ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: GÓRNICTWO z. 139 Nr kol. 826

Edmund LESIK
Lidia PENAR

MODELE EKONOMICZNO-STATYSTYCZNE O ZMIENNEJ STRUKTURZE W BADANIACH DYNAMIKI SYSTEMÓW ORGANIZACYJNYCH PRZEMYSŁU WYDOBYWCZEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę modelowania ekonomiczno-statystycznego z zastosowaniem modeli o zmiennej strukturze. Podano genezę, cel oraz warunki stosowania tej klasy modeli dla potrzeb analizy i prognozowania działalności obiektów gospodarczych przemysłu wydobywczego.

Zaproponowaną metodę zilustrowano przykładem zastosowania modelu ekonomiczno-statystycznego do prognozowania dynamiki wydobycia nowo projektowanych kopalń węgla kamiennego. Artykuł zakończono wnioskami.

1. WPROWADZENIE

Problem opisu dynamiki wskaźników ekonomiczno-produkcyjnych obiektów gospodarczych z jednoczesnym uwzględnieniem zmian w czasie istniejących złożonych zależności pomiędzy cechami charakteryzującymi dany obiekt jest obecnie jednym z najbardziej złożonych problemów modelowania ekonomiczno-statystycznego.

Problem ten do tej pory nie doczekał się zadowalającego rozwiązania. Jedną z interesujących metod dających jak dotychczas najlepsze rozwiązania tego problemu jest metoda modelowania oparta na stosowaniu modeli ekonomiczno-statystycznych (MES) o zmiennej strukturze. Podstawę budowania MES stanowią informacje o obiekcie uzyskane w pewnym okresie czasu poprzez obserwację jego cech oraz uzyskiwanych wskaźników uznanych jako wynikowe. Aby uzyskany w ten sposób obraz obiektu był jak "najwierniejszy", traktuje się obiekty jako "systemy złożone". Potraktowanie systemów organizacyjnych przemysłu wydobywczego jako systemów złożonych wymaga uwzględnienia w badaniach dynamiki następujących ich cech ogólnych:

- stochastycznego charakteru zachowania się systemu; oznacza to niemożliwość jednoznacznego określenia przyszłych wartości wskaźników wynikowych na podstawie informacji o ich wielkościach z przeszłości oraz na podstawie wartości informacji wejściowych. Decyduje o tym niepełność naszej wiedzy o badanym obiekcie, losowe zachowanie się określonych wejściowych czynników, jak np. warunki geologiczno-górnicze i wreszcie nieścisłości danych statystycznych.

- sterowalności, tj. możliwości celowego kierowania pewnymi wartościami wejściowymi wskaźników systemu, tzn. że część wejściowych wskaźników można poddać regulacji w pewnym dopuszczalnym zakresie,
- inercyjności, tj. zależności stanu systemu w danej chwili od stanów przyszłych. Uwarunkowana jest ona niemożnością zmiany w przedziale małego okresu czasu technologicznej struktury procesów ekonomicznych. Przyczynami tego są między innymi opóźnienia w uzyskiwaniu informacji o konieczności przyjęcia nowych rozwiązań sterujących opóźnienia reakcji sterowania na zmianę sytuacji zewnętrznej systemu. Stopień inercyjności systemu jest tym większy, im wyższe jest miejsce danego obiektu w poziomie hierarchicznym obowiązującego systemu ekonomicznego.

Uwzględnienie tych cech skłania do podziału budowanych obrazów obiektów - MES - na dwa podstawowe typy:

- modele ekonomiczno-statystyczne o stałej strukturze,
- modele ekonomiczno-statystyczne o zmiennej strukturze.

Przez strukturę MES rozumie się tu zbiór wejściowych oraz wyjściowych zmiennych, zbiór parametrów modelu oraz zbiór relacji zachodzących pomiędzy elementami tych zbiorów.

