

Janusz SOWIŃSKI

Instytut Elektroenergetyki  
Politechniki Częstochowskiej

## MODEL PREDYKCJI WEKTORA ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ BEZPOŚREDNIA W SYSTEMIE KRAJOWYM

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono modele średnioterminowej prognozy bezpośredniego zapotrzebowania na energię w kraju. Modele uwzględniają związki między rozwojem energetyki i gospodarki narodowej. Wykorzystano w nich jedną z metod podanych przez W.S. Pągaczewą, a dotyczącą przekształcenia wektora losowego o składowych skorelowanych w inny wektor o składowych nieskorelowanych. Podstawowe modele zostały uzupełnione procedurami pomocniczymi w celu rozwiązania m.in. problemu odpowiedniego przygotowania zbioru danych wejściowych, wyboru zmiennych w modelach itp. Modele zweryfikowano na danych statystycznych, obejmujących okres 1970-1985. Przedstawiono przykładowe wyniki prognozy do 2000 r.

### 1. Wstęp

Średnioterminowe prognozy zapotrzebowania na energię opracowywane są często przy zastosowaniu tzw. metod globalnych, polegających na zastosowaniu modeli makroekonomicznych (przeważnie jednorodnaniowych), bazujących na współczynniku elastyczności zapotrzebowania względem dochodu narodowego. Metody takie zastosowano np. w opracowaniach Komisji Planowania oraz Instytutu Energetyki. Obecnie zarysowującą się tendencją w gospodarce energetycznej państw wysoko rozwiniętych jest kształtowanie się takiej struktury zużycia energii, w której można wyróżnić tzw. energię produkcyjną oraz konsumpcyjną. Udział energii konsumpcyjnej w całkowitym zużyciu stale wzrasta, czego wynikiem jest wzrost nieokreśloności popytu energetycznego względem dochodu narodowego. W związku z tym metody globalne tracą na znaczeniu. Ponadto nie pozwalają one na bezpośrednie uwzględnianie zmian strukturalnych.

Wad tych nie posiada metoda opracowana w Zakładzie Problemów Energetyki IPPT PAN. W metodzie tej model symulacyjny PROSK w ramach systemu SPSEK wyznacza zapotrzebowanie na podstawie bilansów cząstkowych gospodarki w układzie gałęziowym. Model jest modelem matematycznym z elementami analizy heurystycznej i wymaga ingerencji "konstruktora scenariuszy". W wielu przypadkach oceny konstruktora mogą być dość intuicyjne i subiektywne. Brak w pracach publikowanych informacji o weryfikacji modelu na danych z przeszłości, a przynajmniej oceny wrażliwości modelu na nieokreśloność danych

wejściowych nie pozwala ustosunkować się do dokładności modelu. W związku z tym celowe wydaje się poszukiwanie coraz doskonalszego formalnego modelu prognozy zapotrzebowania bezpośredniego na energię, chociażby dla dokonania porównań. Wszelka monopolizacja badań i prowadzenie ich jednokierunkowo w sytuacji, gdy podejmowanie decyzji w energetyce wiąże się z wielką odpowiedzialnością, wydaje się niewskazane. Ponadto metodyka wyznaczania zapotrzebowania na energię dla warunków zaburzeń rozwojowych (np. dla kryzysu gospodarczego) nie jest jeszcze dziedziną dostatecznie dopracowaną.

## 2. Sformułowanie problemu

W zaproponowanych w niniejszym artykule modelach kompleksowo uwzględniono wzajemne powiązania między energetyką i gospodarką narodową, wykorzystując w tym celu metodę opartą na postaci kanonicznej wektora losowego [5,7]. Podejście takie pozwala na uwzględnienie wpływu zmian strukturalnych gospodarki na wielkość zapotrzebowania na energię.

Proces gospodarczy opisano za pomocą wektora losowego  $Z$ , którego składowe to realizacje poszczególnych zmiennych, charakteryzujących obiekt dla danej chwili czasowej. Zmienne, charakteryzujące obiekt gospodarczo-techniczny, można uznać za zmienne losowe przyczynowe skorelowane między sobą w różnym stopniu. Prognozowanie procesów gospodarczo-technicznych wymaga przekształcenia wektora  $Z$  w wektor  $X$  (stabilizacja zmiennych, modyfikacja próby). Istota opisywanej metody predykcji polega na zastosowaniu procedury, nazwanej rozkładem kanonicznym wektora losowego  $X$ , a przekształcającej scentrowany wektor losowy  $X_0$  w wektor losowy  $V$  o składowych nieskorelowanych. W wyniku przekształcenia uzyskuje się nowy układ wektorów  $V_1$  wzajemnie ortogonalnych, tworzących bazę ortogonalną. Brak korelacji między zmiennymi losowymi nie oznacza braku zależności między nimi, dlatego można doszukiwać się związków statystycznych między składowymi nieskorelowanymi. Procedura predykcji wymaga znajomości w postaci scenariusza przebiegu przynajmniej jednej zmiennej lub grupy  $q$  zmiennych dla prognozowanego okresu. Zmienną tę (lub grupę  $q$  zmiennych) uznaje się za wielkość sterującą (lub wielkości sterujące) i w wektorze losowym zajmuje pierwszą pozycję (pierwszych  $q$  pozycji) na liście składowych.

