

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ БОРТОВОГО СОДЕРЖАНИЯ

Толобекова Б.Т.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Наши ранние исследования в данном направлении освоения месторождений полезных ископаемых показали, что применение дифференцированных кондиций по годам эксплуатации влияет положительно, т.е. позволяет увеличению количества извлекаемых запасов из недр и повышению эффективности разработки путем повышения чистой текущей стоимости (NPV) и уровня отдачи капитальных вложений (IRR)[1].

Поскольку эффективность разработки напрямую и в существенной степени зависит от степени дифференциации бортового содержания при отработке запасов месторождения. В этот раз исследуем, эффективна ли стратегия с применением дифференцированного по годам бортового содержания в оптимизационной постановке.

В качестве примера используется месторождение запасами отработки 10 млн.т. со средним содержанием полезных ископаемых 6 г/т. Воспользуемся обобщенными данными зависимости среднего содержания от изменения количества обрабатываемых запасов месторождений.

Статистическая обработка данных зависимости среднего содержания полезных компонентов (С) в обрабатываемых запасах (Б)

месторождений показала, что для месторождений полезных ископаемых $B \leq 10$ млн. т можно использовать формулу: $(C = 6,94 - 0,21 B + 11,6/B)$, а при $B > 10$ млн. т должны использоваться формула, определяющее среднее содержание в добываемых рудах по $C = 3,5 - 0,07 B + 34/B$. (рис.1).

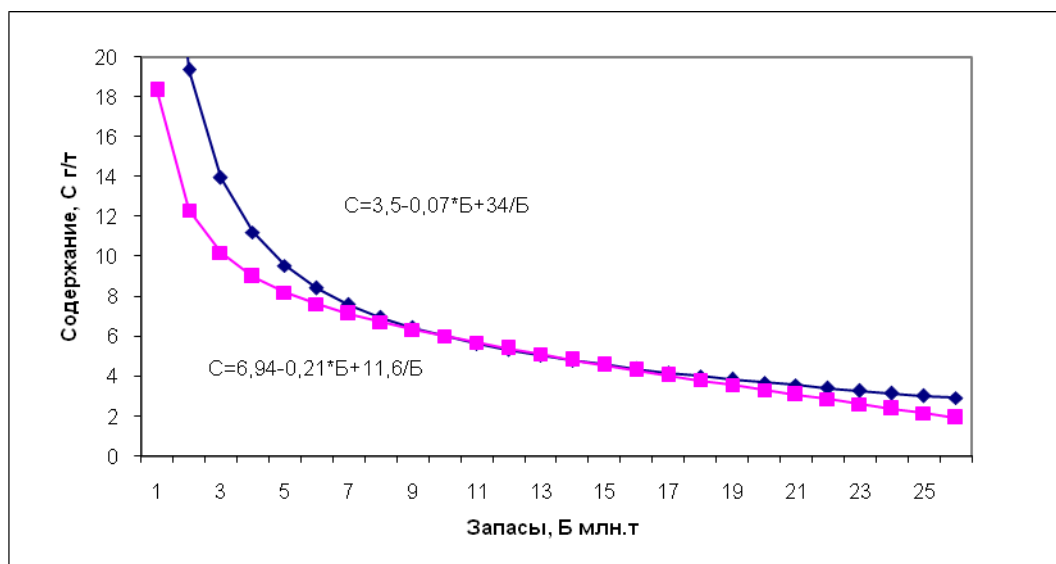


Рис. 1. Зависимость среднего содержания от количества обрабатываемых запасов месторождения.

Так как в нашем примере запасы месторождения равно 10 млн.т, то в данном случае потенциальный оптимум расположен в области запасов меньше 10 млн. т. В связи с этим воспользуемся зависимостью между C и B , характерной для данной области: $C = 6,94 - 0,21 B + 11,6 / B$ (см. рис.1).

Исследуем валовую отработку в сочетании с наиболее эффективной и ресурсосберегающей схемой с двусторонним дифференцированием бортового содержания и компенсацией оставляемых запасов.

Определим оптимальную степень дифференцирования.

Для решения этой задачи применим близкий к оптимальному при валовой отработке вариант с запасами $B = 6,5$ млн. т.

Исследуем вариант со степенью дифференциации $\Delta B = \pm 20 \%$.

