

Tadeusz BEYM

Instytut Elektroenergetyki
Politechniki Częstochowskiej

MODEL PREDYKCJI KRAJOWEGO BILANSU W ZAKRESIE POZYSKANIA I PRZEMIAN ENERGII

Streszczenie. W pracy przedstawiono prognostyczny model bilansu pozyskania i przemian energii dla krajowego systemu energetycznego. Zastosowano dynamiczny model Leontiefa, w którym do wyznaczenia współczynników użyto procedury identyfikacji w warunkach stacjonarnych. Jako procedurę wspomagającą modelu zaproponowano metodę przekształcania złożonych procesów wielocelowych w równoważny układ procesów prostych. Opracowano wariantowy algorytm prognozy, który zastosowano do weryfikacji modelu. Weryfikację przeprowadzono dla danych statystycznych wybranego kraju.

1. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Rozpatrywany będzie układ wyodrębniony z systemu energetycznego, składający się z trzech podstawowych ogniw: energia pierwotna, przetwarzanie energii oraz energia końcowa.

Formalny zapis modelu układu pozyskania i przemian energii (UPIPE) przedstawia układ równań (1.1) i (1.2), z których jedno ujmuje zależności między wejściami i wyjściami modelu - równanie wyjść, natomiast drugie opisuje stan modelu w zależności od jego poprzednich stanów (historii modelu) i wejść modelu - równanie stanu.

$$y(t) = g [s(t), x(t)] , \quad (1.1)$$

$$s(t+1) = f [s(t), x(t)] , \quad (1.2)$$

gdzie $x(t)$, $y(t)$ i $s(t)$ są odpowiednio wektorami wejść, wyjść oraz zmiennych stanu systemu.

Podstawowym problemem rozwiązania zagadnienia prognozy jest budowa predyktora $\hat{P}_{\tau/t}$:

$$\hat{y}(\tau/t) = \hat{P}_{\tau/t}[x(t)] , \quad (1.3)$$

który dla danych obserwacji $x(t)$ pozwoli obliczyć prognozę $\hat{y}(\tau/t)$, spełniającą wymagania jakościowe co do błędów:

$$\Delta y(\tau/t) = \hat{y}(\tau/t) - y(\tau), \quad (1.4)$$

$$P[\Delta y(\tau/t) > \varepsilon] < \alpha \quad (1.5)$$

dla $\varepsilon > 0$ i $0 < \alpha < 1$

i obciążenia:

$$B = E \Delta y(\tau/t). \quad (1.6)$$

Innym wymaganiem stawianym predyktorom jest realizowanie minimum wskaźnika jakości, wynikającego z celu prognozy, który przyjmuje postać:

$$L = E \Delta y^2(\tau/t), \quad (1.7)$$

czyli minimalizacji błędu średniokwadratowego.

Dla szerokiej klasy stosowanych modeli jako predyktor otrzymywana jest warunkowa wartość oczekiwana wielkości prognozowanej pod warunkiem obserwacji:

$$\hat{y}(\tau/t) = \mathcal{P}_{\tau,t}[x(t)] = E[y(\tau)/x(t)]. \quad (1.8)$$

Wśród najczęściej stosowanych metod predykcji w warunkach probabilistycznych można wymienić: metody ekstrapolacji trendu, metody regresyjne wraz z metodami doboru najlepszego zestawu zmiennych objaśniających, autoregresyjne czy autoregresji średniej ruchomej ARMA. Cechą powyższych metod jest zdecydowane uproszczenie przez sprowadzenie zagadnienia wyboru predyktora do najlepszego w arbitralnie ustalonej klasie funkcji, określonej skończoną ilością parametrów lub na założeniu znajomości wszystkich parametrów modelu. Spowodowana tym strata jakości modelu może być w wielu sytuacjach całkowicie niedopuszczalna.

Celem badań jest opracowanie metody budowy modelu, przeznaczonego do predykcji bilansu w zakresie pozyskania i przemian energii. Opracowany model ma mieć takie własności, które dla zadanych scenariuszy wielkości wejściowych oraz ograniczeń wynikających z powiązań z systemami nadrzędnymi pozwolą wyznaczyć:

- wektor wielkości wyjściowych dla każdego momentu czasu rozpatrywanego okresu, spełniający nałożone ograniczenia, traktowany jako hipotetyczne konsekwencje założeń określających kierunki rozwoju systemu,
- realizację przyszłych stanów modelu wynikającą z dotychczasowych informacji o obiekcie i zadanych wielkości wejściowych.

W pracy podjęto próbę budowy modelu na podstawie danych statystycznych dla populacji krajów o zbliżonym poziomie rozwoju gospodarczego. Przedsta-

wiono metodę budowy modelu oraz zastosowanie modelu w dynamicznym operatorze dla k-letniego horyzontu predykcji. Sformułowano model matematyczny oraz opracowano charakterystyki procesów składowych z zastosowaniem nieparametrycznej procedury identyfikacji.