## 3. Opis wykorzystanych metod

### 3.1. Modele prognostyczne

Rozpatruje się wektor losowy  $X$ , opisujący procesy zachodzące w pewnym obiekcie. Rozważa się  $m$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) składowych tego wektora, mającego  $n$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) realizacji. Składowe  $X_i$  są ze sobą skorelowane w różnym stopniu. Dla przyszłych realizacji procesu w  $t=n+1,\dots,T$  wartości pierw-

szej składowej  $X_{1t}$  (lub  $q$  pierwszych składowych, przy czym  $1 \leq q < n$ ) są zadane w postaci scenariusza. Należy podać prognozę  $X_{1t}$  dla  $i=q+1, q+2, \dots, n$   $t=n+1, \dots, T$ .

### Model symulacyjny

Rozkładem kanonicznym wektora losowego nazwano przekształcenie wektora losowego  $X$  o składowych skorelowanych na inny wektor losowy  $V$  o składowych nieskorelowanych, będących funkcjami liniowymi składowych wektora  $X$ . Spełnione jest równanie:

$$A V = X_0 \quad (1)$$

gdzie:

$V$  - macierz realizacji zmiennych losowych nieskorelowanych, o wymiarach  $m \times n$ ,

$X_0$  - macierz scentrowanych realizacji zmiennych losowych  $X_k$ , o wymiarach  $m \times n$ ,

$A$  - macierz współczynników postaci kanonicznej o wymiarach  $m \times m$ ,

$$a_{kj} = \begin{cases} 0 & \text{dla } j > k \\ 1 & \text{dla } j = k \end{cases}$$

Warunek braku korelacji między zmienną losową  $V_j$  a zmiennymi losowymi  $V_p$  ( $p=1, 2, \dots, j-1$ ) doprowadza do określenia współczynników postaci kanonicznej dla  $j < k$ :

$$a_{k1} = \frac{K_{k1}}{W_{v1}}$$

$$a_{kj} = \frac{1}{W_{vj}} \left( K_{kj} - \sum_{p=1}^{j-1} a_{kp} a_{jp} W_{vp} \right) \quad j=2, 3, \dots, k-1 \quad (2)$$

gdzie:

$$K_{kj} = \text{Cov} \{ X_{0k}, X_{0j} \},$$

$$W_{vj} = \text{Var} \{ V_j \},$$

$$K_{kk} = \sum_{p=1}^{k-1} a_{kp}^2 W_{vp} + W_{vk},$$

stąd:

$$w_{vk} = K_{kk} - \sum_{p=1}^{k-1} a_{kp}^2 w_{vp} .$$

Procedura predykcji (i+1)-wszej zmiennej polega na generowaniu realizacji  $v_{i+1,t}$  z rozkładu empirycznego [4]. W tym celu można wykorzystać funkcje gęstości prawdopodobieństwa:

$$g_i(v_{i+1} \mid x_{oigr} < x_{oi} \leq x_{oig,r+1}) \quad i=1,2,\dots,m-1 \quad (3)$$

i na ich podstawie sbudować macierz dystrybuant implikacji:

$$F_i(v_{i+1} \mid x_{oigr} < x_{oi} \leq x_{oig,r+1}) \quad (4)$$

Po w-krotnym wygenerowaniu realizacji  $v_{i+1,t}$  wyznacza się  $x_{i+1,t}$  jako średnią z w-licznej próbki.

#### Model iteracyjny

Model iteracyjny opracowano na podstawie metody ekstrapolacji krokowej wektora losowego [4,8,9].

Określono iteracyjny algorytm predykcji realizacji  $x_{1t}$  (symbolem s oznaczono indeks iteracji):

$$x_{oit}^{[s]} = \frac{R^{[s]} - G}{H} \quad (5)$$

gdzie:

$$R^{[s]} = \sum_{k=1}^{i-1} \left[ G_{ik}^{[s]} \sum_{j=1}^t (x_{okj} \sum_{l=1}^{i-1} x_{olj}) \right] ,$$

$G_{ik}^{[s]}$  - wartości współczynników określone dla aktualnej wartości średniej  $\bar{x}_{1t}^{[s]}$ ,

$$\bar{x}_{1t}^{[1]} = \frac{1}{t-1} \sum_{j=1}^{t-1} x_{1j} ,$$

$$m_{xi}^{[s]} = m_{xi}^{[1]} + \frac{1}{t} x_{oit}^{[s-1]} \quad s=2,3,\dots$$

$$G = \sum_{j=1}^{t-1} (x_{oij} \sum_{k=1}^{i-1} x_{okj}),$$

$$H = \sum_{k=1}^{i-1} x_{okt}.$$

Współczynniki  $c_{ik}$  są funkcjami współczynników o postaci kanonicznej:

$$c_{i,i-1} = a_{i,i-1}$$

$$c_{ik} = a_{ik} - \sum_{p=k+1}^{i-1} a_{ip} c_{pk} \quad k=1,2,\dots,i-2. \quad (6)$$

