

сопротивление изоляции. Простота расчетных соотношений и отсутствие коммутаций в процессе измерений дают возможность, в дальнейшем, реализовать указанное устройство с использованием микропроцессорной техники [4].

Использование серии устройств непрерывного контроля изоляции на основе ТТНП позволит повысить безопасность и надежность эксплуатации рудничных высоковольтных электрических сетей за счет сокращения времени на поиск и устранение повреждений.

Кроме того, контроль и накопление значений уровня сопротивления изоляции за некоторый промежуток времени позволяет получить динамику изменения его во времени, что дает возможность планировать и осуществлять профилактические работы по поддержанию данного параметра на достаточном эксплуатационном уровне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петуров, В.И. Классификация устройств контроля и защиты рудничных электрических сетей / В.И. Петуров // Энергетика и энергоэффективные технологии: сб. докладов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию ЛГТУ. – Липецк: ЛГТУ, 2006. – Ч. 1. – С.37–41.
2. Петуров, В.И. Исследование и разработка способов и средств контроля параметров изоляции рудничных электрических сетей: дис. ... канд. техн. наук / В.И. Петуров. – М.: МГИ, 1992. – 120 с.
3. Петуров, В.И. Устройство контроля сопротивления изоляции и защитного отключения в сетях с изолированной нейтралью / В.И. Петуров // Электробезопасность. – 2010. – № 2–3. – С. 25–31.
4. Сидоров А.И. Обеспечение электробезопасности в системах электроснабжения / А.И. Сидоров, В.И. Петуров, А.В. Пичуев, И.Ф. Суворов. – Чита, ЧитГУ, 2009. – 268 с.

УДК 504.55.054:662 (470.6)

Голик В.И., д.т.н., проф., Прокопов А.Ю., д.т.н., проф., Разоренов Ю.И., Шахтинский институт (филиал) ЮРГТУ(НПИ), г. Шахты, Россия

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ МЕТАЛЛОВ

Эффективность работы горнодобывающих предприятий определяется, наряду с величиной затрат на добычу и переработку, качеством и ценностью полезных ископаемых. Решение оптимизационных задач осуществляется во взаимной увязке стадий разработки и производственной мощности рудника [1].

Таковыми критериями являются себестоимость добычи, приведенные затраты и замыкающие затраты на 1 т добываемого полезного ископаемого или прибыль на 1 т погашаемых балансовых запасов, которые могут оказаться взаимно противоречивыми. В многокритериальных задачах одним из часто встречающихся способов их решения является способ компромиссного оптимума, то нахождение такой точки, в которой значение целевой функции близко к оптимальному по каждому из критериев в отдельности.

Для оптимизации показателей работы предприятий в новых экономических условиях решают задачу по определению наилучших значений всех параметров, входящих в функцию цели. На практике для этого отказываются от наиболее бедных запасов, или, наоборот, вовлекают в эксплуатацию дополнительные запасы, в том числе и некондиционные.

Для повышения эффективности разработки месторождений важным направлением

является оптимизация производственной мощности предприятий путем комбинирования возможностей традиционных и инновационных технологий. При оценке вариантов комбинирования после исключения явно неприемлемых для детального анализа остается 2-4 системы. Одни из них позволяют добывать рудную массу дешево и с высокой производительностью, но увеличивают разубоживание и потери руды. Другие позволяют более полно извлекать запасы недр и повысить качество добываемой рудной массы, но требуют повышенных затрат. Этот выбор вариантов означает различные решения оптимизационной задачи, которые сравниваются между собой по вышеописанным критериям.

Доказано, что чем больше величина разубоживания, тем меньше извлекаемая ценность добываемого полезного ископаемого. Моделирование процессов разработки месторождений и ряды статистических наблюдений на предприятии с последующим анализом выборочных средних и дисперсий показывают, что в среднем в смысле сходимости по вероятности каждые 10 % разубоживания руды вмещающими породами снижают извлечения металлов при обогащении на 2-3 % , а разубоживание руды закладочным материалом только на 2-3 % приводит к такому же снижению извлечения при обогащении.

