
Stochastinių energijos sunaudojimo procesų identifikacija

**Jonas Algirdas Kugelevičius,
Algirdas Kuprys**

*Lietuvos energetikos institutas,
Energetikos kompleksinių tyrimų
laboratorija,
Breslaujos g. 3,
LT-3035 Kaunas*

Jonas Kugelevičius

*Kauno technologijos universitetas,
Šilumos ir atomo energetikos katedra,
K. Donelaičio g. 20,
LT-3000 Kaunas*

Stochastinių energijos sunaudojimo procesų identifikacijai matematiniais-statistinėmis metodais siūlomi struktūriniai regresijos modeliai. Taikant energijos poreikių procesų identifikacijai šiuos modelius analizuojamos energijos sunaudojimo pasaulyje 1970–2000 m. tendencijos, identifikuojami tendencijų struktūriniai pokyčiai pasaulinės naftos kainų krizės laikotarpiu bei žlugus socializmo stovyklai. Energijos sunaudojimo pasaulyje struktūriniai regresijos modeliai formalizuoti, taikant gabalais tiesinės regresijos metodus. Siūlomi modeliai adaptuoti ilgalaikiam energijos sąnaudų pasaulyje prognozavimui. Gautos prognozės lyginamos su kitų institucijų apbruotais pasaulio perspektyviniais energijos integruotais poreikiais jų santykiniais rodikliais bei atskirų energijos išteklių (naftos, dujų) prognozėmis.

Raktažodžiai: energija, energijos sąnaudos, energijos sunaudojimo procesų identifikacija, energijos poreikių prognozės, matematiniai-statistiniai prognozavimo metodai

1. ĮVADAS

Šiuo metu energijos tiekimo sistemų techninio reguliavimo srityje vis plačiau taikomi kompleksiniai integruoti modeliai. Europos Sąjungoje (ES) priimti energijos tiekimo sistemų techninio reguliavimo metodai bei principai įteisinami ES direktyvomis. Elektros, gamtinių dujų sistemos integruotam techniniam reguliavimui šiuo metu jau parengtas ES direktyvos 501 PC 0125(01) projektas [1].

Energijos tiekimo sistemų funkcionavimo bei plėtos kompleksiniai integruoti modeliai jungia pagrindinius ES direktyvomis nustatytus techninio reguliavimo modulius:

- palaipsnio rinkos atvėrimo bei liberalizavimo,
- skaidrios, nepriklausomos kainodaros – tarifų,
- tiekimo patikimumo,
- energijos tiekimo–vartojimo balansų.

Šių modulių formalizacijai – matematiniam aprašymui taikomi įvairūs matematiniai-statistiniai metodai bei modeliai, tarp jų ir stochastinių energijos sunaudojimo procesų identifikavimo.

Stochastinių energijos sunaudojimo procesų identifikavimo metodai bei modeliai naudojami energijos tiekimo sistemų apibendrintoms energetinėms charakteristikoms nustatyti matematiniais-statistinėmis metodais [2, 3], taip pat energijos poreikių prognozei trumpalaikėje bei ilgalaikėje perspektyvoje [4].

Energijos tiekimo–sunaudojimo stochastiniai procesai nėra tolygūs, jų kitimą apibūdinančių dinamiškų laiko eilučių parametrai ilgalaikėje perspektyvoje (matematiniai vidurkiai, dispersijos) kinta laike. Todėl šių procesų formalizacijai efektyviai gali būti taikomi struktūriniai matematiniai modeliai – gabalais tiesinės regresijos lygtys. Pakankamai akivaizdžiai šių modelių formavimą galima parodyti, analizuojant energijos sunaudojimą pasaulyje. Šie modeliai pagrįstai gali būti taikomi ir energijos (elektros, gamtinių dujų) poreikių stabilios plėtos prognozei atskirose šalyse, tarp jų ir Lietuvoje.