Warunek zbieżności procedury iteracyjnej dla przyjętej dokładności  $\varepsilon$  określono następująco:

$$|x_{oit}^{[s]} - x_{oit}^{[s-1]}| < \varepsilon. \quad (7)$$

Wynikiem działania procedury iteracyjnej jest predykcja realizacji  $x_{it}$ :

$$x_{it} = x_{oit}^{[s]} + m_{xi}^{[1]} \quad (8)$$

### 3.2. Procedury wspomagające proces predykcji

Wykorzystanie algorytmu symulacyjnego oraz iteracyjnego do prognozy procesów gospodarczo-technicznych z zaburzeniami, a w szczególności do prognozy zapotrzebowania gospodarki na energię wymaga rozwiązania gospodarki na energię wymaga rozwiązania szeregu zagadnień, z których najważniejsze omówiono poniżej.

#### Stacjonarność procesu

Przystosowanie modeli do prognozowania procesów gospodarczo-technicznych z zaburzeniami, czyli procesów będących generalnie procesami niestacjonarnymi, zmusiło do przekształcenia zbioru danych wejściowych tak, aby uzyskany proces charakteryzował się większą stacjonarnością.

Zmienną losową przyczynową można przedstawić jako sumę dwóch składowych:

$$Z_i = Z_{id} + Z_{il} \quad (9)$$

gdzie:

$Z_{id} = f(w_1, w_2, \dots)$  - składowa deterministyczna,

$w_1, w_2, \dots$  - przyczyny, które determinują wartość zmiennej  $Z_i$ ,

$Z_{il}$  - składowa losowa.

W modelowaniu procesów gospodarczo-technicznych zmienna  $Z_i$ , a zarazem  $Z_{id}$  są funkcjami czasu. Zakładając liniową zależność  $Z_{id}$  od czasu, łatwo można ograniczyć wpływ składowej deterministycznej, biorąc do dalszej analizy wskaźniki wzrostu:

$$x_{ij} = \frac{Z_{i,j}}{Z_{i,j-1}} \quad j=1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

W ten sposób uzyskuje się proces, charakteryzujący się większą stacjonarnością. Założono, że średni wskaźnik wzrostu każdej zmiennej jest wielkością stałą, a odchylenia od niego są wynikiem przyczyn losowych.

### Multiplikacja próby

Generowanie wartości realizacji z rozkładu empirycznego wymaga dużej liczności próbki w zbiorze wejściowym. W przypadku krótkich szeregów czasowych każdej zmiennej macierzy  $Z$  jedynym rozwiązaniem wydaje się być sztuczne zwiększenie liczności próbki (wykorzystano algorytm multiplikacji próby opublikowany w pracy [5]). Interpoluje się przebieg każdej zmiennej odcinkami prostej, a następnie wykorzystując  $r$ -krotny podział odcinka, wyznacza się wskaźniki wzrostu i sprowadza do wspólnego interwału czasowego.

### Wybór kolejności zmiennych w modelu

Kolejność zmiennych wektora losowego ma wpływ na dokładność prognozy. Przy wyborze kolejności składowych wektora zastosowano metodę podaną w [5], wykorzystującą pojemność integralną informacji Hellwiga. Zakłada się, że pierwszych  $k$  zmiennych ma już ustaloną kolejność. Dana jest więc macierz  $Z^T$  o wymiarach  $n \times k$ . W celu wybrania kolejnej  $(k+1)$ wszej zmiennej oblicza się pojemność integralną  $k$  nośników informacji o każdej z pozostałych  $(m-k)$  zmiennych. Kryterium wyboru kolejnej  $(k+1)$ wszej zmiennej można zapisać następująco:

$$H_{k_{op}} = \max_l H_l \quad (11)$$

gdzie:

$k_{op}$  - indeks optymalnej zmiennej.

$H_l$  - pojemność integralna,  $H_l = \sum_{i=1}^k h_{li}$ ,  $l=k+1, k+2, \dots, m$ ,

$h_{li}$  - pojemność indywidualną nośnika informacji  $Z_l$  o zmiennej  $Z_i$ ,

$$h_{li} = \frac{r_{li}^2}{1 + \sum_{j \neq i} |r_{lj}|}, \quad j, i=1, 2, \dots, k;$$

$j \neq i$ ,

$r_{lij}$  - współczynniki korelacji liniowej,

$r_{li}$  - współczynnik korelacji między  $l$ -tą i  $i$ -tą zmienną macierzy  $Z$ .