Operator predykcji zastosowano dla układu energetycznego wybranego kraju. Porównanie wyników modelu z rzeczywistymi realizacjami było podstawą do weryfikacji modelu.

Pracą ma wykazać, że na podstawie informacji o przeszłych stanach układu, przy zastosowaniu algorytmu identyfikacji w warunkach probabilistycznych oraz teorii przepływów międzygałęziowych można opracować:

- model matematyczny układu uwzględniający zmiany ilościowe i jakościowe zachodzące w procesach pozyskania i przetwarzania energii,
- iteracyjny algorytm predykcji do prognoz średnioterminowych, zapewniający rozwiązanie przy minimum błędu średniokwadratowego,
- implementację komputerową modelu przeznaczoną do symulacyjnych badań przyszłych stanów modelu oraz do prognozowania.

2. MODEL KRAJOWEGO UKŁADU ENERGETYCZNEGO W ZAKRESIE POZYSKANIA I PRZEMIAN ENERGII

Rozpatrywany układ energetyczny kraju w zakresie pozyskania i przemian energii (UPIPE) opisany jest powiązaniem międzygałęziowymi - schematem Lontiefa (P, L_p, Q) . Przyjęto założenie, że w danym momencie czasu UPIPE został podzielony na n gałęzi, dla których:

- P_i - oznacza wielkość produktu globalnego i -tej gałęzi (wyrażoną w jednostkach naturalnych),
- Q_i - produkt końcowy i -tej gałęzi,
- P_{ij} - część produkcji i -tej gałęzi zużywana w j -tej gałęzi (element macierzy L_p).

Równanie (2.1) przedstawia bilans UPIPE dla ustalonej chwili czasu t przy założeniu, że znana jest macierz A_t współczynników technicznych:

$$[I - A_t] \times [P_t] = [Q_t]. \quad (2.)$$

W pracy przyjęto koncepcję wyznaczenia zmienności macierzy A w zależności od wektora produkcji P , w postaci charakterystyk procesów.

$$a_{ij}(t+1) = f(P, a_{ij}(t)). \quad (3.)$$

Rozwiązanie bilansu otrzymuje się przy następujących założeniach:

- znany jest stan układu w momencie poprzedzającym analizowany okres, określone są: macierz A_0 oraz wektory P_0 i Q_0 ,

- określone są charakterystyki procesów pozyskania i przemian energii,
- obliczenia wykonywane są w cyklu rocznym,
- znane są kierunki rozwoju w analizowanym okresie, pozwalające określić wektory P lub Q dla każdego roku,
- wektor zapotrzebowania bezpośredniego na energię określony jest z uwzględnieniem salda importu i eksportu, strat w transporcie i dystrybucji oraz zmian zapasów,
- znane są ograniczenia dotyczące wielkości produkcji oraz zużycia bezpośredniego.

Do wyznaczenia charakterystyk zastosowano algorytm identyfikacji w warunkach probabilistycznych [6].

2.1. Zastosowanie algorytmu identyfikacji

W celu przedstawienia zagadnienia wyznaczania modelu jako problemu decyzyjnego zakłada się, że badany obiekt opisany jest wielokrotnymi obserwacjami wejścia i wyjścia, czego wynikiem jest realizacja tzw. ciągu uczącego, tzn. ciągu niezależnych par zmiennych losowych o jednakowych rozkładach:

$$(X_1, Y_1); \dots; (X_n, Y_n).$$

Przypadkowe czynniki oddziałujące na badany obiekt powodują, że nawet przy ustalonym wejściu wyjście zmienia się losowo. Rozkładem zmiennej losowej x_i jest $g(x)$, natomiast rozkładem warunkowym zmiennej losowej y_i , gdy $x_i = x$, jest $f(y|x) = f_x$.

Niech dana będzie teraz zrandomizowana reguła decyzyjna, która każdej realizacji ciągu uczącego oraz elementowi $x \in \mathcal{X}$ przyporządkuje zmienną losową o wartościach w przestrzeni decyzji \mathcal{D} z prawdopodobieństwem:

$$P\{\mathcal{Y}_n(x_1, y_1, \dots, x_n, y_n, x) = d\}. \quad (2.7)$$

W tak postawionym zagadnieniu, nazywanym również empirycznym zagadnieniem decyzyjnym Bayesa [6], rozkład a priori istnieje, lecz jest nieznan i przed podjęciem decyzji estymuje się go. Podejmowanie decyzji poprzedzane jest uczeniem - czyli obserwacją ciągu uczącego. Po zakończeniu cyklu uczenia następuje proces podejmowania decyzji.