2. ISTOTA MODELOWANIA EKONOMICZNO-STATYSTYCZNEGO O ZMIENNEJ STRUKTURZE MODELI

MES o stałej strukturze są zorientowane głównie na badanie własności statystycznych obiektu. Pozwalają one opisać przyszłe stany obiektu za pomocą ekstrapolacji pewnych mierników jego zachowania się w przeszłości. Zakłada się wtedy, że zachowanie się systemu w całym analizowanym okresie czasu można opisać tym samym procesem losowym.

Cechą, która skłania do stosowania tego typu modeli jest inercyjność.

MES o zmiennej strukturze zorientowane są na dostarczenie informacji o możliwych stanach obiektu w zależności od przyjętych różnych rozwiązań organizacyjno-ekonomicznych z uwzględnieniem zmian jakościowych w zachowaniu się obiektu. Cechami, które przemawiają za stosowaniem tego typu modeli są stochastyczność i sterowalność.

Wybór typu modelu zależy więc od stopnia inercyjności, sterowalności i stochastyczności zachowania się danego obiektu. Modele o stałej strukturze stosuje się dla obiektów, w których badany proces ma charakter stacjonarny lub jest zbieżny do stacjonarnego. Jeżeli jednak przyjąć tezę o zmieniającej się efektywności wykorzystania zasobów przemysłowych oraz fakt, że im dłuższy jest okres obserwacji obiektu, tym bardziej chwiejna okazuje się stacjonarność badanego procesu, to modele ekonomiczno-statystyczne ze zmienną strukturą dają "bardziej prawdopodobny" obraz badanego obiektu. W literaturze spotyka się już podejście traktujące MES o zmiennej strukturze jako szeroką klasę modeli zawierającą zbiór modeli o sta-

łej strukturze. Takie podejście uzasadnione jest tym, że na zachowanie się każdego obiektu wywierają wpływ następujące czynniki:

- postęp naukowo-techniczny,
- etap rozwoju badanego obiektu,
- warunki naturalne związane z procesem realizowanym przez obiekt.

Postęp naukowo-techniczny, rozumiany jako doskonalenie środków, przedmiotów i produktów pracy, technologii, organizacji i kierowania jest kluczowym czynnikiem intensywnego rozwoju obiektu, gwarantującym wzrost efektywności bez ponoszenia dużych nakładów na drodze rozwoju ekstensywnego.

Przez etap rozwoju obiektu uważa się jeden z trzech podstawowych okresów w historii działalności obiektu:

- rozruch - okres od chwili oddanie obiektu do eksploatacji aż do momentu uzyskania planowanej mocy produkcyjnej,
- praca stabilna - okres od chwili osiągnięcia pełnej planowanej mocy produkcyjnej do momentu spadku osiąganych wyników produkcyjno-ekonomicznych,
- starzenie się - okres od chwili spadku osiąganych wyników produkcyjno-ekonomicznych do chwili całkowitego przerwania działalności obiektu.

Na każdym etapie rozwoju obiektu inna jest dynamika osiąganych efektów techniczno-ekonomicznych oraz inne są funkcje obrazujące zależność osiąganych wyników od ponoszonych nakładów. Wiadomo, że w pierwszym i w trzecim okresie następują szybkie zmiany wskaźników ekonomicznych przy małej efektywności, a w drugim okresie sytuacja jest odwrotna.

Warunki naturalne wywierają decydujący wpływ na rozwój obiektów przemysłu wydobywczego.

Każdy z wymienionych czynników powoduje zmianę struktury obiektu. Tak więc, każdy model dowolnego obiektu powinien uwzględniać możliwość zmiany struktury obiektu, co oznacza zmienność struktury modelu i ostatecznie obraz badanego obiektu można uzyskać poprzez model ekonomiczno-statystyczny o zmiennej strukturze.