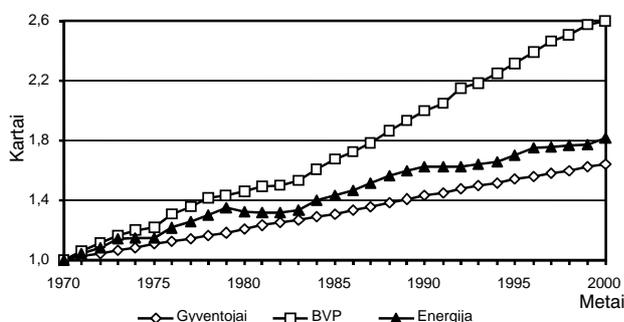
Energijos poreikių kaitą labai veikia visuomenės socialinė ir ekonominė raida. Perspektyvoje, siekiant patikimai užtikrinti nusistovėjusias socialinės ir ekonominės raidos tendencijas, pirmiausia būtina patikimai tiekti energiją. Todėl būtina reguliuoti energijos gamybos–sunaudų balansus, prognozuoti tiek energijos gamybą – poreikius, tiek turinčius įtaką socialinius ir ekonominius rodiklius.

Energijos gamybos – poreikių ir turinčių įtaką rodiklių prognozei sudaromi matematiniai-statistiniai modeliai, tiek formalizuojant atskirų rodiklių tendencijas laiko t atžvilgiu, tiek nustatant jų tarpusavio priklausomybes. Tik kompleksiskai imituojant techninę-socialinę-ekonominę raidą galima objektyviai pagrįsti energijos poreikių prognozes, reguliuoti energijos gamybos–sunaudų balansus.

2. ENERGIJOS SUNAUDOJIMO PASAULYJE ANALIZĖ

Dėl techninės, ekonominės, socialinės pažangos energijos (elektros, šilumos, gamtinių dujų, naftos ir jos produktų, akmens anglių ir kt. kietojo kuro) sunaudojimas pasaulyje pastoviai didėja (šioms tendencijoms analizuoti panaudota statistika [5]). Tai susieta tiek su gyventojų skaičiaus, tiek su ekonomikos pagrindinių rodiklių raida.

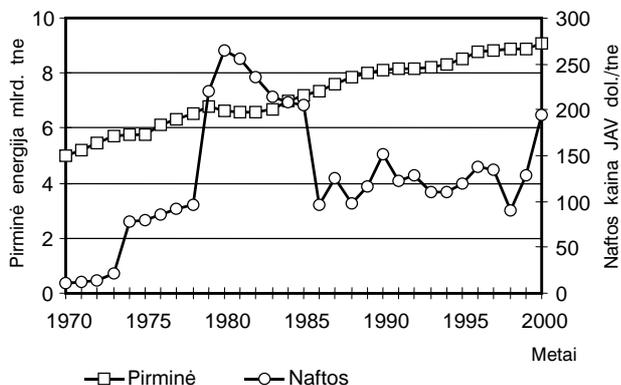
Praėjusio amžiaus antroje pusėje gyventojų skaičius (G) pasaulyje kasmet didėjo – 1970–2000 m. vidutiniškai 1,67% per metus (1 pav.). Dėl techninės pažangos pramonėje bei buityje įtakos energijos (W) sunaudojimas didėjo kiek sparčiau – apie 2,02% per metus. Dar sparčiau gerėjo gyventojų socialinis ir ekonominis aprūpinimas – bendrasis vidaus produktas (BVP) kasmet didėjo apie 3,25%.



1 pav. Energijos poreikių, BVP ir gyventojų skaičiaus dinamika pasaulyje

Didelę įtaką pasaulio energijos poreikiams turi ir naftos kaina [6], su kuria susieta taip pat kitų energijos rūšių kainodara. Pasaulinės naftos kainų krizės (1979–1983 m.) laikotarpiu energijos poreikiai kurį laiką net mažėjo (2 pav.). Sulėtėjo ir ekonomikos raida.

Energijos poreikiams įtakos turi ir kiti žymūs socialiniai pokyčiai. Žlugus socializmo stovyklai, ener-



2 pav. Pasaulio energijos poreikių ir naftos kainų dinamika

gijos poreikių tendencijos pasaulyje po 1990 m. iš esmės pasikeitė. Todėl apskritai pasaulio energijos poreikių ir ekonomikos tendencijose 1970–2000 m. išsiskiria periodai:

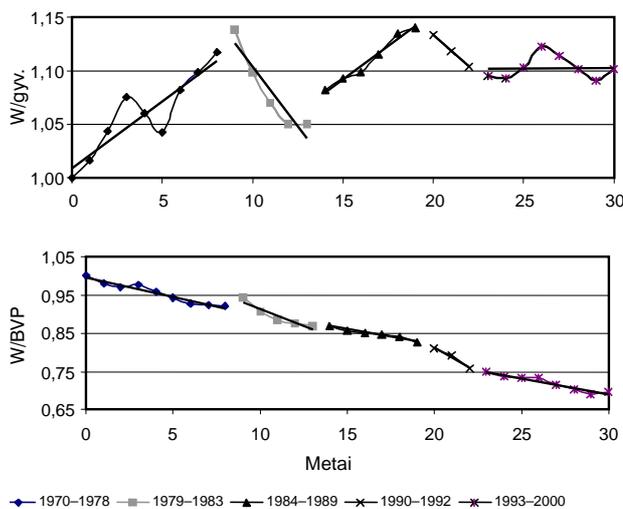
- 1970–1978 m. stabilus didėjimas,
- 1979–1983 m. nuosmukio/sulėtėjimo dėl pasaulinės naftos kainų krizės įtakos,
- 1984–1989 m. stabilus, tačiau, palyginti su 1970–1978 m., kiek lėtesnio augimo,
- 1990–1992 m. dėl didelių pokyčių ryšium su socializmo stovyklos žlugimu įtakos,
- 1993–2000 m. pokyčių augimo tempuose dėl buvusios socializmo stovyklos pramonės, socialinio aprūpinimo raidos revoliucinių pertvarkymų įtakos.

Be kritinių socialinių ir ekonominių pokyčių, energijos sąnaudoms įtakos turi ir vis griežtėjantys ekologiniai apribojimai. Todėl energijos sunaudojimas BVP atžvilgiu net stabilios socialinės ir ekonominės raidos periodais santykinai pastoviai mažėja.

Pastoviai didėjant energijos sąnaudoms, kasmet didinama ir iš žemės gelmių iškasamo kuro (naftos, gamtinių dujų, akmens anglių) gavyba. Tačiau geologiniai energijos ištekliai žemės gelmėse riboti. Todėl žmonija priversta kuo efektyviau naudoti energijos išteklius – kuo mažiau energijos naudoti gaminamos produkcijos ir teikiamų paslaugų vienetui. Tuo tikslu energetikos raidos analizėje bei prognozėse naudojami santykiniai rodikliai:

- energijos sąnaudos vienam gyventojui W/G,
- energijos sąnaudos gaminamos produkcijos vienetui W/BVP.

Šių rodiklių tendencijos atskirais socialinės ir ekonominės raidos periodais gana skirtingos (3 pav.). Energijos sąnaudos vienam gyventojui kritiniais metais net mažėja, stabilios ekonomikos plėtros periodais – didėja. Tuo tarpu energijos sunaudojimas



3 pav. Energijos sąnaudų vienam gyventojui ir BVP vienetui tendencijos

BVP vienetui nuo 1970 m. visą laiką mažėjo. Tačiau tempai atskirais periodais labai skiriasi.

Apskritai tiek energijos sąnaudų, tiek atskirų socialinių, ekonominių bei energijos santykinių rodiklių tempai 1970–2000 m. palaipsniui mažėjo. Tam įtakos, aišku, turėjo riboti gamtos išteklių, gyventojų bei BVP prieaugio lėtesni tempai, taip pat palaipsniui griežtėjantys gamtos saugos normatyvai, o tai verčia efektyviau naudoti energijos išteklius.

3. ENERGIJOS SUNAUDOJIMĄ SĄLYGOJANČIŲ VEIKSNIŲ TENDENCIJOS IR PROGNOZĖS

Apibendrinant pateiktos analizės rezultatus galima teigti, kad energijos sunaudojimo stochastinių procesų kaitą daugiausia sąlygoja gyventojų skaičiaus ir BVP tendencijos. Šių veiksmų prognozės, kaip pradinė informacija, dažniausiai naudojamos prognozuojant energijos sąnaudas. G ir BVP kitimo prognozės dažniausiai prilyginamos paskutinio stabilaus socialinės ir ekonominės raidos periodo parametrų – kelerių pastarųjų metų prieaugiui (pesimistinis scenarijus). Šiuos rodiklius ekspertai gali koreguoti, įvertinant techninės pažangos gaires, žmonijos socialinės raidos siekius (optimistinis scenarijus). Optimistinio scenarijaus atveju pasaulio BVP augimo tempai primami didesni, gyventojų – mažesni (Tarptautinės energetikos agentūros – IEA prognozėse $\Delta BVP = 3,2\%$, $\Delta G = 1,2\%$ [7]).