Do wyznaczenia charakterystyk procesów zastosowano nieparametryczne metody estymacji w warunkach stacjonarnych. Badany obiekt może mieć p - wymiarowe wejście oraz skalarne wyjście. \mathcal{X} oraz \mathcal{Y} są odpowiednio przestrzeniami wejść i wyjść, tzn. $\mathcal{X} \in \mathbb{R}^p$, $\mathcal{Y} = y \in \mathbb{R}$. Jeżeli obiektami nazwać badane procesy, to ich modelami będą poszukiwane zależności między wielkościami wejściowymi i wyjściowymi. W badanym obiekcie założono całkowity brak informacji o funkcji gęstości wejścia $g(x)$, warunkowej gęstości wyjścia $f(y/x)$ oraz o łącznej gęstości wejścia i wyjścia $f(x, y)$.

Jeżeli funkcję strat przyjąć jako:

$$S(d, y) = (d - y)^2, \quad (2.8)$$

przy czym d jest wyjściem modelu, funkcja $\varphi(x)$ spełniająca wyrażenie:

$$E\{[y - \varphi(x)]^2\} = \iint [y - \varphi(x)]^2 f(x, y) dx dy = \min \quad (2.9)$$

jest warunkową wartością oczekiwaną zmiennej losowej y przy warunku x :

$$\varphi(x) = \int y f(y|x) dy = E(y|x). \quad (2.10)$$

Przy kwadratowym wskaźniku jakości identyfikacji najlepszy model ma charakterystykę:

$$\Psi(x) = \int y f(y|x) dy. \quad (2.11)$$

Apsymptotycznie optymalną procedurę identyfikacji otrzymuje się stosując nieparametryczne algorytmy estymacji funkcji gęstości. Ponieważ:

$$f(x, y) = f(y|x) g(x) \quad (2.12)$$

charakterystykę modelu estymuje się wzorem:

$$\Psi_n(x) = \frac{1}{g_n(x)} \int y f_n(x, y) dy \quad (2.13)$$

gdzie:

$f_n(x, y)$ - estymator łącznej funkcji gęstości $f(x, y)$,

$g_n(x)$ - estymator funkcji gęstości $g(x)$.

Za Greblickim [6] zastosowano do estymacji funkcji f_n i g_n estymator Parzena o następującej postaci:

$$f_n(x, y) = \frac{1}{n h^{p+1}(n)} \sum_{i=1}^{i=n} K_x \left[\frac{x-x_i}{h(n)} \right] K_y \left[\frac{y-y_i}{h(n)} \right] \quad (2.14)$$

$$g_n(x) = \frac{1}{n h^p(n)} \sum_{i=1}^{i=n} K \left[\frac{x-x_i}{h(n)} \right]. \quad (2.15)$$

Aby zapewnić zgodność estymatorów, należy funkcję K i ciąg h wybrać tak, aby spełnione były odpowiednie założenia:

$$h(n) > 0, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} h^p(n) = 0, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} n h^p(n) = \infty.$$

oraz

$$\sup_x |K(x)| < \infty, \quad \int K(x) dx = 1. \quad (2.16)$$

$$\int |K(x)| dx < \infty, \quad \lim_{\|x\| \rightarrow \infty} \|x\|^p |K(x)| = 0.$$

Greblicki [6] i Rutkowski [7] podają wiele przykładów możliwych postaci jądra K (np. trójkątne, Weierstrassa, Picarda, Cauchy'ego, paraboliczne). Wybór jądra nie ma jednak istotnego znaczenia dla jakości modelu. W badaniach autor stosował różne typy jądra, a w ostatecznej wersji zastosował jądro Picarda.

$$K(x) = 2^{-p} e^{-\|x\|} \quad \text{przy czym} \quad \|x\| = \sum_{j=1}^p |x_j|. \quad (2.17)$$

Ciąg h przyjęto w postaci zalecanej w literaturze:

$$h(n) = C n^{-\alpha}, \quad C > 0; \quad 0 < \alpha < 1/p \quad (2.18)$$

gdzie:

n - długość ciągu uczącego,

p - wymiar wejścia obiektu.

Po uwzględnieniu założeń (2.16) otrzymuje się postać charakterystyki modelu:

$$\Psi_n(x) = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} y_i K \left[\frac{x-x_i}{h(n)} \right]}{\sum_{i=1}^{i=n} K \left[\frac{x-x_i}{h(n)} \right]}. \quad (2.19)$$

2.2. Współczynniki techniczne modelu

Przy opracowywaniu modelu przyjęto założenie, że między nakładami a produktem globalnym w danej gałęzi istnieje zależność liniowa:

$$a_{ij} = \frac{q_{ik}}{f_{jk}}. \quad (2.20)$$

W tym przypadku współczynniki techniczne lub inaczej - współczynniki nakładów bezpośrednich a_{ij} określają wielkość produkcji gałęzi i-tej potrzebnej do wytworzenia jednostki produktu gałęzi j-tej.

Schemat przepływów międzygałęziowych dla UPIPE jest syntezą struktury nakładów na produkcję oraz struktury podziału produkcji poszczególnych rodzajów energii (tablice 1 i 2 [4]).