3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA MODELI EKONOMICZNO-STATYSTYCZNYCH O ZMIENNEJ STRUKTURZE

Metodologia postępowania przy budowaniu tej klasy modeli uwarunkowana jest głównie dwoma kryteriami - bazą informacji wejściowych oraz rodzajem obiektów. W związku z tym można wyróżnić następujące typy MES o zmiennej strukturze:

- jednokryterialne modele pojedynczego obiektu,
- wielokryterialne modele pojedynczego obiektu,
- wielokryterialne modele zbudowane na bazie informacji o grupie obiektów.

Dla scharakteryzowania poszczególnych typów modeli przyjęto następujące oznaczenia:

n - liczba badanych obiektów,

y_{it} - wartość l-tego modelowania wskaźnika i-tego obiektu w t-tym okresie czasu,

x_{it} - wartość r-tego czynnika wejściowego i-tego obiektu w t-tym okresie czasu,

gdzie:

$i = 1,\dots,n \quad r = 1,\dots,p \quad l = 1,\dots,k \quad t = 1,\dots,T.$

Jednokryterialne modele pojedynczego obiektu ($n = 1$, $k = 1$, $p = 1$, $t > 1$) stosuje się jako instrument analizy wskaźników ekonomicznych obiektu oraz do prognozowania ich wielkości. Dla budowania tego typu modeli wykorzystuje się takie metody i techniki, jak: analizę trendów metodami uzmienniania średnich, programowanie liniowe, analizę regresji i inne. Stosowalność tego typu modeli jest ograniczona tym, że uzyskane prognozy oparte są na wartościach modelowanego wskaźnika z przeszłości, bez uwzględnienia przyczyn zmian tych wartości. Zakłada się tu, że dynamika kształtowania się wskaźnika zostanie zachowana w przeszłości. Prognozy takie są więc prostą ekstrapolacją danego wskaźnika. Założenie o zachowaniu się dynamiki w przyszłości można przyjąć bez większej szkody dla modelu, gdy ma się do czynienia z tradycyjną masową produkcją. Przy tworzeniu obrazu obiektu rozumianego jako system złożony założenie powyższe jest zbyt wielkim uproszczeniem. Modele te nie pozwalają na prognozowanie zachowania się nowo powstałych obiektów.

Wielokryterialne modele pojedynczego obiektu ($n = 1$, $k \geqslant 1$, $p \geqslant 1$, $t > 1$) budowane są w oparciu o dynamiczne szeregi wskaźników opisujących zachowanie się obiektu. Szeregi te występują jako funkcje wielokryterialnych dynamicznych szeregów czynników opisujących proces gospodarczy realizowany przez obiekt. Funkcje te uwzględniają momenty skokowych zmian wartości wskaźników.

Ogólna postać funkcji jest następująca:

$$y(t) = f(t, y/t-1), \dots, y(t-\tau), x_1(t-1), \dots, x_1(t-\tau_1), \dots, x_n(t), x_n(t-1), \dots, x_n(t-\tau_n)) + \varepsilon_t,$$

gdzie:

τ - momenty skokowych zmian wartości wskaźników,

ε_t - losowe zaburzenie w chwili t.

Wielokryterialne szeregi czynników umożliwiają znalezienie przyczyn skokowych zmian wskaźników, co umożliwia stworzenie pełniejszego obrazu obiektu. Nie można jednak ich zastosować do prognozowania zachowania się innych obiektów, nawet obiektów podobnych.

Wielokryterialne modele zbudowane na bazie informacji o grupie obiektów ($n > 1$, $k > 1$, $p > 1$, $t > 1$) są najczęściej stosowanymi typami modeli w prognozowaniu, analizie i ocenie działalności obiektów gospodarczych. Podstawowa różnica między procesem ekonomicznym a fizycznym z punktu widzenia statystyki wynika z tego, że proces fizyczny poprzez doświadczenia można powtarzać żądaną ilość razy z zachowaniem tych samych warunków eksperymentu. Dysponuje się wtedy danymi dotyczącymi wielokrotnej realizacji tego samego procesu, co pozwala na optymalny wybór struktury modelu danego procesu. W sytuacji, gdy proces ekonomiczny realizowany jest przez jeden obiekt, dysponuje się danymi dotyczącymi tylko jednej realizacji danego procesu bez możliwości jego powtórzenia dla tych samych warunków. Idea stosowania MES o zmiennej strukturze w oparciu o bazę informacji dla grupy obiektów polega na potraktowaniu realizacji procesu przez podobne obiekty w ustalonym przedziale czasu jako różnych wariantów realizacji tego samego procesu przez pojedynczy obiekt.