Произведем предварительные расчеты:

$$C_{6,5} = 6,94 - 0,21 \times 6,5 + 11,6 / 6,5 = 7,36 \text{ г/т},$$

$$B_H = B (1 - \Delta B) = 6,5 \times 0,8 = 5,2 \text{ млн. т.},$$

$$C_H = 6,94 - 0,21 \times 5,2 + 11,6 / 5,2 = 8,079 \text{ г/т};$$

$$B_K = 6,5 \times 1,2 = 7,8 \text{ млн. т.}$$

$$C_K = 6,94 - 0,21 \times 7,8 + 11,6 / 7,8 = 6,789 \text{ г/т}.$$

$$C = \frac{C_H \cdot B_H + 2 \cdot C_{\bar{B}} \cdot B_{\bar{B}} + C_K \cdot B_K}{4 \cdot B_{\bar{B}}} = \frac{42,0096 + 95,675 + 52,9556}{4 \cdot 6,5} = 7,332 \text{ г/т}, \quad (1)$$

где B_H - количество запасов, извлекаемых в первой половине отработки месторождения;

C_H - начальное содержание добываемых руд;

C_K - содержание извлекаемых запасов в конечной порции руды;

B_K - количество извлекаемых запасов, во второй половине отработки;

C - среднее содержание руды при валовой отработке.

Используя установленные C и C_H , произведем оптимизационные расчеты (таблица 1).

Таблица 1.

Оптимизация А при $B=6,5$ млн. т., $\Delta B = \pm 20 \%$.

Показатели	Производительность А, млн. т/год		
	0,7	0,8	0,9
Б, млн. т.	6,5	6,5	6,5
С, г/т	7,332	7,332	7,332
С _н , г/т	8,079	8,079	8,079
М, г/т	5,866	5,866	5,866
М ₀ , г/т	6,463	6,463	6,463
У ₂	23,2639	19,1039	15,8059
М, г/т	0,1286	0,1470	0,1654

Т _с , лет	2,53	6,463	6,463
Т, лет	9,286	8,125	7,222
Д _о , млн. долл.	15,4435	16,4240	17,1502
Д _{од} , млн. долл.	195,814	203,6265	206,611
Д _д , млн. долл.	-	187,2325	192,241
Р, млн. долл.	30,26	31,78	31,79

Здесь оптимальными параметрами являются (рис.2): А_{опт}= 0,85 млн. т/год, R_{max}= 32,05 млн. долл.

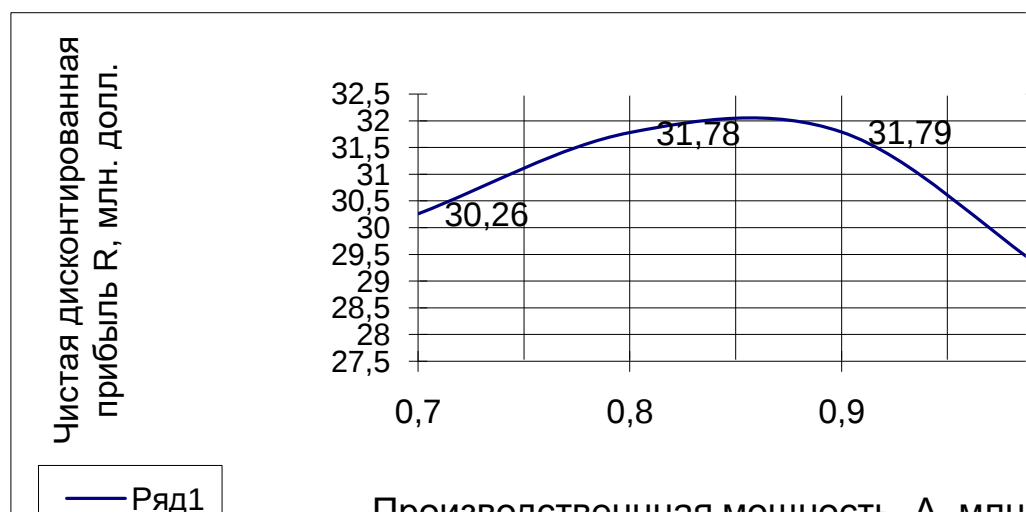


Рис.2. Дифференцированная оптимизация производственной мощности А при Б=6,5 млн.т.

