
ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ



УДК 339.138: 622.26.001.57

Єрохондіна Т.О., Шашенко О.О.

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОГО РИНКУ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

У статті розглянуті принципи створення економіко-математичної моделі підготовчої виробки вугільної шахти, яка розглядається як багаторівневий об'єкт із стохастичною структурою, в умовах нестабільного ринку вугільної промисловості.

Ключові слова: економіко-математичне моделювання, оптимізація витрат, підготовчі виробки, вугільні шахти.

In the article the principles of economic and mathematical model development working coal mine, which is regarded as a stochastic multi-object structure in a stable market coal industry.

Keywords: economic and mathematical model, cost optimization, entries, coal mines

Доведено, що частка собівартості вугілля, що видобувається, яка припадає на спорудження і ремонт підготовчих виробок вугільних шахт невпинно зростає і на цей час дорівнює від 10% до 80%. Така ситуація не сприяє конкурентноздатності українського вугілля як на внутрішньому так і на зовнішньому ринках. Актуальність мінімізації вартості гірничопрохідницьких робіт об'єктивно спричиняє покращенню організаційних робіт як в середині прохідницького циклу, так і в підходах до проектуванні виробок на основі нових моделей. Аналіз структури собівартості вугілля, що видобувається, показав, що резерви до покращення ситуації є. У якості об'єкта, що досліджується, обрана одна з найкращих шахт України – шахта «Красно армійська-Західна №2».

Внаслідок складних гірничогеологічних умов, в яких функціонують вугільні шахти Донбасу, собівартість українського вугілля порівняно з іншими країнами досить висока. В її структурі значну частину займають витрати, що пов'язані з проведенням і підтриманням протяжних виробок, за допомогою яких відбувається підготовка до відпрацювання вугільних пластів. Серед сукупності усіх протяжних виробок підготовчі виробки займають близько 90 відсотків їх загального обсягу. Витрати на їх проведення та ремонт у структурі собівартості вугілля складають для різних гірничогеологічних умов від 10 до 28%. Приймаючи до уваги загальний обсяг товарного вугілля, що видобувається в Україні, а це близько 70 млн. тон, витрати пов'язані з проведенням та підтриманням у робочому стані підготовчих виробок, є значними, а проблема їх зменшення є актуальною.

Метою досліджень на першому етапі дослідження є пошук шляхів зменшення частки витрат, пов'язаних з проведенням і підтриманням підготовчих виробок, в собівартості видобутого вугілля.

Суттєвий внесок у системний підхід до вивчення гірничопрохідницьких робіт внесли такі вчені, як Г.В. Бабіюк, В.С. Верхотуров, В.П. Друцко, О.В. Корчак, І.В. Ляшенко, Е.Е. Нильва, В.В. Першин, П.І. Пономаренко, В.М. Рожинський, Е.І. Рогов, Е.С. Смекалін, Г.І. Хазонович, І.Е. Цейтлін. Ними запропоновані різні варіанти моделей, від найбільш узагальнених детермінованих до глибоко деталізованих стохастичних [1, 2].

Але вони торкалися, перш за все, проблем, пов'язаних із оптимізацією робіт на різних етапах спорудження виробок, на темпах їх спорудження. Задача ж одночасної мінімізації частки витрат на проведення та ремонт підготовчих виробок, тобто капітальних і експлуатаційних витрат, у структурі собівартості видобутку вугілля в них не ставилась. Принципи складання економіко-математичних моделей з урахуванням капітальних і експлуатаційних витрат для стохастичних моделей розглянуті у роботах Шашенко О.М., Сдвижкової О.О., Єрохондіної Т.О. [4-6], але без урахування можливостей оптимізації робіт всередині циклу.

Задача загальної мінімізації вартості гірничопрохідницьких робіт не ставилась. Насправді вона складається з двох етапів:

- оптимізація витрат на проведення і експлуатацію підготовчих виробок;
- оптимізація організації робіт всередині прохідницького циклу.

Шляхи скорочення цих витрат розглянемо на прикладі одного з найсучасніших вугільних підприємств України – шахти «Красноармійська-Західна №2».[7].

Шахта відпрацьовує єдиний вугільний пласт d_4 у складних гірничогеологічних умовах. Основний комплекс проблем виникає при проведенні і підтриманні виїмкових штреків. Їх сумарна довжина на шахті станом на кінець 2009 р. перевищувала 150км. Щороку близько 10-15% підготовчих виробок фіксуються, як такі, що не відповідають паспорту кріплення. Труднощам з проведенням і підтриманням підготовчих виробок сприяють наступні фактори:

- значна геологічна порушеність масиву, що перетинається гірничою виробкою;
- зростання підземних транспортних витрат;
- зростання вартості металопрокату для рамного кріплення, що суттєво впливає на собівартість спорудження.