2.3. Metoda przekształcania złożonych procesów wielocelowych w równoważny układ procesów jednocełowych

Zwykle na podstawie statystyki można zidentyfikować układ, składający się z procesów złożonych i wielocelowych. Założenie stałej struktury produkcji procesów wielocelowych powoduje nieelastyczność modelu oraz niezgodności z opisywanym obiektem. Uwzględnienie zmian struktury zużycia i produkcji nośników energii można zrealizować przez przekształcenie procesów złożonych na równoważne procesy jednocełowe.

W celu przedstawienia metody rozpatrywany będzie jakiś bliżej nie określony proces, złożony z K procesów składowych, różniących się technologią produkcji bądź pozyskania w nośników energii. Każdy k-ty proces charakteryzuje się odmienną strukturą produkcji i energochłonnością oraz współczynnikiem technicznym opisanym zależnością:

$$a_k = \frac{q_k}{P_k} \quad (2.21)$$

gdzie:

q_k - wielkość wsadu procesu (jednego nośnika wsadowego),

P_k - suma produkcji nośników wtórnych.

Rzeczywiste procesy mają kilka nośników wsadowych, ale dalsze wywody dla jednego nośnika obowiązują dla wszystkich składowych wektora wsadowego.

Struktura produkcji procesu dana jest wektorem $[b_{mk}]$ takim, że:

$$\sum_{m=1}^M b_{mk} = a_k^{-1}; \quad b_{mk} = \frac{P_{mk}}{q_k}; \quad \sum_{m=1}^M P_{mk} = P_k \quad (2.22)$$

Tworząc z k wektorów struktury macierz $B(m \times k)$, otrzymuje się macierz struktury produkcji w k procesach składowych:

$$\begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1K} \\ B_{21} & B_{22} & \dots & B_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{M1} & B_{M2} & \dots & B_{MK} \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Przyjmując dalej, że na pewnym etapie wyznaczania bilansu pozyskania i przemian dany jest wektor $[P]$ produkcji nośników energii, wyodrębnia się z niego część $[P_m]$ nośników będących produktem końcowym omawianego procesu złożonego; nieznane są udziały poszczególnych procesów składowych. Strategia zmian poszczególnych składowych wektora $[P]$, wykonywanych w iteracyjnej procedurze rozwiązywania bilansu, nie uwzględnia struktury produkcji.

Rozwiązanie zagadnienia:

$$\min \sum_{m=1}^M P_m^* \quad (2.24)$$

$$[B] \times [Q_k] \geq [P_m] \quad (2.25)$$

$$Q_k < \bar{Q}_k \quad \text{lub} \quad P_k < \bar{P}_k \quad (2.26)$$

gdzie:

P^* - równe jest lewej stronie w nierównościach (2.25),
wyznacza wektor wsadu $[Q_k]$ nośnika z uwzględnieniem struktury produkcji takiej, że produkcja nośników spełnia zależność (2.25). Rozwiązanie zagadnienia (2.24, 2.25) wyznacza ponadto skorygowany wektor $[P^*]$, którego struktura jest zgodna ze strukturą procesu złożonego. Należy jednak wykazać, że rozwiązanie dla macierzy struktury produkcji właściwych pozostałym nośnikom wsadowym procesu złożonego wyznacza jednakowy wektor $[P^*]$.

Z zależności (2.21) i (2.22) widać, że dla innego nośnika wsadowego a_k oraz b_{mk} otrzymuje się:

$$a_k' = a_k c_k^{-1}; \quad b_{mk}' = b_{mk} c_k \quad (2.27)$$

gdzie: $c_k = \frac{q_k}{\bar{q}_k}$.

Tak więc wprowadzając w wyrażeniach (2.24, 2.25) nowe zmienne:

$$Q_k' = Q_k c_k \quad (2.28)$$

otrzymuje się układ równoważny, co kończy dowód.

Skorygowany wektor produkcji oznaczany będzie dalej $[P_m]$. Na podstawie rozwiązania (2.24, 2.25) i zależności (2.21) wyznacza się składowe wektora produkcji $[P_k]$ (produkcje k-tych procesów składowych). Podziału wsadu k-tych

procesów można dokonać na podstawie struktury produkcji (np. proporcjonalnie do produkcji nośnika w procesie):

$$q_{mk} = \frac{q_k b_{mk}}{\sum_{m=1}^M b_{mk}} \quad (2.29)$$

Wówczas wsad nośnika na produkcję m -tego nośnika w procesie złożonym określony jest zależnością:

$$q_m = \sum_{k=1}^K q_{mk} \quad (2.30)$$

Współczynnik techniczny produkcji m -tego nośnika określony jest:

$$a_m = \frac{q_m}{P_m} = \frac{\sum_{k=1}^K q_k \frac{b_{mk}}{\sum_{m=1}^M b_{mk}}}{P_m} \quad (2.31)$$

Jeżeli oznaczyć przez "a" współczynnik procesu złożonego, po prostych przekształceniach otrzymuje się:

$$a_m = \frac{\sum_{k=1}^K a_k b_{mk} \frac{q_k}{q}}{\frac{P_m}{P}} a \quad (2.32)$$

O procesach składowych zakłada się, że mają jednakowe wektory nośników wsadowych i końcowych.