#### Sprowadzenie wartości zmiennej sterującej do zakresu dopuszczalnego

Korzystanie z dystrybuant (4) do predykcji procesów gospodarczo-technicznych wymaga znajomości obszaru możliwych wartości zmiennych  $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ). Podstawiając do tych równań w miejsce zmiennej sterującej arbitralną wartość, wymusza się przybranie przez pozostałe zmienne określonych wartości. Przy postępowaniu takim dla prognozy istnieje niebezpieczeństwo, że wpadnie się do obszaru luki probabilistycznej. Konsekwencją takiego postępowania jest predykcja stanu, który nie może zrealizować się w praktyce. Aby zapobiec tej sytuacji, należy sprowadzić wykraczającą poza dziedzinę wartość zmiennej sterującej w modelu do zakresu dopuszczalnego. Proponowany sposób postępowania w przypadku, gdy zmienna sterująca jest wskaźnikiem wzrostu, sprowadza się do próby znalezienia takiego interwału  $(t-t_0)$ -letniego, dla którego zmienna sterująca należy do zakresu dopuszczalnego. Prognozę należy wykonać dla interwału  $(t-t_0)$ -letniego.

#### Procedura bilansowania struktury

Zmienną podstawową oznaczono  $Z_b$ , a zmienne składowe  $Z_{b1}, Z_{b2}, \dots, Z_{bs}$ . Dla  $j$ -tej chwili czasowej spełnione jest równanie:

$$Z_{bj} = \sum_{i=1}^s Z_{b1j} \quad (12)$$

Prognoza przyszłej realizacji procesu dla  $t=n+1, \dots, T$  wynosi  $Z_{bt}, Z_{b1t}, Z_{b2t}, \dots, Z_{bst}$  i niekoniecznie spełnia równanie (12). Problem sprowadza się do rozwiązania zadania, polegającego na takim wyborze zmiennych składowych  $Z_{b1t}^*, Z_{b2t}^*, \dots, Z_{bst}^*$ , aby funkcja (13) osiągnęła minimum:

$$f(Z_{b1t}^*, Z_{b2t}^*, \dots, Z_{bst}^*) = \min \left| \left( Z_{bt} - \sum_{i=1}^n Z_{bit} \right) \right|. \quad (13)$$

Przedziały zmienności wielkości składowych (w tym przypadku nośników energii) należy określić wykorzystując naturalne ograniczenia, wynikające z istoty rozważanego problemu, np. ograniczenia w pozyskaniu lub produkcji. Dodatkowe ograniczenia i powiązania w przypadku prognozowania zapotrzebowania na energię wprowadza analiza substytucji oraz analiza wzajemnych relacji cenowych, związanych z wyczerpywaniem się poszczególnych surowców energetycznych i zmianami w technologii pozyskania i wytwarzania energii.

#### 4. Funkcjonowanie modeli dla prognoz właściwych

##### 4.1. Dane wejściowe

Istota opracowanych modeli prognostycznych wymaga określonego zbioru danych wejściowych, obejmującego dwie grupy tematyczne:

- I. krajowe dane ekonomiczno-społeczne,
- II. dane dotyczące gospodarki paliwo-energetycznej kraju.

Właściwym trybem funkcjonowania modeli wyznaczających zapotrzebowanie na energię w pakiecie modeli do badań rozwoju systemu energetycznego jest korzystanie z wyników prognoz ogólnogospodarczych jako danych wejściowych. Opisane w pracy modele są przystosowane do takiego trybu pracy. Dla prognoz właściwych danymi wejściowymi powinny być:

- wskaźnik dynamiki produkcji globalnej przemysłu brutto na mieszkańca,
- wskaźniki ośmiu najważniejszych gałęzi przemysłu oraz czterech podstawowych sektorów gospodarki narodowej i wskaźnik charakteryzujący poziom rozwoju przemysłu.

Wyznaczenie wskaźników wymaga znajomości dla przyszłości wektora produkcji (prognoza produkcji 56 wyrobów przemysłowych wraz z prognozą średnich energochłonności) oraz szeregu danych dotyczących sektorów i całej gospodarki narodowej.

W celu weryfikacji modeli oraz ich statystycznej oceny wyznaczono prognozy wygasze wektora zapotrzebowania na energię bezpośrednią. W zużyciu bezpośrednim wyróżniono 15 nośników energii (4 nośniki energii pierwotnej i 11 pochodnej). Badania przeprowadzono na próbie obejmującej dane sta-



tystyczne dla Polski z okresu 1970+1985. W tabl. 1 zestawiono średnie błędy prognozy wygaszłej poszczególnych nośników bezpośredniego zapotrzebowania na energię dla modelu symulacyjnego i iteracyjnego oraz przedziały błędów prawdopodobnych (prawdopodobieństwo zawierania się błędu w tym przedziale wynosi ok. 0.75).

W sytuacji braku wiarygodnej średnioterminowej prognozy stanu gospodarki narodowej wyniknęła konieczność prognozy danych wejściowych do modeli wyznaczających zapotrzebowanie bezpośrednie na energię, w celu przetestowania ich funkcjonowania dla przypadku wyznaczania prognoz właściwych. Punktem wyjścia tej prognozy jest scenariusz dynamiki produkcji globalnej przemysłu brutto oraz prognoza demograficzna.

