

УДК 622.014.3:504.05

Бардась А.В., Бабець Д.В.

ПОБУДОВА ПРОГНОСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ШАХТИ НА ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Обґрунтована доцільність використання методу групового урахування елементів для побудови прогностичних моделей визначення витрат на видобуток вугілля. Запропоновано розглядати шахту як природно-техногенну систему. Визначено основні елементи природного середовища шахти, які впливають на її економічну ефективність.

Practicability of application of the method of group calculation of elements in building the forecasting models to define coal mines' costs is based. Coal mine is considered both as anthropogenic and natural system. The basic elements natural environment, that have an influence on coal mine economic efficiency are determined.

Гірниче виробництво, у тому числі й пов'язане з видобутком вугілля, впливає на навколишнє середовище. В Україні основним енергоносієм, що має стратегічне значення, на сьогодні є вугілля, розробка якого здійснюється переважно підземним способом. Шахти використовують різні види природних ресурсів, перетворюючи їх у процесі виробничої діяльності: воду для зрошувальних і протипожежних систем, а також у процесах збагачення, чисте повітря для вентиляції вибоїв, лісові матеріали для виготовлення кріплень і поверхню землі для розміщення промислових споруджень і відвалів. У той же час будь-яка шахта крім вугілля видає відпрацьоване, насичене газами й мінеральними частками повітря; шахтні води, що містять хімічні, біологічні й механічні домішки; гірські породи; низькопотенційне тепло, які забруднюють і засмічують природне середовище. За обсягами викиду забруднюючих речовин і за ступенем впливу їх на природне середовище гірнича промисловість посідає четверте місце після хімічної й металургійної галузей промисловості й сільського господарства. Забруднення природного середовища при підземному способі видобутку вугілля відбувається: породним і вугільним пилом, отруйними газами, вуглекислим газом, метаном, поліциклічними ароматичними вуглеводнями, сірчистими газами, сірковуглецем, теплом, підземними водами, породами й іншими речовинами. Шахта є виробничою системою, яка одночасно впливає на три оболонки Землі - літосферу, гідросферу й атмосферу, а сам процес її експлуатації супроводжується масштабними й часто незворотними змінами природних екосистем.

Для вирішення практичних задач, пов'язаних з управлінням природно-економічними системами вугільних шахт, доцільним є виявлення закономірностей впливу параметрів природного та навколишнього середовища шахти на результати її економічної діяльності, в першу чергу на рівень виробничих витрат. Дослідження зв'язків між природними параметрами та рівнем собівартості вугільної продукції дозволило б оцінити стійкість економічної системи шахти до зміни елементів оточуючого середовища, а

також міру залежності від кожного із таких елементів; отримання подібних функціональних залежностей, в свою чергу, було би корисним для прогнозування майбутніх станів шахти як природно-економічної системи.

Проте, серйозною перешкодою при дослідженні такої залежності є надзвичайна складність оточуючого середовища шахти, наявність в ньому великої кількості взаємопов'язаних і незалежних факторів, кожен з яких певною мірою впливає на результуючий стан виробничої системи.

Питанням математичного моделювання стану шахт присвячені роботи таких вчених як О.І. Амоші, В.І.Саллі, О.М. Шашенка, О.О. Сдвижкової, О.С. Галушко, І.І. Павленко, В.Я.Швеця, Варави Л.М.

На думку авторів [2], вугільна шахта представляє собою стохастичну систему. Для дослідження характеру залежності між факторами оточуючого середовища шахти - природними умовами, з одного боку, та економічними результатами діяльності шахти, з іншого боку, необхідно обрати методику дослідження стану економічної мінісистеми, яка функціонує у стохастично неоднорідному масиві. Можливості використання такої методики були описані в роботах [2,3,5]. Для використання даної методики необхідно узагальними розрахунки, виконавши попередньо достатню кількість варіантів розрахунків із різними значеннями варіації вихідних даних та різними способами їх генерації датчиком випадкових чисел.