Таблица 1

Этапы разработки месторождений полезных ископаемых

Объект	Стадии работ	Продукт стадии	Качественная категория
Месторождение	разведка и изыскания	запасы руд	балансовые руды
			забалансовые руды
			металло - породы
Балансовые запасы	добыча	извлекаемые	кондиционная
			некондиционная
		не извлекаемые	временные потери
			невосполнимые
Горная масса	обогащение	концентрат	кондиционный
			промпродукт
		хвосты	текущие
			лежалые
Концентрат	металлургия	металлы	качественные
		хвосты	текущие
			лежалые

Если рудник имеет резерв увеличения производственной мощности за счет уже вскрытых запасов, например, бедных руд, от которых отказались при переходе на новые кондиции, целесообразен вариант вовлечения этих запасов в эксплуатацию [2].

Расчет параметров оптимизационной задачи для компромиссной целевой функции при системе ограничений указывает на эффективность вовлечения в эксплуатацию богатых руд, поскольку при этом не только уменьшаются удельные затраты на добычу и обогащение, но и увеличивается извлекаемая ценность добываемой рудной массы, руб./т:

$$u_o = 0,01 \sum_{i=1}^n c_o (1 - P) \sum_{j=1}^m \varepsilon_o u_o + \sum_{i=1}^{n_o} c_o (1 - P) \sum_{j=1}^{m_o} \varepsilon_o u_o ,$$

где ε_o , ε_o – извлечение металла из основных и дополнительных запасов, доли ед.; u_o и u_o – отпускная цена основного и дополнительного металла, руб./т; c_o и c_o содержание металла в руде основных и дополнительных запасов, %;

Экономическая эффективность комбинирования технологий определяется сравнением подземной выемки кондиционных руд с извлечением металлов на фабрике (традиционный метод) и подземного выщелачивания (инновационный метод). Комбинирование

традиционного и инновационного методов означает выбор различных значений для параметров оптимизации с учетом допустимых значений параметров и критериев для целевой функции [3].

Показатели традиционной разработки с выдачей всей горной массы на земную поверхность для переработки на заводе в зависимости от глубины разработок приведены в табл.2.

Таблица 2

Показатели традиционной разработки

Показатели	Себестоимость (\$/т) и удельный вес работ (%)									
	\$/т	%	\$/т	%	\$/т	%	\$/т	%	\$/т	%
Глубина выработки, м	200		400		600		800		1000	
Горно-капитальные работы	1,3	7,8	1,9	10,4	2,8	13,4	4,5	18,8	6,0	22,1
Горно-подготовительные	3,6	21,5	3,8	21,0	4,1	19,5	4,3	18,0	4,5	16,6
Очистные работы	2,9	17,3	3,2	17,5	3,5	16,5	3,7	15,5	4,1	15,2
Горные работы (всего)	7,8	46,5	8,9	49,0	10,4	49,5	12,5	52,5	-	-
Закладочные работы	2,6	15,5	2,7	14,8	3,3	15,8	3,8	15,8	4,3	15,9
Подземный транспорт	0,5	3,0	0,5	2,7	0,51	2,5	0,52	2,2	0,53	2,0
Подъем	0,65	3,9	0,73	4,0	1,2	5,7	1,2	5,0	1,6	5,9
Проветривание	1,1	6,6	1,2	6,5	1,3	6,2	1,4	5,8	1,5	5,5
Водоотлив	0,1	0,5	0,3	1,6	0,46	0,68	-	2,8	0,83	3,1
Общерудничные работы:	3,85	23,0	3,85	20,5	3,85	-	3,85	16,0	-	-
Рудничная стоимость 1т руды	16,7	100	18,3	100	21,0	100	24,0	100	27,2	100
Изменение себестоимости 1т	-	-	-	-	-	125	-	142	-	163
Увеличение стоимости 1т при понижении работ на 100 м, %	-	-	-	4,8	-	8,0	-	7,4	-	9,5

Экономический эффект применения новой технологии состоит в том, что при почти одинаковых затратах добывается больше металла за счет освоения некондиционных ранее запасов.

Показатели инновационной технологии с извлечением части руд для создания компенсационного пространства и выщелачиванием остального массива в блоках на месте их залегания приведены в табл.3.