Przekształcenie prowadzi do wyznaczenia m procesów prostych jednocelowych, równoważnych danemu procesowi złożonemu wielocelowemu, w sytuacji, gdy składowe procesy opisane są dodatkowo strukturą produkcji (2.22). Współczynniki procesów określa wówczas wyrażenie (2.32).

Grupę procesów wielocelowych, które mają ten sam produkt główny, lecz inne produkty uboczne (sprzężone), przekształca się w procesy jednocelowe o współczynnikach określonych zależnością (2.31).

W sytuacji gdy procesy składowe mają ograniczenia wielkości wsadu lub produkcji, w zagadnieniu (2.24, 2.25) wprowadza się odpowiednie warunki ograniczające (2.26).

Kładąc w wyrażeniu (2.32) $a_k = a$ i $b_{mk} = b_m$ (założenie jednakowej struktury procesów składowych), otrzymuje się:

$$a_m = \frac{b_m a q}{p_m} = a_j \quad (2.33)$$

jednakowe współczynniki dla każdego m.

Metoda zostanie przedstawiona na przykładzie procesu przetwarzania ropy naftowej, w którym wyróżniono trzy procesy składowe.

Poszczególne składowe charakteryzują się innym stopniem destrukcji surowca wsadowego nazwanym umownie: przerób płytki - składowa 1, średni - składowa 2 oraz głęboki - składowa 3. Dane liczbowe charakterystyk technicznych procesów wzięto z pracy Solińskiego [8]. Po przeliczeniu wielkości wsadu i produkcji odpowiednich nośników na TJ dane te zestawiono niżej. W przykładowym procesie uwzględniono dwa nośniki wsadowe: ropa naftowa i energia elektryczna oraz cztery nośniki pochodne: benzyna, olej napędowy, olej opałowy i gaz płynny.

nośniki	procesy składowe			
	jedn.	1	2	3
produkowane				
benzyna	10^3 TJ	47.30	68.11	75.68
olej napęd.	10^3 TJ	68.32	96.49	128.95
olej op.	10^3 TJ	120.56	62.29	10.05
gaz pł.	10^3 TJ	9.79	12.24	14.69
wsadowe				
energia el.	TJ	309.6	561.6	892.4
ropa	10^3 TJ	241.1	241.1	241.1

Z zależności (2.21) i (2.22) wyznaczono macierze struktury produkcji w procesach składowych ($K=3$, $M=4$):

$$\begin{bmatrix} 152.78 & 121.29 & 84.80 \\ 220.65 & 171.82 & 144.49 \\ 389.39 & 110.91 & 11.26 \\ 31.63 & 21.80 & 16.46 \end{bmatrix} = B_e$$

$$\begin{bmatrix} 0.1962 & 0.2825 & 0.3139 \\ 0.2833 & 0.4002 & 0.5348 \\ 0.5000 & 0.2583 & 0.0417 \\ 0.0463 & 0.0508 & 0.0609 \end{bmatrix} = B_r$$

gdzie: B_e i B_r macierze struktury dla nośników wsadowych odpowiednio energia elektryczna i ropa naftowa.

Dla kolejnych stanów procesu wektory produkcji nośników pochodnych P i P' określono:

$$P = \begin{bmatrix} 1500 \\ 2600 \\ 280 \\ 290 \end{bmatrix}; \quad P' = \begin{bmatrix} 1500 \\ 2600 \\ 520 \\ 290 \end{bmatrix}.$$

Składowe wektora produkcji określono:

- P_1 - produkcja benzyny,
- P_2 - produkcja oleju napędowego,
- P_3 - produkcja oleju opałowego,
- P_4 - produkcja gazu płynnego.

Zależność (2.25) przyjmuje postać:

$$\text{dla energii elektrycznej} \quad B_e \times Q_k \geq P_m$$

$$\text{dla ropy naftowej} \quad B_r \times Q_k \geq P_m.$$

Rozwiązanie (2.24) i (2.25) dla wektora produkcji $P_m = P$ wyznacza skorygowany wektor produkcji P^* oraz odpowiednie wektory wsadu nośników w procesach składowych Q_e i Q_r :

$$P^* = \begin{bmatrix} 1530 \\ 2600 \\ 280 \\ 297 \end{bmatrix}, \quad Q_e = \begin{bmatrix} 0,21 \\ 0,0 \\ 17,68 \end{bmatrix}, \quad Q_r = \begin{bmatrix} 162 \\ 0 \\ 4776 \end{bmatrix}.$$