Метою даної статті є дослідження характеру впливу факторів природного середовища шахти на економічні результати її діяльності із застосуванням методу групового урахування аргументів (МГУА)

При розгляді питання про ступінь впливу факторів природного середовища на діяльність вуглевидобувного підприємства особливий інтерес викликає можливість встановлення функціональних залежностей між розглянутими вище факторами та економічними результатами діяльності шахти. Під економічними результатами діяльності шахти пропонується розглядати собівартість. Це пояснюється тим, що виручка від реалізації вугільної продукції значною мірою залежить від кон'юнктури ринку вугільної продукції. Прибуток шахти також не вважається за доцільне приймати в якості показника економічного результату діяльності шахти в силу двох причин. По-перше, значна частина вітчизняних вуглевидобувних підприємств є збитковими, а по-друге, рівень прибутку буде залежати від попиту на продукцію шахти з боку споживачів та від пропозиції аналогічної продукції конкурентами. Причиною обрання результатом діяльності шахти собівартості видобутку вугілля є те, що саме в собівартість, на нашу думку і думку дослідників [], закладено диференційну гірничу ренту. Іншими словами, більший або менший рівень витрат на видобуток однієї тонни вугільної продукції значною мірою визначається тим, наскільки сприятливими або

несприятливими для ведення виробничої діяльності є природні гірничо-геологічні умови.

Завданням дослідження є визначення залежності собівартості вугільної продукції від основних характеристик породного масиву - категорії газоносності вугільної шахти G , глибини відпрацювання запасів корисної копалини D , середньодинамічної потужності вугільних пластів S , дебету води в шахті Q_w , а також показника, що характеризує забезпеченість шахти запасами вугілля - коефіцієнта геологічної надійності K_r . Оскільки виробничі витрати шахти залежать від її продуктивності, а остання визначається пропускною здатністю технологічних ланок шахти, до моделі доцільно включити показник технологічної надійності системи шахти K_t .

Ще одним важливим питанням є вибір шахт, які будуть виступати в якості об'єктів дослідження. Вибір провідних підприємств галузі, так само як і вибір найгірших вугільних шахт може призвести до отримання викривлених результатів, тому найбільш доцільним буде включення до вибірки шахт, які представляють різні вуглевидобувні регіони України та видобувають як коксівне, так і енергетичне вугілля.

Таким чином, структура залежності матиме вигляд

$$U = f(\eta_G, \eta_D, \eta_S, \eta_{Q_w}, \eta_{K_r}, \eta_{K_t}) \quad (1)$$

Для оцінки значимості впливу кожного із компонентів залежності (1) в умовах, коли міра цієї залежності є невідомою, найбільш ефективним є використання методу групового обліку аргументів.

Рішення про вибір структури моделі залежить від вимог до дослідження; зазвичай припускають, що $y(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_m, a_1, a_2, \dots, a_n)$ - це неперервна функція факторів, яку можна апроксимувати поліномами. Дуже імовірно, що деякі із членів, що входять до складу моделі, незначним чином впливають на зміну $y(x)$, оскільки їх значення a , будуть близькими до нуля. Тому відкидання таких членів не повинно призвести до погіршення прогностичних властивостей моделі чи до втрати нею адекватності. Проте сама модель за цих обставин стає більш економічною, оскільки це дозволить покращити її структуру.

Для визначення ступеня поліному починають з оцінювання коефіцієнтів найпростішої моделі (лінійної стосовно факторів). Згодом перевіряють, чи достатньо добре передбачені по моделі функції $y(x)$ узгоджуються із результатами спостережень. Якщо від початку обрана модель виявиться неадекватною, тобто передбачені по ній значення не узгоджуються із результатами спостережень достатньо добре, то структуру моделі можна змінити, зокрема збільшивши ступінь багаточлену, а дані обробити знов для отримання нових оцінок коефіцієнтів a ,-. Ця процедура перевірки адекватності

моделі та її оптимізація продовжується доти, доки не буде отримане задовільне узгодження даних спостережень і значень, отриманих по моделі.