Увеличим степень дифференциации до $\pm 30\%$. Аналогично предыдущего варианта расчета, произведем предварительные расчеты:

$$B_n = 6,5 \times 0,7 = 4,55 \text{ млн. т.},$$

$$C_n = 6,94 - 0,21 \times 4,55 + 11,6 / 4,55 = 8,534 \text{ г/т.},$$

$$B_k = 6,5 \times 1,3 = 8,45 \text{ млн. т.}$$

$$C_k = 6,94 - 0,21 \times 8,45 + 11,6 / 8,45 = 6,5383 \text{ г/т.}$$

$$C = \frac{C_n \cdot B_n + 2 \cdot C_o \cdot B_o + C_k \cdot B_k}{4 \cdot B_o} = 7,2982 / m \quad (2)$$

Результаты оптимизационных расчетов привели к выводу, что с ростом величины $\pm\Delta B$, растет и эффект R , причем прогрессивно.

Для установления оптимальной величины $\pm\Delta B$, следует ввести ограничения на содержание в конечной порции руды. Естественным ограничением может служить бортовое содержание C_b .

Задача решается путем итераций. При этом последовательно назначаются значения B_k , добиваясь равенства $C_{b,k} = C_k$.

Результаты итерационных расчетов (при $A = 0,8$ млн. т/год) представлены в таблице 2.

По данным таблицы 2 построим график изменений $C_{b,k}$ и $C_{в,k}$ от $\pm\Delta B$. Из него определим точку пересечений $C_{b,k}$ и $C_{в,k}$, соответствующий $\pm\Delta B$ (рис.3).

Таблица 2.

Определение предельной степени дифференциации бортового содержания при $B=6,5$ млн. т.

Показатели	Величина $\pm B$			
	20	30	60	70
$C_H = C_0$, г/т	8,0789	6,534	10,40	12,479
C_k , г/т	6,789	6,538	5,871	5,669
C , г/т	7,332	7,298	7,114	7,025
$C_{b,k}$, г/т	3,685	3,410	2,593	2,320
$C_{в,k}$, г/т	6,850	6,062	3,827	1,571

К точке пересечений соответствует $\pm\Delta B = 67\%$.

Итак, предельная степень дифференциации бортового содержания соответствует + 67% от B . В этом случае содержание в последней порции добываемой руды $C_{в,k}$ (ряд1) равно конечному бортовому $C_{b,k}$ (ряд2).

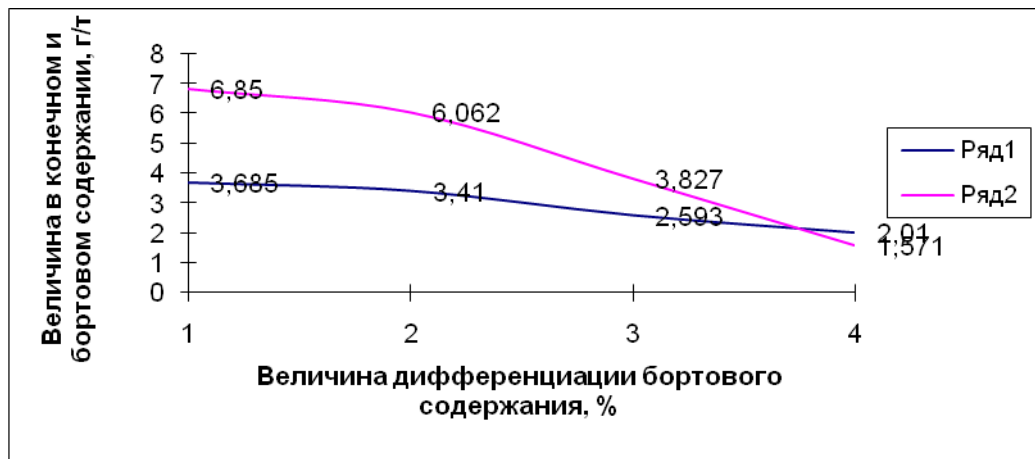


Рис.3. Определение предельной степени дифференциации бортового содержания при $B=6,5$ млн.т.

Оптимизационные расчеты, выполненные при $\Delta B=+67\%$, приведены ниже. Исходные данные:

$$B_H = 6,5 \times (1-0,67) = 2,145,$$

$$B_K = 6,5 \times 1,67 = 10,855$$

$$C_H = 6,94 - 0,21 \times 2,145 + 11,6 / 2,145 = 11,897 \text{ г/т},$$

$$C_K = 5,729 \text{ г/т},$$

$$C = 7,053,$$

$$C_{б.к} = 2,40$$

$$C_{в.к} = 2 \times 7,053 - 11,897 = 2,21 \text{ г/т},$$

$$C_{в.к} \approx C_{б.к} \quad (3)$$

Из рисунка 4, построенной по данным оптимизационных расчетов находим оптимальные параметры данной серии: $A_{\text{опт}} = 0,74$ млн. т/год, $R_{\text{max}} = 38,05$ млн. долл.