Natomiast rozwiązanie (2.24) i (2.25) dla wektora produkcji $P_m = P'$ wyznacza skorygowany wektor produkcji P'^* oraz odpowiednie wektory wsadu nośników w procesach składowych Q_e' i Q_r' :

$$P'^* = \begin{bmatrix} 1546 \\ 2600 \\ 520 \\ 302 \end{bmatrix}, \quad Q_e' = \begin{bmatrix} 0,85 \\ 0,0 \\ 16,69 \end{bmatrix}, \quad Q_r' = \begin{bmatrix} 664 \\ 0 \\ 4510 \end{bmatrix}.$$

Oznaczając we wzorze (2.32) przez W_{ps} wyrażenie przekształcające współczynniki procesu złożonego na współczynniki procesów prostych;

$$a_m = \frac{\sum_{k=1}^K a_k b_{mk} \frac{q_k}{q}}{P_m} \quad a = W_{ps} a$$

wyniki przekształcenia przedstawiono niżej:

	W_{pse}	W_{pse}	W'_{pse}	W'_{psr}
b	1.009	1.001	1.039	1.004
on	1.012	1.001	1.048	1.005
oo	0.824	0.982	0.626	0.963
g	1.009	1.000	1.035	1.003

Efektom przekształcenia jest zastąpienie złożonego procesu rafineryjnego równoważnym układem czterech procesów prostych jednocelowych, których współczynniki techniczne wyznaczone są z uwzględnieniem struktury wektora P i charakterystyk procesów składowych. Np. dla procesu "produkcja benzyny":

$$a_{b,e} = a_e W_{pse}, \quad a_{b,e}^* = a_e^* W_{pse}, \quad a_{b,r} = a_r W_{psr}, \quad a_{b,r}^* = a_r^* W_{psr}.$$

Porównanie rozwiązań dla wektorów produkcji P i P' pokazuje zależność struktury wektora wsadowego oraz współczynników technicznych procesów od struktury produkcji.

2.4. Charakterystyki procesów pozyskania i przemian energii

Na podstawie danych statystycznych [1,2] utworzono ciągi obserwacji współczynników technicznych a_{ij} , wyznaczone wg odpowiednich zależności z dodatku 2 [4]. Podstawowy ciąg obserwacji a_{ij} oraz odpowiadających im P_j przekształcono w ciągi indeksów wzrostu:

$$X_1 = \left[\frac{P_1(t+k)}{P_1(t)} \right]^{\frac{1}{k}}; \quad Y_1 = \left[\frac{a_{ij}(t+k)}{a_{ij}(t)} \right]^{\frac{1}{k}}. \quad (2.34)$$

gdzie: $k = 1, 2, 3, \dots, 10$,

liczonych jako k -letnie i sprowadzonych do jednorocznych przy założeniu wykładniczego tempa wzrostu. Uzyskane tak ciągi obserwacji X_1, Y_1 poddano obróbce numerycznej stosując algorytm identyfikacji w celu wyznaczenia charakterystyk procesów. Ogólne metody doboru ciągu liczbowego h_n do badanego ciągu uczącego nie są znane [6], w badaniach dokonano klasyfikacji wielkości wejściowych X_1 i wyjściowych Y_1 , a dla każdej klasy wyznaczono estymatę warunkowej wartości oczekiwanej $E(y|x_1)$ na podstawie ciągu uczącego. Wartości parametrów C oraz α , dla których:

$$\sum_{i=1}^{i=1} [\psi_n(x_1) - E(y|x_1)]^2 = \min \quad (2.35)$$

gdzie: l - liczba klas dla wartości $E(y|x_1)$

oraz odpowiadający im ciąg uczący wyznaczają charakterystykę modelu [3,5]. Wyniki identyfikacji charakterystyk przedstawiono w tablicy 3. [4]

2.5. Algorytm predykcji

W zależności od celu prognozy wektory P lub Q bądź część składowych wektora P i pozostałe składowe wektora Q mogą być danymi wejściowymi lub wynikami modelu. Rozwiązanie równania (2.1) wyznacza bilans produkcji i zużycia dla momentu $t+1$ na podstawie danych dla roku wyjściowego t , do których należą: macierz A_g i charakterystyki procesów. W zależności od wariantu opcjonalnie wprowadzane są: wektor P, Q lub odpowiednie ich składowe dla $t+1$.

Prognoza prosta pierwszego rodzaju.

Wektor produkcji P jest zmienną egzogeniczną, natomiast wektor Q otrzymywany jest w wyniku rozwiązania układu równań:

$$[I - A] P = Q \quad (2.36)$$

$$a_{ij}(t+1) = a_{ij}(t) f [P_j(t), P_j(t+1)] \quad (2.37)$$

Na podstawie zależności (2.37) wyznaczane są elementy macierzy A dla momentu $t+1$, a rozwiązanie (2.36) wyznacza wektor Q. Podstawowy algorytm wykonywany jest dla rocznego przedziału czasu. W dłuższym horyzoncie czasu prognoza realizowana jest sekwencyjnie, przyjmując wyniki etapu poprzedniego jako stan początkowy dla następnego.