Вся множина вихідних точок спостережень, представлених матрицею X розмірністю $(m \times n)$ і результуючий вектор $Y(n \times 1)$ позначимо вибіркою Ψ . При обчисленні критеріїв може бути використана вся вибірка Ψ або її окрема частина A і B , причому якщо $A+B = \Psi$, то $N(A) + N(B) = N$.

Всі критерії умовно можна поділити на дві групи: ті, що використовують всю вибірку даних та ті, що засновані на розбитті вибірки на частини. При обчисленні більшості критеріїв найчастіше використовується значення залишкової суми квадратів:

$$RSS(s) = \sqrt{\sum_n [y(x) - f(x, \bar{\theta}(s))]^2} \quad (2)$$

де s - складність моделі, тобто число параметрів, що підлягають оцінюванню; n - кількість спостережень.

Критерій RSS може застосовуватися для обрання структури моделі, однак при збільшенні складності моделі s відбувається все більш точне наближення до експериментальних даних, а це є припустимим лише у випадку відсутності помилок вимірювання.

На основі критерію залишкової суми квадратів побудований критерій дисперсійного співвідношення

$$RR(s) = \frac{n}{n-s} \cdot \frac{RSS(s)}{\|y - y'\|^2} \quad (3)$$

Це співвідношення дозволяє застосовувати класичний апарат перевірки гіпотез для обрання статистично достовірних підмножин з s регресорів, а по мінімуму RR - найкращу структуру. Однак, критерій RR неприйнятний для порівняння моделей, він може використовуватися лише для оцінки достовірності окремо взятої регресії.

Інші критерії розглянутої групи основані на обчисленні оцінок параметрів і значень критеріїв на різних частинах вибірки. Це перш за все зовнішній критерій регулярності (середньоквадратична похибка попередження при $N_b=I$):

$$AR(s) = \|y_B - f(X_B, \bar{\theta}_A(s))\|^2, \quad (4)$$

Зовнішній критерій регулярності (4) має мінімум по s , а його математичне очікування дає незміщену оцінку прогнозу на підвибірці B .

Критерій «ковзного контролю» (відомий також як «передбачена сума квадратів» та «опосередкований критерій регулярності»), має вигляд:

$$YKP(s) = \frac{1}{N} \sum [y_i - f_i(x_i, \bar{\theta}_i(s))]^2 \quad (5)$$

де (y_i, x_i^T) - i -та точка спостережень, $\bar{\theta}$ - оцінка параметрів з вибірки W із виключеною i -ю точкою.

Більшість відомих методів розв'язання задачі поділяються на дві групи - підбору і ітераційні. Методи підбору призначені для розв'язання задачі перебирання моделей із кінцевої множини Ω та працездатні при невеликих значеннях m ($m < 30$).

Ітераційні методи, які більш відомі у теорії під назвою «метод групового обліку аргументів», засновані на аналогії з біологічною селекцією організмів. Ускладнення моделей від ряду до ряду селекції відбувається завдяки «схрещуванню» кращих моделей попереднього ряду. Ітераційні методи працездатні й при великих m ($m > 100$), навіть коли $N < m$, вони дозволяють отримувати як лінійні, так і нелінійні моделі. Існують також методи змішаного типу, які використовують одночасно перебірні і ітераційні схеми ускладнення моделей [1].

В ітераційних алгоритмах методу групового обліку аргументів на вхід подається деякий вектор вхідних змінних $X = x_1, x_2, \dots, x_n$. На першому ряду селекції утворюються конкретні описання, які об'єднують вхідні змінні попарно (для лінійних алгоритмів) чи по три елементи (для нелінійних). Тоді для лінійних алгоритмів це виглядатиме наступним чином:

$$y_1 = f_{11}(x_1, x_2), y_2 = f_{12}(x_1, x_2), \dots, y_s = f_{1s}(x_{n-1}, x_n), \quad (6)$$

Із них обирають деяке число F , яке найбільшою мірою задовольняє зовнішньому критерію селекції.