Показатели комбинированной разработки моделируются для условий: глубина горных работ до 400 м, на этапе 1 в течение года добывается с переработкой на заводе 40000 т балансовых руд с содержанием 7 г/т, на этапе 2 перерабатывается 60000 т балансовых руд с содержанием 3 г/т выщелачиванием на месте залегания, и 40000 т хвостов обогащения содержанием 0,5 г/т выщелачиваются в штабелях с комбинированной механо-химической активацией (табл.4).

Таблица 3

Показатели инновационной технологии

Показатели	Себестоимость (\$/т) и удельный вес работ (%)									
	\$/т	%	\$/т	%	\$/т	%	\$/т	%	\$/т	%
Глубина работ, м	200		400		600		800		1000	
Горно-капитальные работы	0,68	7,0	1,15	7,7	1,64	10,0	2,4	13,2	3,0	15,2
Горно-подготовительные	4,7	34,0	5,0	33,5	5,3	32,3	5,6	31,0	5,8	29,3
Отбойка и выщелачивание	3,8	27,4	4,0	26,8	4,1	25,1	4,3	23,6	4,5	22,8
Горные работы (всего)	9,46	68,5	10,15	-	-	67,5	12,3	0,13	-	-
Подземный транспорт	0,19	1,38	0,19	1,28	0,19	1,15	0,19	1,05	0,20	1,0
Подъем	0,36	2,62	0,39	2,64	0,40	2,4	0,50	2,75	0,51	2,6
Откачка растворов	0,16	1,15	0,18	1,88	0,42	2,6	0,54	2,96	0,69	3,5
Водоотлив	0,08	0,6	0,31	2,08	0,46	2,8	0,68	3,75	0,83	4,2
Проветривание	1,1	7,2	1,17	7,8	1,37	8,3	1,49	8,2	1,66	8,5
Общерудничные работы	2,45	17,7	2,45	16,5	2,45	15,0	2,45	13,5	2,45	12,4
Рудничная стоимость 1т руды	13,8	100	14,9	100	16,4	100	18,2	100	19,7	100
Изменение себестоимости 1т	100	-	107,9	-	118	-	131	-	142	-

На рис.1 показан совмещенный график рудничной стоимости 1т руды.

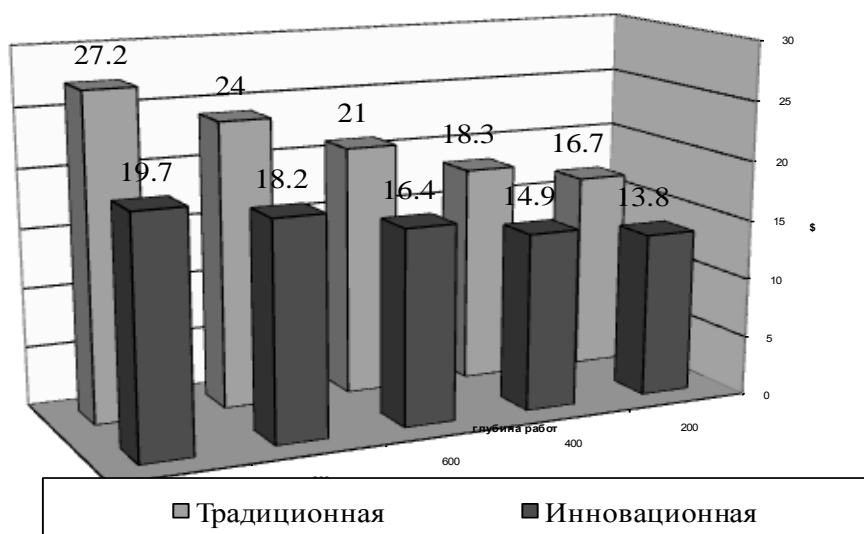


Рис.1. Совмещенный график рудничной стоимости 1т руды, добытой по традиционной и инновационной технологиям