#### 4.2. Prognoza demograficzna

Wykorzystano prognozę studialną GUS-u [11]. Prognozę demograficzną zaktualizowano wprowadzając rzeczywistą wartość liczby ludności w 1985 roku jako wartość odniesienia dla dynamiki rozwoju demograficznego ludności. Wybrano wariant średni, którego przebieg zamieszczono w tabl. 2.

#### 4.3. Wskaźnik dynamiki produkcji globalnej przemysłu brutto

W pracy [6] analizowano przebieg czasowy dynamiki produkcji globalnej przemysłu na mieszkańca  $d_t$  dla okresu 1950+1980 dochodząc do następującego modelu:

$$d_t = 101 + \frac{3}{t} - a t^{2.1} \frac{t+1}{t} \quad [\%] \quad (14)$$

gdzie:

$a$  - stała wyznaczona z danych empirycznych,

$t = t' - t_0$ ,  $t_0 = 1980$ ,  $t' = 1981, 1982, \dots$

Badania wykazały [6], że zmiany w polityce gospodarczej powodują skokowe zmiany parametru  $a$ . W wyniku redukcji wariantów przebiegu  $d_t$  i weryfikacji modelu dla lat 1981+1985 przyjęto, że naturalnym możliwością gospodarki, wynikającym ze stanu majątku trwałego, technologii i zasobów odpowiada wariant  $a=-1.0$  dla całego horyzontu prognozy. Wyniki liczbowe prognozy  $d_t$  zamieszczono w tabl. 2.

#### 4.4. Wyniki prognoz właściwych i wnioski

Użytkownicy pakietu modeli mają możliwość wielowariantowej analizy zapotrzebowania bezpośredniego na energię w kraju, poprzez odpowiednią zmianę danych wejściowych. Ponadto mogą zadawać ograniczenia na dowolny nośnik w postaci scenariusza. W tabl. 3 zestawiono przykładowe wyniki prognozy zapotrzebowania na energię w kraju na lata 1990, 1995 i 2000, wyznaczonej modelem symulacyjnym. Wariant A jest prognozą bez ograniczeń na no-

śniki, natomiast w wariantcie B podano w postaci scenariusza przebieg całkowitego zapotrzebowania na energię w kraju oraz ograniczenia na nośniki. Ograniczenia opracowano na podstawie prac [1,3]. Założono 7% wzrost całkowitego zapotrzebowania na energię w latach 1985+2000. Ograniczenia górne nałożone na węgiel kamienny (dopuszczalny 5% wzrost zapotrzebowania w okresie 1985+2000) i gaz ziemny (25% w okresie 1980+2000, czyli 9% w okresie 1985+2000) wymusiły ograniczenie możliwego wzrostu bezpośredniego zapotrzebowania na energię pierwotną do 5.3% w analogicznym okresie czasu. Założono także, że zapewnienie dostatecznej podaży paliw ciekłych będzie bardzo trudne, dlatego dopuszczono możliwość 11% wzrostu zapotrzebowania w roku 2000 w stosunku do roku 1980. We wszystkich scenariuszach ograniczeń założono równomierny wzrost zapotrzebowania w rozważanym okresie.

Z analizy tabl. 3 wynika, że różnica w całkowitym zapotrzebowaniu na energię w roku 2000 dla wariantu A i B wynosi 599.5 PJ. Stąd wniosek, że aby utrzymać założony wzrost produkcji globalnej przemysłu, przy istniejących ograniczeniach w pozyskaniu i zakupie surowców energetycznych i paliw, konieczne jest uzyskanie efektów oszczędnościowych równych ok. 600 PJ do roku 2000, co jest równoznaczne ze zmniejszeniem energochłonności dochodu narodowego o ok. 15%. Zmniejszenie zużycia energii musi być zrealizowane w wyniku:

- działań oszczędnościowych i zwiększenie dyscypliny użytkowania energii,
- działań racjonalizatorskich, mających na celu zmniejszenie energochłonności produkcji,
- zmian strukturalnych gospodarki, poprzez stopniowe rezygnowanie z technologii energochłonnych.

Dalsze rozwijanie dotychczasowych struktur produkcyjnych gospodarki, oparte na energochłonnych technologiach, może spowodować niemożliwy do opanowania wzrost zapotrzebowania na energię, nawet przy niewielkiej dynamice wzrostu gospodarczego.

Zamieszczone w tabl. 3 wyniki stanowią jedynie przykład możliwości opracowanego pakietu modeli i nie stanowią kompletnego materiału do analizy, gdyż prognozy wykonane w warunkach wielkiej niepewności muszą być wielowariantowe.

##### 5. Porównanie wyników z innymi znanymi metodami

W ciągu ostatnich lat cztery zespoły badawcze wykonały poważne opracowania dotyczące rozwoju krajowego przemysłu paliw i energii:

- Zakład Energetyki Kompleksowej Instytutu Energetyki,
- Zakład Problemów Energetyki IPPT PAN,
- Komitet Problemów Energetyki PAN,
- OGR Gospodarki Energetycznej Katowice.