Wydziela się wtedy z badanych obiektów odpowiednie grupy jednorodne obiektów na tym samym etapie rozwoju. Każdą z grup traktujemy jako możliwy etap rozwoju pojedynczego obiektu. Otrzymane dane dla grupy jednorodnych obiektów uznajemy z kolei za wielokrotne realizacje tego samego procesu.

W praktyce pojedynczy obiekt nigdy nie realizuje danego procesu w pełni. Zatem skupiając się na tym obiekcie można pominąć dużą grupę relacji w całym systemie. Posługując się w badaniach modelem opartym na grupie obiektów błąd powyższy eliminuje się prawie zupełnie. W wyniku takiego rozumowania otrzymuje się dokładny opis możliwych zachowań obiektu oraz różne możliwe jego stany, który pozwala zastosować wspomniany model do celów prognostycznych.

4. OGÓLNE ZASADY BUDOWANIA MODELI EKONOMICZNO-STATYSTYCZNYCH O ZMIENNEJ STRUKTURZE NA BAZIE INFORMACJI O GRUPIE OBIEKTÓW

Budowanie tego typu modeli polega na wydzielaniu klas obiektów jednorodnych pod względem typu dynamiki procesu i zbudowaniu dla każdej klasy tzw. modelu wewnętrzklasowego. Proces tworzenia modelu przebiega etapowo, a mianowicie:

1) Wyznaczenie krzywej rozwoju każdego obiektu (wg przyjętego kryterium, np. wielkości produkcji) oraz podział tej krzywej wg etapów rozwoju obiektu. Otrzymujemy podział badanych obiektów na trzy grupy:

- obiekty będące w stanie "rozruchu",
- obiekty będące w stanie "pracy stabilnej",
- obiekty "starzejące się".

Dalsze rozważania przeprowadza się dla każdej z tych grup oddzielnie.

2) Wyznaczenie krzywej dynamiki modelowanego wskaźnika każdego obiektu. Krzywe te tworzą zbiór możliwych realizacji przebiegu dynamiki danego wskaźnika.

3) Dokonanie metodami taksonomicznymi podziału uzyskanych realizacji na grupy jednorodne pod względem ich wartości.

4) Opis każdej grupy za pomocą informacji wejściowych. Każdą grupę charakteryzuje się średnimi wartościami czynników x oraz odchyleniami od średnich w danej grupie.

5) Na podstawie analizy grupowej dokonuje się wyboru czynników wywierających istotny wpływ na kształtowanie się wskaźnika modelowanego oraz ustala się wagi czynników.

6) Dokonanie podziału zbioru obiektów na grupy jednorodne pod względem wielkości czynników wybranych w poprzednim etapie.

7) Stosując metody analizy regresji dokonuje się wyboru funkcji opisującej tendencje zachowania się wskaźnika w każdej grupie. Stąd końcowy model grupy obiektów, którego postać ogólna jest następująca:

$$y(t) = \begin{cases} f_1\ (t, y/t-1),\ y(t-2), \ldots, y(t-k)), & x \in A_1 \\ \vdots \\ f_m\ (t, y(t-1),\ y(t-2), \ldots, y(t-k)), & x \in A_m \end{cases}$$

Uzyskany model posiada strukturę zmienną, w zależności od przynależności obiektu do grupy A_i oraz czasu t.

