

# Экономико-математическая модель оптимизации элементов технологических схем проведения, поддержания и охраны горных выработок, оконтуривающих выемочные столбы, проводимых с присечкой пород комбайновым способом в условиях шахты «Чертинская-Коксовая»

В статье раскрыты основы оптимизации элементов экономико-математической модели технологических схем проведения, поддержания и охраны горных выработок, оконтуривающих выемочные столбы, проводимые с присечкой пород комбайновым способом.

**Ключевые слова:** оптимизационная модель, критерий оптимальности, технико-экономическая оценка, альтернативный вариант.

**Контактная информация:**

e-mail: ryabkov.nikolay@chrt.belon.ru;  
chrt.mine@belon.ru

Процесс подготовки выемочных столбов к отработке включает: проведение, поддержание и охрану горных выработок. Следует учесть, что в большинстве случаев в проходческом забое, по площади его сечения, приходится в той или иной мере присекать породы почвы, кровли или боков выработок, проводимых в неоднородных породах комбайном. Авторами предлагается математическое описание задачи проектирования эффективной технологической схемы проведения, поддержания и охраны горных выработок выемочных столбов в неоднородных породах со сплошной выемкой горной массы комбайном (1):

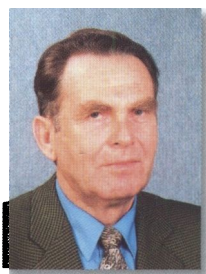
$$K_{opt\ i} = F(\vec{G}_i, \vec{C}_{np\ i}, \vec{C}_{под\ i}, \vec{C}_{опр\ i}) \rightarrow opt, \quad (1)$$

где:  $K_{opt\ i}$  — критерий оптимальности оценки технологической схемы проведения, поддержания и охраны горных выработок выемочных столбов;  $\vec{G}_i$  — вектор, компоненты которого отражают горно-геологические условия проведения, поддержания и охраны горных выработок по пластам в неоднородных породах, при их повторном использовании;  $\vec{C}_{np\ i}$  — вектор, компоненты которого характеризуют оптимизируемые характеристики проведения горных выработок по пластам в неоднородных породах комбайновым



**РЯБКОВ**

**Николай Владимирович**  
Директор шахты  
«Чертинская-Коксовая»,  
соискатель кафедры  
РМПИ ПС КузГТУ  
имени Т. Ф. Горбачева



**РЕМЕЗОВ**

**Анатолий Владимирович**  
Профессор кафедры  
РМПИ ПС  
КузГТУ имени Т. Ф. Горбачева,  
доктор техн. наук



**НОВОСЕЛОВ**

**Сергей Вениаминович**  
Научный сотрудник  
ООО ИМП «Импульс»,  
канд. экон. наук

способом, при их повторном использовании;  $\vec{C}_{под\ i}$  — вектор, компоненты которого характеризуют оптимизируемые характеристики поддержания горных выработок по пластам в неоднородных породах комбайновым способом, при их повторном использовании;  $\vec{C}_{опр\ i}$  — вектор, компоненты которого характеризуют оптимизируемые характеристики охраны горных выработок по пластам в неоднородных породах комбайновым способом, при их повторном использовании.

Согласно описанию, приведенному выше, требованиями к математической модели комплексной оценки технологической схемы проведения, поддержания и охраны горных выработок по пластам в неоднородных породах, при их повторном использовании являются:

— возможность альтернативной оценки принятых технико-технологических решений, влияющих на характеристики векторов  $\vec{C}_{np\ i}, \vec{C}_{под\ i}, \vec{C}_{опр\ i}$  технологической схемы;

— возможность количественного сравнения альтернативных вариантов технологических схем проведения, поддержания и охраны горных выработок по пластам в неоднородных породах, при их повторном использовании;

— адекватность экономико-математической модели основным факторам горно-геологических условий залегания пластов, для обеспечения минимальной погрешности в расчетах;

— возможность быстро корректировать и автоматизировать расчеты экономико-математической модели при использовании программы MS Excel;

— простота в применении на практике экономико-математической модели при использовании автоматизированной программы MS Excel.