На другому рядку утворюються конкретні описання другого ряду:

$$z_1 = f_{21}(y_1, y_2), z_2 = f_{22}(y_1, y_3), \dots, z_{2p} = f_{2p}(y_{s-1}, y_s). \quad (7)$$

З них відбирається F найкращих для використання в наступному, третьому ряду тощо. Для кожного ряду знаходиться найкраща (за критерієм селекції) модель. Ряди селекції зростають, доки оцінка критерію зменшується. Для спрощення комп'ютерної реалізації алгоритму будемо варіювати число F окремих описань, що найбільш відповідають зовнішньому критерію селекції, та переходять до наступного ряду, в залежності від того, наскільки точно отримане наближення по найліпшому окремому описанню попереднього ряду.

Алгоритм дозволяє за даними спостережень визначити структуру та оцінити коефіцієнти залежності результуючої змінної від набору вихідних змінних в умовах, коли апріорно є невідомим, які саме з набору вхідних змінних беруть участь у формуванні результуючої змінної, а також невідома дисперсія шуму в спостереженнях результуючої змінної.

Залежності можуть бути лінійними за коефіцієнтами або нелінійними за вхідними змінними. Генерація, порівняння і відбір моделей відбуваються за

багатоетапною схемою, в якій номер етапу визначає максимально можливе число членів в моделях.

На першому етапі аналізуються всі можливі, а на другому - двочлени. На наступних етапах алгоритму структура і складність генерованих моделей залежать від структури найкращої моделі попереднього етапу.

Клас моделей, згенерованих за допомогою алгоритму багатоступеневого групового урахування аргументів має в загальному випадку наступний вид:

$$y = \sum_{q=1}^s a_q * \prod_{j=1}^m x_j^{\alpha} , \quad (8)$$

де: y - результуюча змінна; q - номер члена в моделі, $q=1,2,\dots,m$; s - число членів в моделі; a_q - коефіцієнт при q -му члені; x_j - j -а вхідна змінна, $j=1,2, \dots,m$; m - число вхідних змінних; α - показник ступеню, в якому j -а вхідна змінна входить до q -го члену.

Цей клас моделей в окремому випадку лінійної залежності результуючої змінної від вхідних даних матиме вигляд:

$$y = \sum_{q=1}^s a_q * x_q \quad (9)$$

Маючи вектор спостережень результуючої змінної та матрицю спостережень вихідних змінних: y_i , x_{ij} , $i=1,2,\dots,N$, $j=1,2, \dots,m$, і припускаючи існування залежності результуючої змінної від набору вихідних змінних в зазначених класах, можна за алгоритмом методу групового врахування аргументів визначити структуру моделі та оцінити коефіцієнти a_q , $q=1,2,\dots,s$.

Для побудови ітераційного алгоритму методу групового обліку аргументів необхідно зазначити початкову матрицю окремих спостережень Z^0 , визначити оператор R , який здійснює відображення $Z^{r-1} \rightarrow Z^r$, де $r = 1,2,\dots$ - це номер ітерації; зазначити правило завершення ітерацій.

Обчислення завершуються на ітерації y' , якщо виконується умова:

$$Z^r - Z^{r-1} < \delta, \text{ где } \delta - \text{ задане число.}$$

Побудова модифікованого ітераційного алгоритму методу групового обліку аргументів для розв'язання задачі структурної ідентифікації завершено.

В попередніх розділах мова йшла про існування залежності між економічними показниками діяльності вугільної шахти та умовами природного середовища, в якому сама шахта функціонує.