Dėl socialinės ir ekonominės pažangos įtakos iš esmės keičiasi demografinė situacija – itin mažėja gimstamumas, nors dalinai ilgėja ir vidutinis individų gyvenimo laikotarpis. Todėl gyventojų skaičiaus vidutinis metinis prieaugis 1970–2000 m. atskirais nagrinėtais periodais sumažėjo nuo 1,92 iki 1,38%. Tikėtina, kad šios demografinės tendencijos išliks ir artimiausioje bei tolimesnėje perspektyvoje.

Statistinė analizė rodo, kad gyventojų prieaugio 1970–2000 m. tendencijas pakankamai tiksliai galima aproksimuoti tiesine regresijos lygtimi

$$\Delta G = 0,0206 - 0,0002t, \quad (1)$$

kurios reikšmingumo kriterijai $R = 0,89$, $F_\alpha = 111$, $\alpha = 0,3 \times 10^{-11}$.

Ekstrapoliuojant šios lygties reikšmes galima prognozuoti, kad 2010–2020 m. perspektyvoje vidutinis metinis gyventojų prieaugis pasaulyje sieks tik 1,2–1,0%.

Mažėja ne tik gyventojų skaičiaus, bet ir BVP prieaugio tendencijos. BVP vidutinio metinio prieaugio tendencijos 1970–2000 m. atskirais nagrinėtais periodais sumažėjo nuo 4,43% (1970–1978 m.) iki 2,42% (1993–2000 m.), nors bendrasis vidutinis metinis prieaugis 1970–2000 m. ir siekė 3,25%. Todėl, prognozuojant BVP metinius augimo tempus, pesi-

mistinio scenarijaus atveju būtų galima priimti, kad palyginti stabilus paskutinio, 1993–2000 m., periodo 2,42% metinės tendencijos išliks ir artimiausioje bei tolimesnėje perspektyvoje. Tačiau, vertinant žmonijos socialinės pažangos siekius, galima prognozuoti, kad BVP metiniai augimo tempai 2010–2020 m. augs šiek tiek sparčiau ir sieks 3,25, – optimistinio scenarijaus atveju net 3,5% per metus.

4. STOCHASTINIŲ PROCESŲ NETOLYGAUS KITIMO IDENTIFIKAVIMO METODAI BEI MODELIAI

Energetinių rodiklių tendencijoms formalizuoti normalios, ne krizinės raidos laikotarpiu paprastai naudojami matematinės statistikos metodai bei modeliai [4, 8]. Šiuo atveju nustatomos statistinės, dažniausiai įvertinamų parametrų atžvilgiu tiesinės priklausomų y ir nepriklausomų x kintamųjų regresijos lygtys:

$$y = \sum_j a_j x_j, \quad j = 0, 1, \dots, m; \quad (2)$$

čia a – statistiniais metodais nustatomi lygties koeficientai, m – nepriklausomų veiksmų skaičius.

Šių regresijos lygčių reikšmingumas įvertinamas dispersinės analizės Fišerio kriterijumi

$$F_\alpha = s_1^2 / s_2^2; \quad (3)$$

čia s_1^2 , s_2^2 – regresijos lygties bei liekamoji dispersijos,

α – nulinės hipotezės paklaidos tikimybės statistinės reikšmės.

Veiksmų tarpusavio priklausomybę įvertinama koreliacijos koeficientais

$$r = \sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / (\sigma_x \sigma_y (n-1)), \quad (4)$$

$$R = \sqrt{1 - \sum_i (y_i - y_i^*) / \sum_i (y_i - \bar{y})^2}, \quad t = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

čia y_t , x_t – priklausomų ir nepriklausomų kintamųjų dinaminų laiko eilučių reikšmės,

σ_x , σ_y – kintamųjų x , y vidutiniai kvadratiniai nukrypimai,

\bar{x} , \bar{y} – n stebėjimų vidutinės reikšmės,

y_t^* – regresijos lygtimi aproksimuotos stebėjimų reikšmės.