Технико-технологические оценки, приведенные по энергозатратам, по уровню организации, и представляют элементы

экономико-математической модели комплексной оценки технологической схемы проведения, поддержания и охраны горных выработок, проводимых с присечкой пород, при их повторном использовании. Их надо обобщить, ввести недостающие элементы и привести к общей (натуральной или стоимостной) единице измерения для полной адекватности модели характеристикам проведения, поддержания и охраны горных выработок.

В общем виде данная экономико-математическая модель определяется целевой функцией:

$$f(C_{\text{ит}}) = \sum C_{\text{пр}i} + \sum C_{\text{под}i} + \sum C_{\text{опр}i} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где:  $C_{\text{ит}i}$  — суммарные затраты по  $i$ -му альтернативному варианту технологической схемы;  $\sum C_{\text{пр}i}$  — суммарные затраты на проведение горной выработки по  $i$ -му альтернативному варианту технологической схемы;  $\sum C_{\text{под}i}$  — суммарные затраты на поддержание горной выработки по  $i$ -му альтернативному варианту технологической схемы;  $\sum C_{\text{опр}i}$  — суммарные затраты на охрану горной выработки по  $i$ -му альтернативному варианту технологической схемы.

По модели вводятся следующие ограничения:

$$\begin{cases} C_{\text{пр}i} \leq a \\ C_{\text{под}i} \leq b, \\ C_{\text{опр}i} \leq c \end{cases} \quad (3)$$

где:  $a, b, c$  — соответственно ограничения по затратам на проведение, поддержание и охрану горных выработок по пластам в неоднородных породах, при их повторном использовании, пройденным комбайновым способом.

Определим сначала методом прямого счета основные элементы, имеющиеся в модели, для последующего решения в программе MS Excel оптимизационной задачи.

Определим переменные:  $X_1$  — затраты, приходящиеся на проведение 1 м горной выработки;  $X_2$  — затраты, приходящиеся на поддержание 1 м горной выработки;  $X_3$  — затраты, приходящиеся на охрану 1 м горной выработки.

Ввиду того, что длина выработки для всех переменных в принципе одинакова, введем обычное нормирование — на 1000 м выработки. Следовательно, математически целевая функция будет иметь вид:

$$f(\bar{X}) = 1000X_1 + 1000X_2 + 1000X_3 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Следующим шагом расчетов будет определение ограничений. Ими будут соответственно одновременные затраты (себестоимость 1 м), приходящиеся на 1 м выработки, которые определены по официальным источникам информации и фактическим отчетам шахты «Чертинская-Коксовая» за 2012 г., при среднеотраслевой себестоимости 1 м = 92 558 руб., при этом средняя себестоимость прове-

дения 1 м выработки шахты «Чертинская-Коксовая» составила 122 553 руб. /м. Отсюда следует вывод, что среднеотраслевая себестоимость может быть ограничением, так как она ниже, чем на шахте «Чертинская-Коксовая».

Следующим моментом является определение ограничений на поддержание и охрану горных выработок, которые составляют около 10 % от себестоимости проведения горной выработки. В модель поставим ограничения в размере 6127 руб. /м. Последнее и важное ограничение определится по максимуму затрат по отрасли на проведение, поддержание и охрану 1 м выработки, которое составит 92 558 руб. /м и математически отражает выражение:

$$X_1 + X_2 + X_3 \leq 92558. \quad (5)$$

Следовательно, экономико-математическая модель задачи примет вид:

$$\begin{cases} f(\bar{X}) = 1000X_1 + 1000X_2 + 1000X_3 \rightarrow \min; \\ X_1 \geq 122553 \\ X_2 \leq 6172 \\ X_3 \leq 6172 \\ X_1 + X_2 + X_3 \leq 92558 \end{cases} \quad (6)$$

Решение данной оптимизационной задачи в программе MS Excel имеет вид матрицы (табл. 1)

Согласно автоматизированным расчетам (табл. 2) оптимальная себестоимость проведения горных выработок при учете всех вышеперечисленных данных в современных условиях шахты «Чертинская-Коксовая» должна составлять 80 214 руб. /м. и должна быть ниже среднеотраслевой (12 344 руб. /м).