З року в рік на шахті постійно зростають витрати на ремонт виробок. Відповідні дані по ремонту виробок за період з 2004 до 2010рр. наведено на рис. 1



Рис.1 Динаміка зміни довжини відремонтованих виробок та собівартості перекріплення

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Аналіз даних, що наведені на рис.1 і у табл.1, показує, що і загальна довжина виробок, що ремонтуються, і собівартість ремонтних робіт із року в рік зростають.

Деяке зниження обсягів проведення підготовчих виробок у 2007–2008 роках викликане загальносвітовою кризою, яка торкалась і вугільної промисловості України. Незалежно від цих обставин темпи зростання вартості ремонтів суттєво перевищують темпи зростання обсягів проведених підготовчих виробок.

Таким чином, загальна вартість підготовчих виробок, що споруджуються на шахті, складається з витрат на їх спорудження, що залежать від різних чинників, у тому числі, в першу чергу, вартості металопрокату і темпів проведення виробок, і з витрат, що пов'язані з подальшою їх експлуатацією.

Таблиця 1

Витрати на ремонт підготовчих виробок

Рік	Показник	
	Загальна довжина відремонтованих за рік виробок, м	Собівартість 1м перекріплення, грн.
2004	14 305	4 699
2005	19 641	5 715
2006	20 191	5 972
2007	17 398	7 091
2008	18 905	9 780
2009	21 155	10 250
2010	21 872	10 920

Підготовчу виробку можна розглядати як самостійний господарський об'єкт, термін експлуатації якого у сучасних умовах, як правило, не перевищує одного року. Витрати на проведення і підтримання протяжних виробок включають, як вже було заявлено, капітальні витрати на спорудження підготовчої гірничої виробки та витрати, пов'язані з підтримкою виробок. Питомі капітальні витрати K_n на спорудження 1м підготовчої гірничої виробки залежать від гірничо-геологічних умов, способу проведення виробки, площі її поперечного перерізу, виду кріплення, відстані між елементами кріплення, виду затяжки тощо. Для конкретних гірничо-геологічних умов, сталої площі поперечного перерізу та однакового типу підготовчих виробок питомі капітальні витрати в першу чергу пов'язані із щільністю рам кріплення.

Досвід експлуатації підготовчих виробок свідчить, що їх стійкість є функцією величини питомих капітальних витрат, тобто:

$$K_n = K_n \cdot a . \quad (1)$$

Витрати, що пов'язані з підтриманням виробки у робочому стані, можуть розглядатись як експлуатаційні – E . Величина експлуатаційних витрат на підтримання 1м виробки у робочому стані може бути визначена як:

$$E = E_n \cdot a , \quad (2)$$

де E_n - нормативні витрати на перекріплення 1м виробки у випадку коли вона повністю зруйнована, тис. грн.; a - відносний показник стійкості виробки.

Відносний показник стійкості виробки визначається за формулою:

$$\omega = \frac{L - L_p}{L}, \tag{3}$$

де L - загальна довжина виробки, L_p - частка довжини виробки, що ремонтується.

Величина α може змінюватись від 0 (виробки повністю зруйновані) до 1 (виробка не ремонтується). Фактично величина відносного показника стійкості виробки обчислюється для конкретних гірничо-геологічних умов і конкретного типу кріплення виробок за даними маркшейдерських вимірювань. Його значення для різного типу кріплення виробок на шахті «Красноармійська-Західна №1» коливається в межах 0,5-0,9 (рис.1). Це витікає з рис.1, що побудований за даними маркшейдерських вимірювань. Як видно з рисунку, обсяг ремонтних робіт для однотипних виробок приблизно однакового поперечного перерізу, з однаковим типом кріплення (профіль СВП-27) нелінійно зростає із збільшенням шагу кріплення і відповідним зменшенням капітальних витрат.

На рис. 2 видно, що капітальні витрати на спорудження виробки можна представити як величину, що пов'язана з показником стійкості виробки. З достатньою точністю цей зв'язок можна представити поліномом другого ступеня виду

$$K = a\omega^2 + b\omega + c, \tag{4}$$

де a, b, c – коефіцієнти зв'язку.

Для умов шахти «Красноармійська-Західна №1» ці коефіцієнти мають такі значення: $a = 0,42$; $b = -0,8$; $c = 0,94$.