Według pracy [2] opracowania te i ich wyniki trudno ze sobą porównywać, gdyż:

- brak pełnej listy przyjmowanych założeń,
- stosowane są różne ujęcia przedmiotowe,
- stosowane są odmienne układy jednostek.

Opracowania I, III, IV prognozują zapotrzebowanie na energię pierwotną, tylko opracowanie IPPT PAN (model SPSEK) wyznacza najpierw zapotrzebowanie na energię bezpośredniego spożycia, a dopiero wtórnie na energię pierwotną. Wyniki modelu symulacyjnego, nazwanego modelem MRK (Metoda Rozkładu Kanonicznego), można w pełni porównać jedynie z wynikami modelu SPSEK.

Informacje zamieszczone w tabl. 4.1 potwierdzają dużą zbieżność wyników wariantu R z wariantem B oraz wariantu G z wariantem A, przy zbliżonych założeniach tempa rozwoju gospodarczego kraju.

Różnica w prognozie zapotrzebowania na energię w PJ w obu modelach wynika z nieuwzględniania w modelu SPSEK zapotrzebowania przez przemysł paliwowo-energetyczny.

## 6. Wnioski

Badania wykazały, że zaprezentowany pakiet modeli prognostycznych umożliwia średnioterminową prognozę bezpośredniego zapotrzebowania na energię w kraju dla okresu stabilnego przebiegu procesu gospodarczego, jak i dla okresu zaburzeń rozwojowych (szczegółowe wyniki weryfikacji modeli i ich statystycznej analizy zamieszczono w pracy [10]). Niewątpliwą zaletą proponowanych modeli w stosunku do już istniejących wydaje się być dogodna możliwość kompleksowego uwzględnienia wzajemnych powiązań między energetyką i gospodarką narodową.

Modele oparte na postaci kanonicznej wektora losowego można przystosować do prognozowania procesów gospodarczo-technicznych, będących procesami stochastycznymi niestacjonarnymi. W celu pozbycia się niestacjonarności wykorzystano przekształcenie zbioru danych wejściowych na wskaźniki wzrostu, charakteryzujące się większą stacjonarnością. Alternatywnym rozwiązaniem może być eliminacja składowej deterministycznej w zmiennych losowych przyczynowych, wykorzystująca równanie regresji lub równanie strukturalne.

W przypadku estymacji modeli na podstawie krótkich szeregów chronologicznych konieczna jest multiplikacja próbek w celu zastosowania algorytmu symulacyjnego (budowa dystrybuant implikacji wymaga dużej liczności próbek).

Wyniki prognoz wygasłych uzyskiwane modelami symulacyjnym i iteracyjnym porównano z modelami liniowymi, estymowanymi na podstawie tych samych zestawów danych wejściowych, uzyskując w obu przypadkach lepsze rezultaty niż dla modeli liniowych.

Analiza statystyczna wyników prognoz wygasłych doprowadza do konkluzji, że prognoza większości nośników energii spełnia wymagania stawiane prognozom średnioterminowym. Weryfikacja modeli wykazała możliwości pewnych korekt prognozy (np. wykorzystanie autokorelacji rzędu pierwszego błędów względnych). Również pełniejsze poznanie systemu będzie wymagało wprowadzania zmian w modelach. Jest to związane z naturalną potrzebą ciągłego ulepszania i rozwijania modeli, opisujących duży system dynamiczny.

## LITERATURA

- [1] Aktualny stan zaopatrzenia gospodarki narodowej w paliwa i energię oraz rozwój kompleksu paliwowo-energetycznego do roku 2000, Uchwała sejmowa z 21 marca 1985.
- [2] BOJARSKI W.: Uwarunkowania energetyczne polskiego kryzysu i jego przezwyciężenia w okresie perspektywicznym. Mat. konferencyjne: "Energetyka czynnikiem wzrostu", Jabłonna 1984.
- [3] COPAŁA J., KUREK A., BAŁANDYNOWICZ H.: Badania zapotrzebowania kraju na paliwa i energię oraz warunków i możliwości jego pokrycia do roku 2000. Mat. konferencyjne: "Energetyka czynnikiem wzrostu", Jabłonna 1984.
- [4] DOBRZAŃSKA I.: Step-by-Step Extrapolation of the Random Functions. Modelling, Simulation and Control, Vol. 2, No 2, 1987.
- [5] DOBRZAŃSKA I.: Parametric Method of Predicting Random Vector with Stationary Distribution of Probability Density. AMSE REVIEW, Vol. 6, No 4, 1988.
- [6] DOBRZAŃSKA I., BEYM T., CZEPIEL S., DASAL K., SOWIŃSKI J.: Budowa scenariuszy globalnego zapotrzebowania energii pierwotnej dla warunków silnych zaburzeń rozwojowych. Archiwum Energetyki nr 2, 1984.
- [7] PUGACZEW W.S.: Teoria funkcji przypadkowych i jej zastosowanie do zagadnień sterowania automatycznego. WMON, 1960.
- [8] SOWIŃSKI J.: Step-by-Step Extrapolation of the Random Vector. AMSE REVIEW, Vol. 7, No 3, 1988.
- [9] SOWIŃSKI J.: Application of Step-by-step Extrapolation of a Random Vector in the Model of Prediction of Macroregion Energy Demand. AMSE REVIEW, Vol. 12, No 4, 1990.
- [10] SOWIŃSKI J.: Model predykcji wektora zapotrzebowania na energię bezpośrednią w systemie krajowym. Praca doktorska, Gliwice 1989.
- [11] Studialna prognoza demograficzna Polski na lata 1980-2010. GUS, Warszawa 1980.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Irena Dobrzańska