Початкова таблиця з матиме наступний вигляд (табл. 1)

Таблиця 1

Вихідні дані для аналізу залежності собівартості вугільної продукції від природних умов

№	Шахта	K_r	$G, \text{ м}^3/\text{т}$	$D, \text{ м}$	K_r	$S, \text{ м}$	$Q_w, \text{ м}^3/\text{год}$	Собівартість, грн./т
1	Алмазна	0,79	25	810	0,5	1,7	341	91,95
2	Піонер	0,85	15	550	0,5	1,6	260	91,95
3	Білецька	0,76	20	420	0,5	1,9	332	91,95
4	Новодонецька	0,9	15	670	0,5	1,9	750	91,95
5	Добропольська	0,9	25	594	0,5	1,8	590	91,95
6	Білозерська	0,85	25	900	0,5	2,3	547	101,25
7	Ровеньковська 1-2	0,7	1	914	0,6	1,3	380	123,88
8	Ворошиловська	0,85	1	520	0,12	0,87	1100	112,06
9	Дзержинського	0,8	1	1200	0,15	1,1	350	87,71
10	Київська №81	0,91	1	620	0,25	1,0	812	98,57
11	Космонавтів	0,82	1	840	0,2	1,1	600	105,78
12	Вахрушего	0,88	1	1115	0,24	1,6	887	92,8
13	Фрунзе	0,73	1	910	0,3	1,62	637	126,28
14	Горького	0,52	30	882	0,5	0,65	1550	169,85
15	Капітальна	0,55	0	380	0,2	0,77	248	169,8
16	Наклонна	0,6	25	559	0,3	0,83	95	169,8
17	Абакумова	0,78	25	760	0,5	0,9	460	128,48
18	Челюскінців	0,6	25	998	0,5	1,4	450	110,14
19	Бутовська	0,62	30	794	0,5	1,65	363	142,45
20	Чайкіно	0,73	30	976	0,5	1,6	100	312,31
21	Північна	0,4	30	860	0,5	0,9	238	185,1
22	Советська	0,4	30	650	0,4	0,82	650	101,6
23	Постніковська	0,82	5	1025	0,25	1,2	200	116,5
24	Шахтарська	0,55	10	909	0,2	0,9	305	178,2
25	Вінницька	0,5	25	374	0,25	1,1	340	109,7
26	Засядько	0,89	25	1350	0,2	1,67	574	105,3
27	Новогородівська 2	0,65	5	535	0,5	1,6	300	448,1
28	Должанська Капіт	0,83	5	900	0,5	1,18	1100	100,79
29	Свердлова	0,6	1	1100	0,5	0,83	580	241,27
30	Баракова	0,85	30	850	0,45	1,9	76,5	123,04
31	Благодатна	0,5	15	260	0,35	1,02	240	128,26
32	Дніпровська	0,83	15	340	0,5	0,85	187	70,23
33	Героїв Космосу	0,91	25	395	0,5	0,9	41,2	91,43
34	Павлоградська	0,92	15	245	0,24	1	240	68,47
35	Самарська	0,83	15	196	0,5	0,92	448	69,79
36	Степова	0,78	10	390	0,5	0,77	903	70,34
37	Тернівська	0,73	25	258	0,35	1,14	291	121,71
38	Ювілейна	0,78	10	370	0,5	0,94	756	75,64

Використовуючи критерії *RSS* і *AR* з даних таблиці 1 отримаємо наступні прогностичні моделі:

а) на основі критерію *RSS*

$$y = 2,93x_2 + 0,04x_5x_6, \quad \text{Похибка } E=7,88\% \quad (10)$$

б) на основі критерію *AR*

$$V = 137,36x_1x_3 - 0,0116x_5x_6 - 0,8x_2x_4 \quad E=9,26\% \quad (11)$$

Як видно, до лінійної моделі на основі критерію *RSS* не увійшла глибина шахти, оскільки ці значення варіювалися меншою мірою порівняно з іншими характеристиками середовища шахти. На практиці, глибина шахти є одним із найважливіших показників, що визначають рівень витрат на видобуток вугілля, оскільки із збільшенням глибини проведення гірничих робіт, як правило, відбувається ускладнення гірничо-геологічних умов.