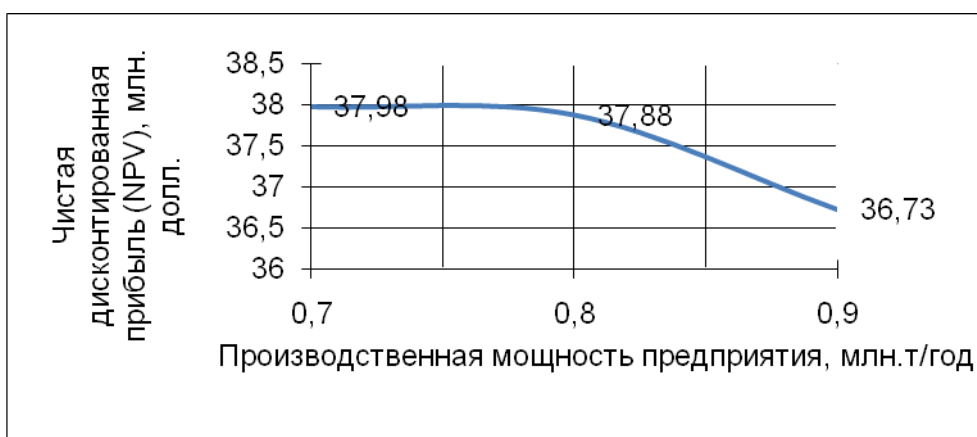


Рис. 4. Оптимизация производственной мощности А
при Б=6,5 млн.т.

Таким образом, выполнив несколько серий оптимизационных экспериментальных исследований, находим итоговое оптимальное значение искомой величины Б (таблица 3).

Как и прежде, по данным таблицы 3 построим зависимость изменения чистой дисконтированной прибыли R (чистой текущей стоимости NPV) от балансовых запасов месторождения (рис.5). И графически определим Б=7,5 млн. т., $R_{\max} = 38,3$ млн. долл.

Таблица 3.

Показатели	Балансовые запасы Б, млн. тонн.			
	5,0	6,5	8,0	10,0
$\pm\Delta Б$, %	65	67	72	72
С, г/т	8,0	7,053	6,2745	5,485
С _о , г/т	13,002	11897	11,648	10,17
А _{опт} , млн. т/г	0,72	0,74	0,89	0,9
Т, лет	6,93	8,78	8,99	11,1
С _{б.к} , г/т	3,52	2,4	1,15	0,72
С _{в.к} , г/т	2,85	2,21	0,90	0,79
R, млн. долл.	35,68	38,05	38,11	31,25

Результирующие показатели оптимизации балансовых запасов месторождения при дифференцированном бортовом содержании



Рис.5. Динамическая оптимизация балансовых запасов Месторождения

Таким образом, применение дифференцированного бортового содержания при валовой отработке резко (с 30,6 до 38,3 млн. долл.) повысило суммарный эффект одновременно с этим от 6,8 до 7,5 млн. т. возросли оптимальные балансовые запасы месторождения. Но результаты все же не достигли лучших показателей при опережающей отработке богатых руд. Следовательно, дифференциацию бортового содержания значительно эффективнее применять в сочетании с опережающей отработкой богатых запасов.

Как показали результаты практического использования разработанных методов на ряде месторождений разнокачественных руд, глубокая целенаправленная системная оптимизация является важным резервом повышения полноты извлечения запасов из недр и эффективности инвестиций в освоении минеральных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дронов Н.В., Толобекова Б. Оптимизационная оценка горных проектов в современных условиях. Бишкек, Илим, 2003.

2. Толобекова Б. Экономическая оптимизация полноты извлечения разнокачественных запасов и использования инвестиций. В сб. Материалы Ш- научной конференции КР(С)У, 1996.
3. Толобекова Б. Горно-экономическая оценка нагорных рудных месторождений при их проектировании. Автореферат дисс. на соискание док.техн.наук, Бишкек, 2007.