Для решения задачи выбора оптимальной технологической схемы подготовки выемочного столба, при использовании стоимостных критериев создадим информационную базу, согласно паспортам исследуемых выработок (см. табл. 2).

Определив оптимальную себестоимость проведения горных выработок (см. табл. 2) и зная цену угля и себестоимость проведения горных выработок при альтернативных

Таблица 1

**Поиск оптимальной себестоимости проведения горных выработок в условиях шахты «Чертинская — Коксовая» (матрица)**

$X_1$	$X_2$	$X_3$		
80214	6172	6172		
0	0	0	0	
1			80214	122553
	1		6172	6172
		1	6172	6172
	1	1	92558	92558

Таблица 2

**Объемно-стоимостные характеристики проведения подготовительных выработок на шахте «Чертинская — Коксовая»**

Показатели	Объем на столб длиной 1500 м, т	Конвейерный штрек №339		Конвейерный штрек №429		Конвейерный штрек №548	
Состав структуры забоя:							
— уголь	48243	10,142 м	13,2 т/м <sup>3</sup>	5,4 м <sup>2</sup>	7,02 т/м <sup>3</sup>	9,2 м <sup>2</sup>	11,96 т/м <sup>3</sup>
— порода	52302	2,16 м	4,97 т/м <sup>3</sup>	8,4 м <sup>2</sup>	19,3 т/м <sup>3</sup>	4,6 м <sup>2</sup>	10,58 т/м <sup>3</sup>
Себестоимость проведения 1 м, руб.	—	122553		135300		129500	
Относительная стоимость 1 м горной выработки, отнесенная к подготовленным запасам, руб.	—	941200		371800		520000	



технологических схемах, а также, поставив в ограничения стоимость угля в подготавливаемых выемочных столбах, приходящихся на 1 м проведенных выработок (см. табл. 2), можно определить оптимальный объем их проведения, при альтернативных вариантах, с целью максимизации прибыли, с учетом принятых потерь угля, в размере около 4%. Все это будет отражать в конкретных условиях следующая целевая функция:

- переменные:

$X_1$  — проведение конвейерного штрека №339;

$X_2$  — проведение конвейерного штрека №419;

$X_3$  — проведение конвейерного штрека №546;

— целевая функция — условная прибыль от проведения выработки (руб.):

$$f(\bar{X}) = [941200 - (122553 + 0,04X_1)]X_1 + \\ + [371800 - (135300 + 0,04X_2)]X_2 + \\ + [520371800 - (135300 + 0,04X_3)]X_3 \rightarrow \max; \quad (8)$$

— после преобразований получили целевую функцию:

$$f(\bar{X}) = 81864X_1 + 0,04X_1^2 + 236500X_2 + \\ + 0,04X_2^2 + 390500X_3 + 0,04X_3^2 \rightarrow \max; \quad (9)$$

- ограничения:

— по извлечению угля и породы при проходке:

$$\begin{cases} (13,2 + x_1)x_1 + (7,02 + x_2)x_2 + (11,96 + x_3)x_3 \leq 48243 \\ (4,97 + x_1)x_1 + (19,3 + x_2)x_2 + (10,58 + x_3)x_3 \leq 52302 \end{cases}; \quad (10)$$

— по проведению количества выработок:

$$\begin{cases} X_1 \geq 1 \\ X_2 \geq 1 \\ X_3 \geq 1 \end{cases} \quad (11)$$

Решение данной оптимизационной задачи в программе MS Excel имеет вид матрицы (табл. 3).

Согласно автоматизированным расчетам (см. табл. 3), программа рассчитала параметры оптимального варианта проведения горных выработок по технологической схеме №3 в объеме 1955 м и «условную прибыль» в размере 880 млн руб. Это говорит о том, что из трех технологических схем оптимальной будет технологическая схема №3 при возможном увеличении выемочного столба с 1330 м по паспорту, до 1955 м, по оптимизированным расчетам, а варианты технологических схем №1 и №2 соответственно имеют позиции III и II, в более низких объемах, в данных условиях шахты «Чертинская-Коксовая».