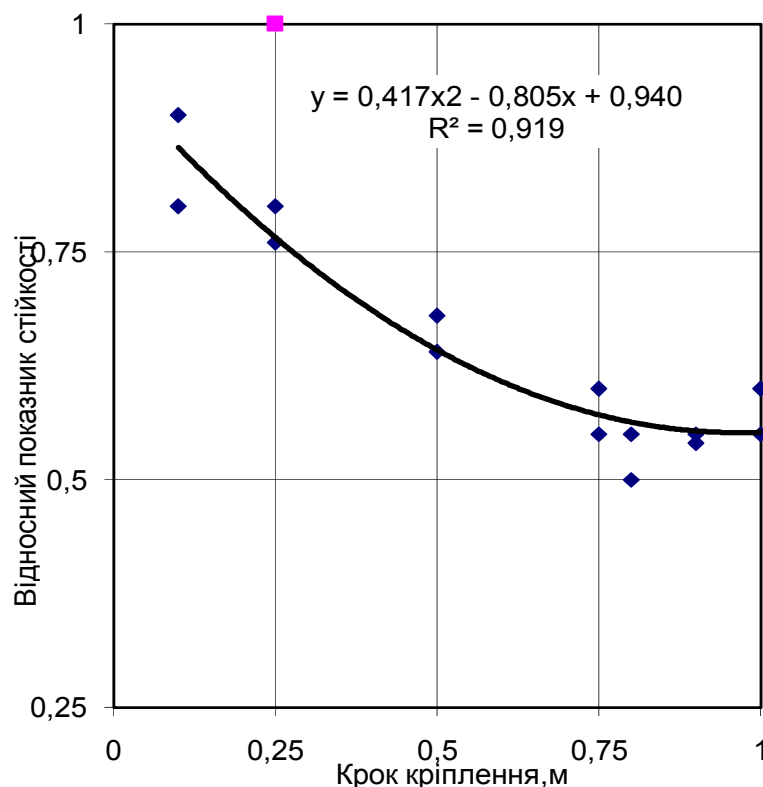


Рис. 2. Залежність стійкості виробки від шагу кріплення (капітальних витрат)

Тоді загальні витрати на спорудження і експлуатацію 1м виробки складатимуть:

$$B = K_n(a\omega^2 + b\omega + c) + E_n\omega. \quad (5)$$

Аналізуючи формулу (5), слід відзначити, що всі величини, які розташовані у правій її частині, взаємопов'язані. Від того, яка конструкція кріплення прийнята на стадії проектування суттєво залежать капітальні витрати. При кріпленні підвищеної несучої здатності підвищується його вартість (K), але й одночасно знижується як обсяг ремонтних робіт (a), так і їх вартість (E). Якщо ж початково кріплення у виробці має невисоку несучу здатність при відносно малій його вартості, то ситуація виглядає навпаки: при цьому збільшується вартість ремонтних робіт і їх обсяг [2, 3].

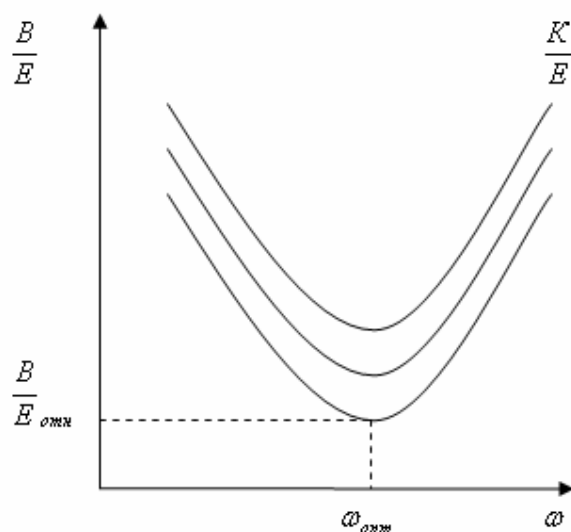


Рис.3 Залежність вартості спорудження і експлуатації виробки від показника стійкості

Для зручності аналізу формули (5) розділимо обидві його частини на величину K і отримаємо наступний вираз:

$$\frac{B}{K} = a\omega^2 + b\omega + c + \frac{E_n}{K}\omega, \quad (7)$$

або

$$\frac{B}{K} = a\omega^2 + (b + \frac{E_n}{K})\omega + c. \quad (8)$$

Виходячи з (8) задачі мінімізації витрат на спорудження та підтримку підготовчої гірничої виробки має вид:

$$\frac{B}{K} = a\omega^2 + (b + \frac{E_n}{K})\omega + c. \rightarrow \min. \quad (10)$$