Prognoza prosta drugiego rodzaju

W sytuacji, gdy przy zadanym wektorze Q wyznaczany jest wektor P, działanie modelu jest bardziej złożone. Wektor P_{t+1} jest zmienną endogeniczną równania (2.36), a zarazem zmienną egzogeniczną w (2.37). W związku z tym nie jest możliwe bezpośrednio rozwiązanie układu (2.36, 2.37). Rozwiązanie przeprowadzane jest iteracyjnie, poczynając od przybliżonej (startowej) wartości wektora P_g , stosując taką strategię zmian składowych wektora P, która prowadzi do minimalizacji funkcji kryterium:

$$K_{\min} = \sum_{j=1}^{j=N} (q_j - q_j^i)^2 w_j \quad (2.38)$$

gdzie:

q_j - składowe zadanego wektora Q dla $t+1$,

q_j^i - składowe wektora Q dla kolejnych iteracji,

w_j - współczynniki wagowe.

W wyniku tej procedury otrzymany jest wektor P_{t+1} oraz macierz A_{t+1} , dla których spełniona jest zależność (2.36).

Schemat procedury iteracyjnej przedstawiono na rys. 2 [4]. Realizacja tej procedury wymaga wielokrotnego odwoływania się do charakterystyk oraz rozwiązywania równania (2.36). Dla każdej iteracji wyznaczana jest macierz A oraz wektor Q .

Minimum funkcji K osiągnięte zostaje wtedy, gdy wektor Q_i jest równy Q . Praktycznie warunek ten nie jest osiąganym, a działanie algorytmu kończy się, gdy spełnione jest kryterium stopu algorytmu.

Prognoza mieszana

Rozwiązanie dla prognozy mieszanej jest wynikiem działania tego samego algorytmu iteracyjnego. Można założyć dla przejrzystości, że dla momentu $t+1$ dane są startowe wartości P_{ij} dla pierwszych k składowych i pierwsze k składowe wektora zużycia Q , natomiast wyjście modelu określa nieznane składowe wektorów P i Q . W procedurze iteracyjnej zmianom poddawane są tylko początkowe składowe wektora P , a minimalizowana jest funkcja kryterium przy $n=k$.

3. WERYFIKACJA MODELU

Weryfikację modelu przeprowadzono na podstawie eksperymentów komputerowych i oceny statystycznej otrzymanych wyników. Przygotowano program symulacyjny, który jest numeryczną implementacją modelu formalnego. Generuje on historię stanów modelu, która jest uważana za historię stanów obiektu, w kilku wariantach otrzymywanych przez wybór jednej z trzech możliwości:

- 1 - prognoza 1 rodzaju,
- 2 - prognoza 2 rodzaju,
- 3 - prognoza mieszana,

dla których możliwa jest

- A - prognoza krok po kroku,
- B - prognoza sekwencyjna.

Badania modelowe przeprowadzono dla okresu historii statystycznej w zakresie "prognoz" 1 i 2 rodzaju w wersji krokowej i sekwencyjnej. Prognozy wygasłe wykonano w wersji sekwencyjnej. Wyniki badań umieszczono w dodatku 3 [4].

3.1. Ocena statystyczna wyników

Do badania własności statystycznych otrzymanych wyników zastosowano zasady weryfikacji hipotez statystycznych, stosując następujące testy:

- testy losowości - medianowy i kwantylowy,
- test wartości średniej - Studenta,
- ocena autokorelacji - test Durбина - Watsona, Fishera,
- testy normalności - zmodyfikowany test Kołmogorowa, Cramera - Smirnowa, Shapiro - Wilka.

Obszary krytyczne dla przeprowadzonych testów zostały zbudowane przy poziomie istotności $\alpha=0.05$.

Wyznaczono również błąd średni szacunku dla estymatora wartości oczekiwanej oraz określono przedziały dla prognozy prawdopodobnej i wysoce prawdopodobnej.

Własności statystyczne otrzymanych wyników zestawiono w tablicach 4.1 do 4.13 dodatek 4 [4], których analiza pozwala sformułować następujące wnioski:

- 1) Omówione wyniki wskazują na zgodność modelu z obiektem oraz na pewne możliwości poprawy jakości modelu przez uwzględnienie struktury produkcji procesów złożonych.
- 2) Przeprowadzone badania wykazały dobre własności prognostyczne modelu, szczególnie dla lat 1978 i 1979, gdy dane wejściowe są opracowane według agregacji pierwotnej.
- 3) Błędy prognozy I i II rodzaju są w granicach kilku procent, jedynie przy agregacji wtórnej dla nośników ropopochodnych występuje znaczny wzrost błędów.
- 4) Istotny wpływ na funkcjonowanie modelu mają dane statystyczne. Przy braku spójności danych z modelem predykcji nie można oczekiwać poprawnych wyników.
- 5) Zmiany w układach statystycznych są poważnym utrudnieniem w prowadzeniu badań. Aby umożliwić konwersję danych, postulować należy, aby były publikowane szczegółowe reguły przechodzenia ze starego układu na nowy.