Wpłynęło do redakcji dnia 1 października 1989 r.

Tablica 1

Wartości średnie błędów i przedziały prognozy prawdopodobnej dla poszczególnych nośników bezpośredniego zużycia energii w kraju

Lp.	Wyszczególnienie	Model symulacyjny				Model iteracyjny			
		$m_b$	$S_b$	$b_{prd}$	$b_{prg}$	$m_b$	$S_b$	$b_{prd}$	$b_{prg}$
-	-	%	-	%	%	%	-	%	%
1.	Całkowite zużycie en.	2.6	0.6	1.4	4.7	-0.1	1.4	-3.5	4.0
2.	Energia pierwotna	-0.1	1.0	-4.1	3.4	2.3	1.8	-0.3	7.6
3.	Węgiel kamienny	-0.6	1.3	-3.9	3.9	5.5	2.4	2.6	9.6
4.	Węgiel brunatny	-24.5	11.0	-57.3	-5.3	13.3	27.0	-42.4	53.7
5.	Gaz ziemny i ropa naftowa	0.6	2.5	-5.4	4.0	2.6	4.3	-7.4	17.6
6.	Gaz ziemny	0.6	2.5	-5.2	3.9	2.6	4.3	-7.4	17.6
7.	Torf i drewno opałowe	0.9	3.0	-2.7	10.7	1.3	5.2	-4.9	11.1
8.	Energia pochodna	3.9	1.0	1.4	4.5	0.1	0.9	-1.0	1.6
9.	Brykiety z węgla kamienn.	-18.5	6.5	-34.6	-12.5	24.6	27.9	-22.0	62.3
10.	Brykiety z węgla brun.	4.9	8.2	-21.9	34.1	0.6	5.4	-11.9	9.5
11.	Koks i półkoks	8.8	1.1	5.3	11.0	0.6	5.2	-13.8	12.9
12.	Paliwa ciekłe	0.9	2.5	-6.1	1.5	11.3	7.6	-4.6	22.6
13.	Gaz miejski	2.5	3.0	-6.8	9.7	0.8	4.1	-10.8	9.8
14.	Gaz koksowniczy	1.2	0.8	-1.2	3.8	0.3	2.7	-7.6	9.0
15.	Gaz czadnicowy i wytł.	2.5	3.4	-9.7	10.5	3.3	6.3	-16.6	19.4
16.	Gaz olivny	-9.6	2.5	-12.8	-9.0	0.6	9.6	-23.8	26.5
17.	Paliwa odpadowe	5.9	3.0	-4.9	11.8	8.9	4.8	-4.5	19.4
18.	Gaz wielkopieczowy	1.8	2.4	-5.8	8.8	1.3	4.9	-16.4	9.4
19.	Energia elektryczna	3.9	1.0	-0.1	6.7	0.6	0.6	-0.6	2.1
20.	Ciepło	5.3	1.1	2.6	7.1	0.03	2.7	-6.3	6.0

$m_b$  - wartość średnia błędu prognozy wygasłej.

$S_b$  - odchylenie standardowe.

$b_{prd}$ ,  $b_{prg}$  - kres dolny i górny przedziału prognozy prawdopodobnej.

Tablica 2

Prognoza demograficzna i scenariusz dynamiki produkcji  
globalnej przemysłu brutto

l.p.	Lata	Prognoza demograficzna	Dynamika produkcji globalnej przemysłu brutto (1985=100%)
-	-	tys. mieszk.	%
1	1986	37 623.3	103.7
2	1987	37 811.8	107.4
3	1988	38 000.4	111.0
4	1989	38 188.9	114.7
5	1990	38 377.5	118.5
6	1991	38 484.6	122.0
7	1992	38 591.7	125.7
8	1993	38 698.8	129.4
9	1994	38 805.9	133.1
10	1995	38 913.0	137.0
11	1996	39 162.9	141.5
12	1997	39 412.8	146.1
13	1998	39 662.7	150.7
14	1999	39 912.6	155.7
15	2000	40 262.5	160.7

Tablica 3

Prognoza zapotrzebowania bezpośredniego na energię w kraju  
na lata 1990, 1995 i 2000

