлечение руды ($q_1 = 0$), а экологические последствия считаются независимыми от применяемого способа добычи. И первое, и второе не соответствует действительности, а потому следует обосновывать вклад той или иной системы разработки с учетом возможных экологических последствий.

Литература

1. С.С. Борисов Горное дело. М. «Недра», 1988, 319с.
2. О.С. Брюховецкий, Ж.В. Бунин И.А., Ковалев. Технология и комплексная механизация разработки месторождений полезных ископаемых. М. «Недра», 1989, 300 с.
3. Б.А. Богатов. Математические методы и модели в горном деле. Мн. «Технопринт», 2003, 278 с.