Таблица 4

Показатели извлечения золота на этапах добычи

Показатели	Этап 1	Этап 2	Этап 3	3 этапа
Горно-капитальные работы, \$/т	1,9	1,15	-	-
Горно-подготовительные работы, \$/т	3,8	5,0	-	-
Очистные работы, \$/т	3,2	4,0	-	-
Горные работы (всего), \$/т	8,9	10,15	-	-
Закладочные работы, \$/т	2,7	-	-	-
Подземный транспорт, \$/т	0,5	0,39	-	-
Подъем и сортировка, \$/т	0,73	0,18	-	-
Проветривание, \$/т	1,2	0,31	-	-
Водоотлив (перекачка растворов), \$/т	0,3	1,17	-	-
Оборудование куч выщелачивания, \$/т	-	-	1,0	-
Выщелачивание хвостов, \$/т	-	-	1,0	-
Общерудничные расходы, \$/т	3,85	2,45	-	-
Рудничная себестоимость, \$/т	18,3	14,9	2,0	-
Количество горной массы, т	40000	60000	40000	140000
Содержание золота, г/т	7	3	0,5	-
Количество золота в горной массе, г	280000	180000	20000	480000
Извлечение золота, %	90	60	60	77
Добыто золота, г	252000	108000	12000	372000
Продажная цена, \$/г	10	10	10	10
Рыночная цена, \$/г	12	12	12	12
Прибыль, \$	504000	216000	24000	744000
Эффективность, %	100	-	-	148

На основе экспериментальных и расчётных данных спланирован симметричный план Бокса В₄. Константы имитационного исследования приняты по данным практики рудника.

Условия опытов в кодовом и натуральном масштабе приведены в табл.5.

В результате статистической обработки результатов имитационного эксперимента и отсева статистически не значимых коэффициентов регрессии были получены следующие уравнения регрессии, оказавшиеся статистически надёжными на уровне значимости 0,05.

Модель экономической эффективности комбинирования технологий на этапах разработки месторождения с независимыми переменными в безразмерном масштабе:

$$W = -0.365 \cdot X_1 + 68288.391 \cdot X_2 + 0.437 \cdot X_3 + 2215.482 \cdot X_4,$$

где W – прибыль; X_1 – количество горной массы; X_2 – содержание золота в руде; X_3 – извлечение золота из руды; X_4 – рудничная себестоимость.

Таблица 5

Граничные условия независимых переменных

Уровни	Нижний	Средний	Верхний	Интервал
	-1	0	+1	Δ
Количество горной массы, тыс.т (X_1)	40	90	140	50
Содержание золота в руде, г/т (X_2)	0,5	3,75	7	3,25
Извлечение золота из руды, % (X_3)	60	75	90	15
Рудничная себестоимость, \$/т (X_4)	2,0	10,15	18,3	8,15

Параметры B_1, B_2, B_3, B_4 регрессионной модели (1) были рассчитаны методом наименьших квадратов:

- коэффициент детерминации:

$$R^2 = 0,9991,$$

- расчетное значение критерия Фишера:

$$F_{расч} = 1662,35.$$

- табличное значение критерия Фишера:

$$F_{табл}(5\%; 4; 2) = 19,25.$$

Так как $F_{расч} > F_{табл}$, то гипотеза о зависимости значима на уровне 5% принимается как правдоподобная.

Так как в реальном масштабе (1) коэффициенты при X_1 и X_3 во много раз меньше коэффициентов при X_2 и X_4 , то факторы X_1 и X_3 практически не оказывают влияния на показатель прибыли. Влияние фактора X_2 больше, чем фактора X_4 , поскольку коэффициент при X_2 на порядок больше. Таким образом, наиболее сильное влияние на результативный показатель прибыли оказывает фактор содержания металла в руде.

При переводе переменных X_i в безразмерный (кодовый) масштаб видно, что доля затрат на горные работы в структуре рудничной себестоимости превышает 50 %, а позволяет использовать эти затраты в качестве основного критерия оптимизации, а также для оценки экономической эффективности комбинирования этапов разработки месторождения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голик В.И., Разоренов Ю.И.. Проектирование горных предприятий (учебное пособие). Новочеркасск. ЮРГТУ. 2007.
2. Шестаков В.А. Проектирование горных предприятий. М.1995. -440 с.
3. Исмаилов Т.Т., Голик В.И., Дольников Е.Б. Специальные способы разработки месторождений полезных ископаемых. Москва. МГГУ. 2005. 540 с.