Lp.	Rodzaj nośnika	1985	Variant A			Variant B		
			1990	1995	2000	1990	1995	2000
-	-	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ
1	Całkowite zużycie energii	3718.8	4060.5	4286.9	4622.7	3845.8	3933.5	4023.2
2	Energia pierwotna	1401.2	1574.4	1657.1	1767.6	1438.9	1465.8	1492.7
3	Węgiel kamienny	1026.9	1121.0	1109.1	1098.1	1044.0	1061.1	1078.2
4	Węgiel brunatny	5.8	7.8	7.0	4.7	8.9	8.7	5.9
5	Gaz ziemny i ropa naftowa	315.1	392.8	491.7	628.7	324.9	334.7	344.4
6	Gaz ziemny	315.1	392.2	491.1	628.2	324.3	334.1	343.9
7	Torf i drewno opałowe	53.3	52.8	49.3	45.8	61.1	61.3	64.1
8	Energia pochodna	2317.6	2486.1	2629.8	2855.1	2406.8	2467.7	2530.5
9	Brykiet z węgla kamiennego	16.4	15.4	11.1	8.0	14.9	9.8	5.9
10	Brykiet z węgla brunatnego	2.4	1.6	1.0	0.6	1.7	0.8	0.4
11	Koks i półkoks	343.8	313.5	299.2	272.3	302.0	258.0	233.0
12	Paliwa ciekłe	382.7	392.3	397.8	392.6	377.8	357.4	345.3
13	Gaz miejski	7.4	5.3	3.8	2.8	5.3	3.6	2.5
14	Gaz koksowniczy	101.0	97.9	91.4	89.0	95.2	88.0	79.5
15	Gaz czadnicowy i wytlewny	12.4	7.6	5.4	3.9	7.3	5.2	3.5
16	Gaz płynny	7.6	9.0	10.5	12.8	8.6	10.1	11.4
17	Paliwa odpadowe	94.1	97.8	107.9	109.4	93.4	96.5	95.3
18	Gaz wielkopiecowy	47.0	46.9	46.3	46.3	46.9	46.3	46.3
19	Energia elektryczna	440.2	516.0	620.2	741.0	507.5	583.2	669.9
20	Ciepło	909.6	1014.0	1081.5	1222.8	993.0	1055.0	1083.7

Tablica 4.1.

Porównanie prognoz zapotrzebowania bezpośredniego na energię

Wyszczególnienie	Wariant	DNV 1000 1985=100 %	Prognoza (1985=100)		
			1990 %	1995 %	2000 %
-	-	-	-	-	-
Model SPSEK (1984)	G	173	109	120.4	134
	D	156	107.5	114.4	126.6
Model SPSEK (1989)	G	163	109.6	117.1	126
	R	143	103.8	107.5	111.6
	D	137	107.5	113.9	118.6
Model MRK	A	161 <sup>*</sup>	109	115	124
	B	161 <sup>*</sup>	103.5	105.8	108.2

\*) PGB

Tablica 4.2.

Porównanie prognoz zapotrzebowania bezpośredniego na energię

Wyszczególnienie	Wariant	DNV 1000 1985=100 %	Prognoza		
			1990 PJ	1995 PJ	2000 PJ
-	-	-	-	-	-
Model SPSEK (1984)	G	173	4030	4441	4953
	D	156	3670	3905	4322
Model SPSEK (1989)	G	163	3780	4040	4350
	R	143	3580	3710	3850
	D	137	3710	3930	4090
Model MRK	A	161 <sup>*</sup>	4061	4287	4623
	B	161 <sup>*</sup>	3846	3936	4023

\*) PGB



МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕКТОРА СНАБЖЕНИЯ НЕПосРЕДСТВЕННОЙ  
ЭНЕРГИЕЙ В СИСТЕМЕ ВСЕЙ СТРАНЫ

## Р е з ю м е

В статье представлены модели среднесрочных прогнозов непосредственного снабжения энергией всей страны. Модели учитывают связи развития энергетики и народного хозяйства. Здесь использован один из способов преобразования случайного вектора составных скоррелированных в другой вектор составных нескоррелированных, предложенный В.С. Пугачевым. Основные модели дополнены вспомогательными процедурами для решения, в частности, проблемы обработки статистических данных, выбора непространственных величин в моделях и другие. Модели проверены с использованием статистических данных за период 1970 + 1985. Представлены также результаты среднесрочного прогноза до 2000 г.

PREDICTION MODEL OF THE VECTOR OF THE DIRECT ENERGY DEMAND  
BY THE STATE ECONOMY

## S u m m a r y

The paper contains models of medium-term prediction of energy demand by the State economy. The models take into account relations between development of power industry and national economy. In the models the complex interrelations are considered by applying one of the methods given by W.S. Pugaczew and concerning the transformation of a random vector with correlated components into another vector with noncorrelated components. The fundamental models have been supported by numerous auxiliary procedures for solving the problems connected with input data set handling, selecting the variables for the models, etc. They have been verified with use of the statistical data concerning the period 1970 + 1985. The results of medium-term prognosis of energy demand are presented.