Statistiniu atžvilgiu nusistovėjusios normalios, ne krizinės socialinės ir ekonominės raidos laikotarpiais regresijos lygties koeficientai a pastovūs. Tačiau modeliuojant socialinės ir ekonominės raidos rodiklius dinaminų laiko eilučių y_t ir $x_{t,j}$ pagrindu, šie koeficientai pastovūs tik atskiruose globalinės aibės T ; $t \in T$ poaibiuose T_v , T_q . Todėl socialinių ir ekonominių rodiklių formalizacijai taikomi struk-

tūriniai, dažniausiai gabalais tiesiniai regresijos modeliai [9–11]

$$y = \sum_v \varphi(x, a_v) y(x, a_v), \quad v=1, 2, \dots, k \quad (6)$$

$$\text{čia } \varphi(x, \beta_v) = \begin{cases} 1, & \text{jeigu } x \in T_v, \\ 0, & \text{jeigu } x \in T_v, \end{cases} \quad \bigcup_v T_v = T_x,$$

$$T_v \cap T_q \neq \Phi, \text{ kai } v \neq q, y(x, a_v) = \sum_j a_{vj} x_j.$$

Regresijos lygtimis dažniausiai aprašomi tik du kintamieji – energijos sąnaudos bei jų kitimas priklausomai nuo laiko t , BVP ar kito parametro. Tuomet kai energijos sąnaudų absoliutus prieaugis ar santykinis prieaugis su bet kuriuo kitu kintamuoju per nustatytą laiką (dažniausiai kelerius metus) yra pastovus, matematiškai tai galima išreikšti taip:

$$\Delta y / \Delta x = a, \quad (7)$$

arba diferencialų pavidalu:

$$dy / dx = a. \quad (8)$$

Integruodami šią priklausomybę gauname:

$$y = a_0 + a_1 x, \quad (9)$$

t. y. kad esant priklausomo kintamojo (energijos sąnaudų) pastoviam prieaugiui laiko ar bet kurio kito kintamojo atžvilgiu ši priklausomybė aprašoma tiesine funkcija.

Tokiu būdu identifikuotų struktūrinių modelių parametrai turi aiškią dinaminių laiko eilučių tendencijų fizikinę prasmę: parametrai $a_{vj}, v = 1, 2, \dots, m$ apibūdina funkcijos y pirmosios išvestinės (prieaugio) reikšmę, a_{v0} – aibių v atraminiai taškai – pradinę reikšmę, kuri priklausomai nuo laiko eilučių modifikacijos gali būti prilyginta:

– nuliumi – kai analizuojame nukrypimų nuo vidurkio tendencijas,

– vienetui – kai laiko eilučių reikšmės pateikiamos privestiniais vienetais.

Energijos sąnaudų ir sąlygojančių veiksnių kitimo 1970–2000 m. struktūrinių regresijos lygčių pagrindiniai parametrai,

pradinius duomenis išreiškiant privestiniais vienetais, pateikti 1 lentelėje. Pateikti regresijos lygčių parametrai rodo, kad pastovios plėtros periodais visų nagrinėtų veiksnių tendencijos laiko atžvilgiu artimos tiesinėms – regresijos koeficientai artimi vienetui, Fišerio kriterijaus reikšmės pakankamai didelės, nulinės hipotezės paklaidos tikimybės gana mažos. Tik $W/G = f(t)$ lygties atžvilgiu šie įverčiai 1993–2000 m. nereikšmingi, esant nuliniam prieaugiui.

Socialinės ir ekonominės raidos kriziniais periodais (1979–1983, 1990–1992 m.) regresijos lygčių parametrai įvertinimai rodo esminius nukrypimus nuo tiesinių tendencijų. Pvz., energijos sąnaudų $W = f(t)$ kitimo pasaulinės naftos kainų krizės laikotarpiu (1979–1983 m.) regresijos lygtis nėra tiesinė – koreliacijos koeficientas mažas, Fišerio kriterijaus reikšmė maža, nulinės hipotezės paklaida didelė ($\alpha = 0,43$, praktikoje nulinė hipotezė priimama, kai kritinės reikšmės mažesnės negu 0,01–0,05). Pažymėtina, kad optimizacijos procese nustatyti regresijos lygčių parametrai (koeficientai a) šiek tiek skiriasi nuo

1 lentelė. Energijos sąnaudų ir sąlygojančių veiksnių dinaminių laiko eilučių struktūrinių regresijos lygčių parametrai