Таблица 3

**Поиск оптимального объема проведения горных выработок при альтернативных технологических схемах в условиях шахты «Чертинская — Коксовая» (матрица)**

21	96	1955		
X1	X2	X3	8,03E+08	
10	-	12	48243	48243
5	19	10	50686	52302
			21	1
			96	1
		1	1955	1

Следующим этапом раскрытия математического описания модели (2) является  $\vec{C}_{под i}$  — вектор, компоненты которого характеризуют оптимизируемые характеристики поддержания горных выработок по пластам в неоднородных породах комбайновым способом, при их повторном использовании, в целом за основной был принят критерий изменения площади поперечного сечения выработки, при учете основных воздействующих на него факторов, табл. 4.

Ниже приводится раскрытие математического описания модели (2) по определению  $\vec{C}_{оп i}$  — вектора, компоненты которого характеризуют оптимизируемые характеристики охраны горных выработок по пластам в неоднородных породах комбайновым способом, при их повторном использовании. При анализе множества факторов, влияющих на процесс охраны горных выработок, авторы основным фактором оценки способа охраны горной выработки определили ( $t_{оп}$ ) — время охраны (сутки).

В условиях шахты «Чертинская-Коксовая» при кровле, имеющей среднеобрушающиеся породы, согласно рекомендациям ВНИМИ, необходимый разрыв во времени между отработкой столба и проведением выработки при глубине ее расположения менее 600 м составляет 5 мес., и, учитывая, что длину участка поддержания штрека рассчитывают из условия, чтобы время подготовки нового столба  $T_n$  не превышало времени отработки оставшегося выемочного столба  $T_{оп}$ , получим формулу:

$$T_n + t_{pe} < T_{оп} \quad (12)$$

где:  $t_{pe}$  = 1 мес. — резерв времени, следовательно, получим искомую оптимизационную задачу с ограничениями:  $T_n > 150$  дней,  $t_{pe} < 31$  дня

Решение данной оптимизационной задачи в программе MS Excel имеет вид матрицы (табл. 5).

Таблица 4

**Оценка способов поддержания выработок на шахте «Чертинская-Коксовая» по пластам 3, 4, 5**

Тип технологической схемы проведения	Технологический способ поддержания выемочных столбов	Вид крепи	Коэффициент изменения площади поперечного сечения	Относительный рейтинг способа поддержания технологической схемы
№1, конвейерный штрек №339 пласт 3, комбайн ГПКС (применяемая)	Формой и типом крепи	Анкерная АК01 А20В	$k_t = S_t$ ; $S_0 = 11,5$ ; $12,3 = 0,93$	0,93
№2, конвейерный штрек №419 пласт 4, комбайн КП — 21Д (применяемая)	Формой и типом крепи	Анкерная А20В	$k - t = S_t$ ; $S_0 = 16,5$ ; $17,4 = 0,95$	0,95
№3, конвейерный штрек №546 пласт 5, комбайн КП-21Д (применяемая)	Формой и типом крепи	Анкерная А20В	$kt = S_t$ ; $S_0 = 13,0$ ; $13,8 = 0,94$	0,94
№3 (модернизированная) конвейерный штрек №546 пласт 5, комбайн КП-21Д с применением штрекоподдирочной машины при полном восстановлении поперечного сечения	Полное восстановление поперечного сечения	Анкерная А20В	$k, = S_t$ ; $S_0 = 13,8$ ; $13,8 = 1,0$	1,0

Автоматизированные расчеты показали, что оптимальное время проведения горной выработки составит 135 дней плюс резерв 31 день, при учете всех вышеперечисленных данных, в условиях шахты «Чертинская-Коксовая». Ввиду того, что для восстановления нормального сечения выработки в технологической схеме №3 будет применяться штрекоподдирочная машина, время охраны выработки может быть сведено к минимуму.

Резюмируя, можно констатировать, что применение методов экономико-математического моделирования для обоснования оптимальных параметров технологических схем подготовки выемочных столбов позволит выбирать наиболее эффективный альтернативный вариант технологической схемы.

Таблица 5

**Поиск оптимального времени  
подготовки горных выработок  
в условиях шахты «Чертинская-Коксовая»  
в программе MS Excel (матрица)**

$t_1$	$t_2$		
135	31		
1	1	166	
1	1	166	166
1		135	150
	1	31	31