Модель, яка розглядається, є суттєво нелінійною, тобто функція $\frac{B}{K} = \frac{B}{K}(\omega)$ повинна мати екстремум, що відповідає мінімуму витрат на спорудження і експлуатацію виробки як це відображено на рис.3. Виходячи (8) мінімуму витрат буде відповідати значення ω в точці коли

$$dB/d\omega = 0. \quad (11)$$

Виконавши відповідні обчислення отримаємо:

$$\omega_{opt} = \frac{-2a}{b + \frac{E_n}{K}}. \quad (12)$$

Якщо у формулі (4) змінити знак перед другим членом на протилежний, то $b=0,8$, а формула (12) переписується у вигляді:

$$\omega_{opt} = \frac{2a}{b + \frac{E_n}{K_n}}. \quad (13)$$

За інших гірничо-геологічних умов мінімум витрат на спорудження і експлуатацію виробки може зміщуватись, але екстремальній характер залежності вартості спорудження і експлуатації виробки від показника стійкості зберігається, як це відображено на рис. 3.

Відношення $\frac{E_n}{K}$ для шахти складає, приблизно, 0,5–0,7. Тоді оптимальне значення α_{opt} для умов, що розглядаються, буде дорівнювати з урахуванням коливань значень $\frac{E_n}{K}$

$$\omega_{opt} = \frac{2 \cdot 0,48}{0,8 + 0,6} = 0,68$$

Це дорівнює, у середньому, шагу кріплення 0,7м. При цьому загальні витрати на проходку і експлуатацію штреків будуть в умовах шахти «Красноармійська-Західна №2» мінімальні.

За виконаними дослідженнями можна зробити наступні висновки:

1. Мінімізація витрат, пов'язаних з підготовкою вугільних пластів до виїмки, може бути здійснена шляхом побудови і дослідження економіко-математичної моделі підготовчої виробки, що одночасно враховує всі елементи витрат на спорудження та підтримку підготовчих виробок.

2. Запропонована економіко-математична модель підготовчої виробки відображає суттєво стохастичну природу об'єкта і будується за допомогою сучасних імовірнісно-статистичних методів досліджень. Вона дозволяє не тільки вибрати найбільш раціональний вид кріплення на етапі спорудження виробки, але й прогнозувати обсяги ремонтних робіт, які слід планувати при заданих капітальних та експлуатаційних витратах.

3. Для гірничо-геологічних умов шахти «Красноармійська-Західна №2» оптимальний крок кріплення становить 0,7м.

Перспективи подальших досліджень у напрямку, що викладені вище, полягає у розширенні статистичних даних відносно заказника a , який повинен бути пов'язаний з показником умов розробки покладів вугілля і дорівнює:

$$\theta = \frac{R_c K_c}{\gamma H}, \quad (14)$$

де R_c - міцність порід, що вміщують шари вугілля,

K_c – коефіцієнт структурного послаблення порідного масиву,

γ - щільність гірських порід,

H – глибина розробки шару вугілля.

Література:

1. Бабиюк Г.В. Определение продолжительности проходческого цикла с учетом потерь рабочего времени / Г.В. Бабиюк, Е.С. Смекалин // Сб.научн.докл. ДГТИ, вып. №15. – Алчевск: ИПЦ «Ладос». – 2002. – С.34-44
2. Бабиюк Г.В. Исследования организационно-технического уровня горнопроходческих работ в изменчивых условиях / Г.В. Бабиюк, Е.С. Смекалин // Науковий вісник НГУ. – 2003. – №11. – С. 31-34.
3. Шашенко А.Н. Методы теории вероятностей в геомеханике / Шашенко А.Н., Сургай Н.Е., Парчевский Л.Я. – К. : Техніка, 1994. – 216 с.
4. Сдвижкова Е.А. Анализ полных затрат на обеспечение устойчивости протяженных горных выработок на основе вероятностно-статистических моделей. / Е.А. Сдвижкова, Т.А. Ерохондина // Економіка: проблеми теорії та практики. – ДНУ, Дніпропетровськ, 2004. - С. 37-42.
5. Салли В.И. Анализ структуры стохастической модели угольной шахты / В.И. Салли, Т.А. Ерохондина. // Науковий вісник НГА України. – 1999. – №4. – С. 18-21
6. Кильдишев Г.Е. Анализ временных рядов и прогнозирование / Г.Е. Кильдишев, А.А. Фремиль. – М. : Статистика, 1973. – 102 с.
7. Кожушок О.Д. Обґрунтування параметрів комбінованої охоронної системи зростаючого опору для підтримання виїмкових штреків: дис. ... кандидата тех. наук. / Кожушок О.Д. – Донецьк, 2005. – 186 с.

*Рекомендовано до публікації
д.е.н., проф. Решетіловою Т.Б. 28.09.11*

*Надійшло до редакції
30.09.11*