Regresijos lygtis	Laiko intervalas (metai)	Lygties koeficientas		R	F	α
		a_0	a_1			
$W = f(t)$	1970–1978	0,972	0,035	0,986	238	0,000001
	1979–1983	0,994	0,003	0,465	1	0,43
	1984–1989	0,966	0,030	0,997	674	0,000013
	1990–1992	0,997	0,002	0,991	58	0,0831
	1993–2000	0,991	0,014	0,959	69	0,000162
$W/G = f(t)$	1970–1978	0,996	0,013	0,913	35	0,000589
	1979–1983	1,01	–0,020	0,948	27	0,0142
	1984–1989	0,986	0,011	0,985	135	0,000315
	1990–1992	1,013	–0,013	0,998	348	0,0341
	1993–2000	1,006	0	0,043	0	0,92
$W/BVP = f(t)$	1970–1978	1,006	–0,01	0,977	145	0,000006
	1979–1983	1,007	–0,019	0,944	24	0,0158
	1984–1989	1,007	–0,009	0,981	100	0,000564
	1990–1992	1,034	–0,032	0,986	36	0,105
	1993–2000	1,011	–0,011	0,962	75	0,000132

2 lentelė. Energijos sąnaudų ir sąlygojančių veiksnių priklausomybės struktūrinių regresijos lygčių parametrai

Regresijos lygtis	Laiko intervalas (metai)	Lygties koeficientas		R	F	α
		a_0	a_1			
$W = f(BVP)$	1970–1978	0,289	0,713	0,996	914	0,000001
	1979–1983	1,165	–0,174	0,465	1	0,43
	1984–1989	0,260	0,739	0,998	1054	0,000005
	1990–1992	0,935	0,065	0,999	410	0,0314
	1993–2000	0,487	0,517	0,968	91	0,000076

jų realios fizikinės išraiškos – laisvieji nariai įvairuoja tapatybės $a_0 \equiv 1$ atžvilgiu, koeficientai a_1 turi nukrypimų nuo prieaugio reikšmių.

Be regresijos lygčių, tiesiogiai identifikuojančių analizuojamų veiksnių kitimą laiko atžvilgiu, nagrinėjamos ir jų tarpusavio, paprastai energijos sąnaudų ir BVP, priklausomybės (2 lentelė). Šios lygtys dažniausiai ir naudojamos energijos poreikių prognozėms nustatyti.

5. ENERGIJOS POREIKIŲ PROGNOZIŲ SCENARIJAI

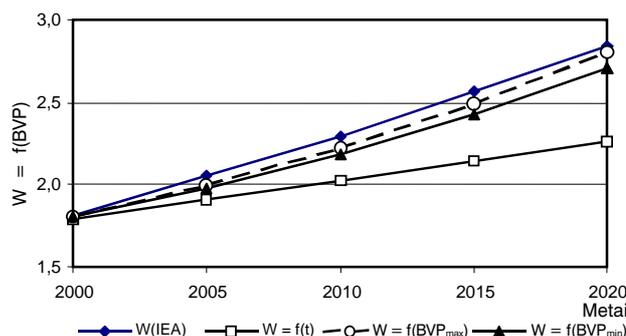
Pasaulio energijos poreikių prognozių įvairių scenarijų duomenys, gauti naudojant struktūrinius modelius, parodyti 4 pav. Pateikti duomenys rodo, kad perspektyvoje mažiausiai energijos būtų sunaudojama, esant 1993–2000 m. tendencijoms, t. y. ekstrapoliuojant šio periodo regresijos lygties $W = f(t)$ reikšmes. Prognozei naudojant regresijos lygtį $W = f(BVP)$, pasaulio energijos sąnaudų tendencijos įvairių BVP scenarijų atvejais daug didesnės – maksimalūs energijos poreikiai (2,2% prieaugis) atitinka 3,5% BVP metinį prieaugį. Tarptautinės energetikos agentūros (IEA) pasaulio energijos poreikių prognozės (2,3% metinis prieaugis) nedaug skiriasi nuo čia pateikto maksimalaus poreikių scenarijaus. Bazinio scenarijaus atveju, esant 3,25% BVP prieaugiui, energijos sąnaudos kasmet padidėja 2%.

Įvairius energijos poreikių prognozių scenarijus atitinkantys santykiniai perspektyviniai rodikliai (W/G ir W/BVP) pavaizduoti 5 pav.