4. ZAKRES ZASTOSOWANIA MODELU UPIPE

Scenariusz wektora produkcji określany jest na podstawie przyjętych programów rozwoju poszczególnych gałęzi pozyskania i przemian energii. Wynikające z nich moce produkcyjne w kolejnych podokresach są określone bez pełnego uwzględnienia powiązań międzygałęziowych. Dopiero przeprowadzenie kompleksowego bilansu przy użyciu modelu UPIPE umożliwia pełną ocenę badanego scenariusza rozwojowego.

Opracowanie spójnego i zgodnego z założonym programem rozwoju gospodarki narodowej, programu rozwoju dla systemu paliwowo energetycznego, przeprowadza się iteracyjnie wg schematu:

- 1) wstępne opracowanie programów rozwojowych dla gałęzi pozyskania i przemian energii,

- 2) wyznaczenie bilansu produkcji i zużycia za pomocą modelu,
- 3) porównanie wyników modelu z założeniami rozwojowymi,
- 4) korekta programów rozwojowych z punktu 1,

z którego punkty 2,3,4 wykonywane są wielokrotnie, aż do uzyskania pełnej zgodności.

Podstawowa procedura obliczeniowa może być stosowana do wielokrotnych przeliczeń, przy różnych możliwych scenariuszach warunków.

Celem obliczeń modelowych jest określenie możliwych dróg rozwojowych systemu energetycznego, wynikających z możliwych w przyszłości uwarunkowań i powiązań z makrosystemem. Dla analizowanych scenariuszy rozwojowych należy określić możliwości eksportowe i importowe w postaci scenariuszy ograniczeń dolnych i górnych (dla każdego nośnika i rozpatrywanego podokresu). Każdy taki wektor ograniczeń jest wynikiem zadanych cen transakcyjnych oraz ograniczeń dewizowych.

LITERATURA

- [1] Annual Bulletin of General Energy Statistics for Europe 1968 -1977.
- [2] Annual Bulletin of General Energy Statistics for Europe 1978 - 1984.
- [3] BEYM T.: Metoda badania współczynników technicznych w modelu bilansu pozyskania i przemian energii. WPF, Wrocław 1985.
- [4] BEYM T.: Model predykcji krajowego bilansu w zakresie pozyskania i przemian energii. Rozprawa doktorska Gliwice 1989.
- [5] DOBRZAŃSKA I., BEYM T., DAŚAL K., SOWIŃSKI J.: Niektóre problemy prognozy bilansu energetycznego państwa. Mat. konf. "Energetyka czynnikiem wzrostu", Jabłonna 1984.
- [6] GREBLICKI W.: Asymptotycznie optymalne algorytmy rozpoznawania i identyfikacji w warunkach probabilistycznych. Monografie, Wrocław 1974.
- [7] RUTKOWSKI L.: Nieparametryczne procedury uczenia w sytuacjach niestacjonarnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej nr 131, Częstochowa 1984.
- [8] SOLIŃSKI I., BOJARSKI W., ADAMCZYK K., SUWAŁA W., PIĄTEK I.: Badanie scenariuszowe społecznych kosztów paliw do roku 2000. Ossolineum, 1981.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Irena Dobrzańska

Wpłynęło do redakcji dnia 1 października 1989 r.

**МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ВСЕЙ СТРАНЫ БАЛАНСА
В СФЕРЕ ПРИОБРЕТЕНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ****Р е з ю м е**

В работе представлена модель прогноза баланса в сфере приобретения и превращения для энергетической системы всей страны. Применена динамическая модель Леонтьева, в которой для определения коэффициентов использован способ идентификации в стационарных условиях. Для модели дополнительно предложен метод превращения сложных процессов в эквивалентную систему прямых процессов. Разработан вариантный алгоритм прогноза, который использован для проверки модели. Проверка проведена для статистических данных одной страны.

**PREDICTION MODEL OF THE NATIONAL BALANCE IN THE FIELD OF ENERGY
EXTRACTION AND CONVERSIONS****S u m m a r y**

The paper contains a predictive model of the balance of energy extraction and conversions for the national energy system. The Leontief's dynamic model using the procedure of identification in the stationary conditions in order to determine its coefficients has been applied. A method of transformation of composite multipurpose processes into the equivalent system of simple processes has been proposed as a supporting procedure of the model. The model has been verified by means of a variant algorithm of prognosis. Its verification has been realized on the basis of the statistical data concerning the chosen country.