При побудові лінійної моделі на основі критерію *RSS* малозначимими факторами виявилися коефіцієнт технічної надійності шахти, глибина проведення гірничих робіт і коефіцієнт геологічної надійності шахти. Визначена залежність визначає, що собівартість видобутку вугілля значною мірою визначається дією газонасиченості, потужності вугільного пласту та притоком води.

Незначна потужність пласта та великий приток води будуть призводити до збільшення витрат на видобуток вугілля так само, як і висока газонасиченість.

При побудові моделі на основі критерію *AR* залежність має наступний характер: зростання витрат на видобуток вугілля зростає по мірі зменшення коефіцієнту технічної надійності шахти і збільшення глибини відпрацювання запасів; зменшення пропускної здатності може бути зумовлено незначною потужністю пласту (менші обсяги видобутку вугілля призведуть до резервування частини пропускних потужностей та до збільшення умовно-постійних витрат), великим притоком води (різке збільшення його дебету може викликати необхідність відмови від відпрацювання частини запасів або викликати додаткові витрати з водовідведення), зростання газонасиченості виробки може виступити обмеженням навантаження на лаву; висока газонасиченість може навіть призвести до неможливості відпрацювати частину запасів у випадках, коли існують значні запаси вугілля в надрах (показник геологічної надійності).

Таким чином, використання багатofакторного аналізу дозволяє виявити прогностичний вплив параметрів середовища шахти на рівень витрат з видобутку

вугілля, визначити характер взаємодії факторів природного середовища та результати їх комбінованого впливу на економічні результати діяльності шахти. На детальну увагу заслуговує дослідження впливу глибини відпрацювання запасів вугілля, оскільки цей показник не був включений до однієї із встановлених функціональних залежностей. Для розуміння цього явища необхідно більш уважно дослідити саме поняття «глибока шахта», яке означає не лише відпрацювання запасів на певній глибині, а також сукупність несприятливих факторів природного середовища, що впливатимуть на ефективність та результативність діяльності вугільної шахти. Таким чином, шахта з несприятливими умовами (тектонічні порушення, великий приток високомінералізованих підземних вод, газонасиченість) вважатиметься «глибшою» порівняно із шахтою, яка відпрацьовує на більшій глибині, але не відчуває впливу вищезазначених чинників природного середовища. Запропонований в роботі метод є корисним інструментом для дослідження закономірностей зв'язків між різними показниками функціонування шахти, що характеризують її технологічний стан, економічні результати і гірничо-геологічні умови, в яких здійснюється видобуток. Подальшого розвитку заслуговують можливості застосування методів групового урахування аргументів на основі спостережень за зміною основних показників шахти протягом певного періоду, що дозволить збільшити достовірність побудови прогностичних моделей.

Література:

1. Амоша О.І. Проблеми реструктуризації промисловості в контексті сталого розвитку//Проблеми сталого розвитку України. – К.: БМТ, 1998. – С. 344-353.
2. Салли В.И., Райхель Б.Л., Швець В.Я. Економічні проблеми підтримки потужності малоефективних вугільних шахт України. – Дніпропетровськ, 2002. –229 с.
3. Варава Л.Н. Оценка эффективности инвестиционных решений в условиях неопределенности// Проблемы повышения эффективности функционирования предприятий различных форм собственности. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 1998. – С. 204-209.
4. Амоша А.И., Буркинский Б.В., Харичков С.К., Андреева Н.Н. и др.. Роль экологических факторов в выработке стратегии развития предприятия/Финансово-экономические проблемы промышленности. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 1999. – С. 35-40.
5. Павленко І.І. Природна база у формуванні економіки вугільних шахт та оцінка її впливу// Схід. – 2006. - №4 (76). – С. 38-41.

Рекомендовано до публікації:

д.е.н., проф. Кабановим А.І., 26.04.2009

Надійшло до редакції:

17.03.2009