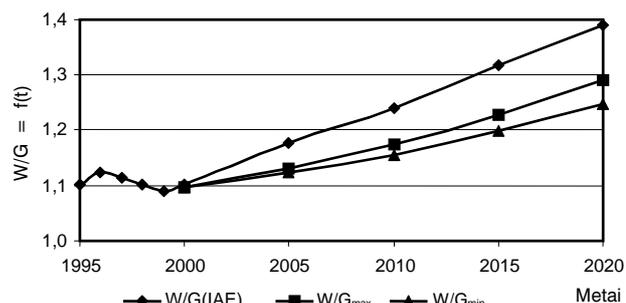
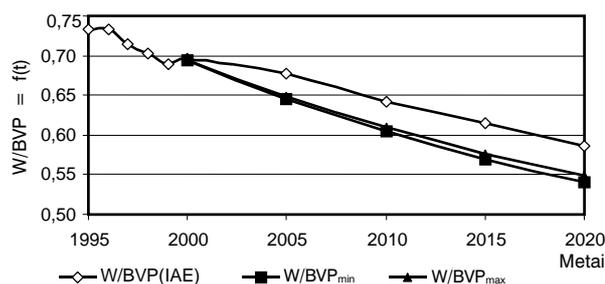
Palapsniui kinta ne tik energijos sąnaudų socialiniai ir ekonominiai rodikliai, bet ir energijos sąnaudų struktūra. Energijos sąnaudų struktūroje analizuojamais 1970–2000 m. gerokai mažėjo naftos, didėjo gamtinių dujų poreikiai. Apskritai energijos sunaudojimo vidutinis metinis prieaugis atskirais periodais sumažėjo nuo 3,35% (1970–1978 m.) iki 1,35% (1993–2000 m.), naftos – nuo 3,94 iki 1,32%, tuo tarpu gamtinių dujų poreikių prieaugis mažėjo palyginti lėčiau – nuo 3,59 iki 2,18%. Todėl struktūriniai regresijos modeliai pagrįstai gali būti taikomi ir atskirų energijos rūšių (naftos – N, gamtinių dujų – D) sunaudojimo modeliavimui (3 lentelė) bei prognozei.

Naftos ir gamtinių dujų pasaulio poreikių prognozės, esant įvairiems BVP scenarijams, parodytos 6 pav.

Pateikti energijos poreikių prognozavimo struktūrinių modelių rezultatai rodo, kad prog-



4 pav. Energijos sunaudojimo pasaulyje prognozių scenarijai

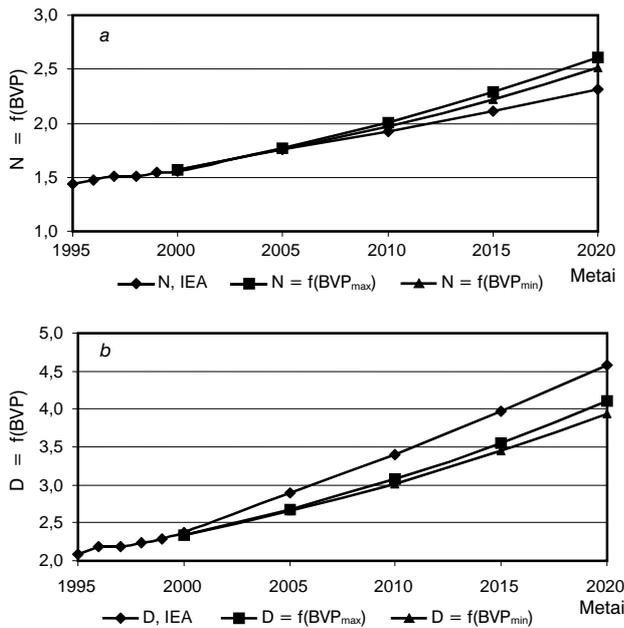


5 pav. Energijos sunaudojimo pasaulyje santykinų rodiklių prognozių scenarijai

nozių scenarijai ir perspektyvinės energijos sąnaudų santykinų rodiklių tendencijos, palyginti su IEA

3 lentelė. Gamtinių dujų ir naftos sąnaudų struktūrinių regresijos lygčių parametrai

Regresijos lygtis	Laiko intervalas (metai)	Lygties koeficientas		R	F	α
		a_0	a_1			
$D = f(BVP)$	1970–1978	0,280	0,738	0,992	449	0,000001
	1979–1983	0,444	0,557	0,954	31	0,0116
	1984–1989	-0,019	1,012	0,997	599	0,000017
	1990–1992	0,722	0,282	0,905	4	0,279
	1993–2000	0,168	0,822	0,974	111	0,000043
$N = f(BVP)$	1970–1978	0,206	0,818	0,975	133	0,000008
	1979–1983	2,568	-1,575	0,958	34	0,0102
	1984–1989	0,459	0,530	0,978	89	0,000709
	1990–1992	0,857	0,141	0,916	5	0,262
	1993–2000	0,378	0,621	0,998	1691	0,000001