5. ZASTOSOWANIE MODELI EKONOMICZNO-STATYSTYCZNYCH O ZMIENNEJ STRUKTURZE NA BAZIE INFORMACJI O GRUPIE OBIEKTÓW DO PROGNOZOWANIA DYNAMIKI WYDOBYCIA NOWO PROJEKTOWANYCH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

Zadanie będące przedmiotem analizy polega na określeniu wielkości uzyskania zdolności produkcyjnej kopalni w pierwszych sześciu latach jej istnienia. Jako wskaźnik modelowany "y" przyjęto procent uzyskania zdolności produkcyjnej w każdym z sześciu lat od momentu oddania kopalni do eksploatacji.

$$y = \frac{w_t}{w_p},$$

gdzie:

w_t - wydobycie faktyczne w roku t,

w_p - planowana wielkość wydobycia docelowego badanej kopalni.

Czynniki "x" opisujące obiekty zagregowano w trzech grupach:

- opisujące warunki geologiczno-górnicze,
- opisujące stan techniczno-technologiczny,
- opisujące stan organizacyjno-ekonomiczny.

W sumie dokonano wyboru 32 czynników opisujących badaną kopalnię węgla, a także zebrano ich wartości z 54 kopalń z pierwszych 6 lat istnienia każdej z nich. Wartości te określono w oparciu o publikację IIASA [1].

Ponieważ rozpatrywany przykład dotyczy kopalń o których wiadomo, że są na etapie "rozruchu", przechodzi się do drugiego etapu budowy MES, aby utworzyć zbiór wszystkich realizacji wskaźnika "y". Ogólną charakterystykę tego zbioru zawiera tablica 1.

Tablica 1

Liczba lat od chwili oddania kopalni do eksploatacji	Średni poziom uzyskanie zdolności produkcyjnej (%)	Minimalny i maksymalny poziom uzyskania zdolności produkcyjnej (%)
1	45,6	8 - 120
2	69,1	23 - 135
3	78,5	22 - 140
4	87,3	22 - 165
5	89,8	22 - 180
6	96,0	22 - 185

W następnym etapie dokonano podziału kopalń na klasy jednorodne pod względem kształtowania się wielkości wskaźnika "y" w poszczególnych latach.

Uzyskano podział na 4 klasy, których charakterystykę podano w tablicy 2.

Tablica 2

Nr klasy	Liczba obiektów w klasie	Współrzędne środków klasy (wg lat)					
		1	2	3	4	5	6
1	18	31,9	48,3	50,6	50,0	53,1	59,1
2	13	46,0	65,2	75,5	79,1	82,9	86,2
3	10	31,8	67,3	76,5	83,2	99,3	105,3
4	13	59,1	91,1	105,2	112,3	117,9	122,4

W etapie następnym opisano każdą klasę dwoma 32-wymiarowymi wektorami, wektorem średnich wartości cech oraz wektorem średnich odchyleń w klasie.

Następnie dokonano wyboru cech najbardziej istotnych, tzn. wywierających największy wpływ na kształtowanie się wskaźnika y oraz wyznaczono

wagi tych cech. W rezultacie otrzymano 8 następujących cech z odpowiednimi wagami:

x_1 - grubość pokładów; $w_1 = 0,150$
x_2 - kąt nachylenia pokładów; $w_2 = 0,122$
x_3 - średniomiesięczna wydajność; $w_3 = 0,114$
x_4 - kategoria zagrożenia gazowego; $w_4 = 0,180$
x_5 - maksymalna głębokość wydobycia; $w_5 = 0,154$
x_6 - długość wyrobisk; $w_6 = 0,040$
x_7 - średniomiesięczna liczba czynnych przodków; $x_7 = 0,070$
x_8 - planowane roczne wydobycie; $w_8 = 0,170$.

Następnie dokonano podziału 54 kopalń na grupy jednorodne według uzyskanych 8 cech, uzyskując w efekcie cztery jednorodne grupy. Metodami regresji zbudowano funkcję opisującą kształtowanie się wskaźnika y w każdej grupie taksonomicznej i tak np. poziom kształtowania się tego wskaźnika w grupie najliczniejszej był następujący:

48,0% - w pierwszym roku,
71,3% - w drugim roku,
83,0% - w trzecim roku,
85,0% - w czwartym roku,
87,1% - w piątym roku,
93,2% - w szóstym roku.

Znając wartości 8 cech nowo projektowanej kopalni można określić jej przynależność do odpowiedniej grupy taksonomicznej, zaś w oparciu o charakterystykę grupy można określić najbardziej prawdopodobny przebieg uzyskiwania przez daną kopalnię pełnej mocy produkcyjnej.

6. UWAGI KOŃCOWE

Przedstawiona metoda budowania modeli ekonomiczno-statystycznych jest metodą uniwersalną. Wykorzystując dobrze poznany aparat statystyczno-matematyczny (analiza regresji i autoregresji, metody taksonomiczne itp.), metoda ta znalazła zastosowanie między innymi w analizie i prognozowaniu, w wybranych działach gospodarki, funduszu płac, zatrudnienia itp. Posiada ona duże możliwości zastosowania w przemyśle węglowym. Zbiorowość kopalń ze względu na jednorodny produkt oraz losowość przebiegu procesu wydobycia, wynikająca ze zmian warunków geologiczno-górniczych, jest bardzo dogodna dla tego typu analizy statystycznej. Uzyskane tą drogą analizy wykazały, że podwyższenie efektywności całej branży węglowej niekoniecznie musi być realizowane drogą budowy nowych kopalń. Znaczny wpływ na tę efektywność wywiera czas "rozruchu" kopalń oraz długość "pracy stabilnej".

Metoda ta daje możliwość dokładnego prognozowania tych stanów - etapów rozwoju - obiektu, a co za tym idzie, pozwala na podjęcie takich decyzji

ekonomiczno-organizacyjnych, które decydują o intensywnym rozwoju resortu górnictwa.

Modele ekonomiczno-statystyczne wskazują także uwarunkowania pozwalające na szybsze przejście obiektu ze stanu "rozruchu" do stanu "pracy stabilnej". Może to przyczynić się do poprawy stopnia wykorzystania zasobów geologicznych, zasobów siły roboczej oraz prowadzenia bardziej efektywnej polityki inwestycyjnej w resorcie górnictwa.

LITERATURA

[1] Bendkowski J., Stachowicz J.: Division of Hard Coal Mines in to Homogeneous Groups by Means of Taxonomy Methods. Collaborative Paper CP-82-80, IIASA, 1982.

[2] Kozdrój M.: Organizacja produkcji górniczej. Wyd. "Śląsk", Katowice 1968.

[3] Potocki C.A.: Diagnoza procesów produkcji górniczej. Politechnika Śląska, Skrypt Uczelniany nr 815, Gliwice 1979.

[4] Matiematiko-staticzieskije mietody w ekonomiczieskom analizie i planirowanii. Praca zbiorowa pod redakcją B. Rozina, "Nauka", Nowosybirsk 1983.

ЭКОНОМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ДИНАМИКИ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГОРНОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Р е з ю м е

В статье представлен метод экономико-статистического моделирования с применением модели с переменной структурой. Представлены генезис, цель а также условия применения этого моделей для потребностей анализа и прогнозирования деятельности хозяйственных объектов горнодобывающей промышленности. Предложенный метод иллюстрирован примером применения экономико-статистической модели к прогнозированию динамики добычи в новопректируемых шактах каменного угля. Приведены выводы.

ECONOMIC-STATISTICS MODELS OF VARIED STRUCTURE IN THE STUDIES OF THE DYNAMICS OF THE MINING INDUSTRY ORGANIZATIONAL SYSTEMS

In the paper is presented a method of economic-statistics modelling using models of varied structure. The origin, purpose and conditions for the use of this class of models for the needs of analysis and prognostication of activities of the mining industry economic establishment are given. The proposed method is illustrated with examples of using the economic-statistics method for prognosticating the mining dynamics of newly-designed coal mines. Finally, suitable conclusions are derived.