6 pav. Natos (N) – a) ir gamtinių dujų (D) – b) sunaudojimo pasaulyje prognozių scenarijai

prognozėmis, gerai atitinka pastarojo dešimtmečio ataskaitinių duomenų kaitą. Todėl siūlomi struktūriniai regresijos modeliai sėkmingai gali būti taikomi tiek pasaulio integruotų energijos sąnaudų prognozavimui, tiek atskirų energijos rūšių perspektyviniams poreikiams nustatyti. Struktūriniai modeliai gali būti taikomi ir atskirų šalių, tarp jų ir Lietuvos, energijos poreikių prognozei, kai pereinamojo iš planinės į rinkos ekonomiką laikotarpiu ypač ryškūs struktūriniai pokyčiai.

6. IŠVADOS

1. Energijos sunaudojimo stochastiniai procesai nėra tolygūs – galima išskirti stabilaus prieaugio ir kritinius periodus. Atlikta energijos sunaudojimo pasaulyje 1970–2000 m. analizė rodo, kad energijos poreikių tendencijose ypač išsiskiria stabilios plėtros ir kritiniai (pasaulinės naftos kainų krizės, socializmo stovyklos žlugimo) periodai.

2. Energijos sąnaudų atskirais periodais identifikacijai matematiniais-statistinėmis metodais siūlomi struktūriniai regresijos modeliai. Atskirų periodų energijos poreikių būdingiems struktūriniams pokyčiams formalizuoti taikytini gabalais tiesiniai regresijos modeliai.

3. Atlikta pasaulio energijos sąnaudų identifikacija rodo, kad stabilios plėtros periodais poreikių prognozei pateikti struktūriniai regresijos modeliai sėkmingai gali būti taikomi 15–20 metų ir tolesnėje perspektyvoje. Tai rodo šių modelių pagrindu sudarytų prognozių scenarijų palyginimas su Tarptautinės energetikos agentūros (IEA) prognozėmis.

4. Energijos poreikių struktūriniai regresijos modeliai gali būti taikomi ir energijos sunaudojimo Lietuvoje prognozei, kur ypač ryškūs energijos sunaudojimo pokyčiai pereinamuoju iš planinio ūkio į rinkos ekonomiką laikotarpiu.

Gauta
2003 01 09

Literatūra

- 501PC0125(01). Proposal for Directive of the European Parliament and of the Council amending Directives 96/92/EC and 98/30/EC concerning common rules for the internal market in electricity and natural gas.
- Коновалов Ю. С., Крумм Л. А., Кугелевичюс И. Б. Определение обобщенных характеристик нагрузок сложных электроэнергетических систем // Известия АН СССР, Энергетика и транспорт. 1971. № 2. С. 82–92.
- Бусель Н. А., Кугелевичюс И. Б. Определение экономических характеристик себестоимости электроэнергии и их анализ // Электрические станции. 1972. № 5. С. 5–8.
- Кугелевичюс J. A. Energijos tiekimo sistemų valdymo modeliai ir sprendimai / Habilitacinio darbo santrauka. Kaunas, 2002. P. 52.
- <http://www.bp.com/downloads/index.asp>.
- IEA statistics. Energy prices & taxes.
- Energy Information Administration/Annual Energy Outlook 2002. 2002. P. 261.
- Уилкс С. Математическая статистика. Москва: Наука, 1967. 632 с.
- McGee V. E., Cartetion W. E. Piecewise Regression // J. Amer. Statist. Assoc. 1970. Vol. 65. N 331. P. 78–94.
- Кугелевичюс И. Б. Системный анализ функционирования и развития промышленной энергетики. 1. Структурные модели промышленного топлива- и энергопотребления // Труды АН ЛитССР. Сер. Б. 1988. Т. 3(166). С. 63–72.
- Кугелевичюс И. Б. Структурные модели управления промышленным энергопотреблением // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1990. № 3. С. 45–52.

Jonas Algirdas Kugelevičius, Algirdas Kuprys,
Jonas Kugelevičius

IDENTIFICATION OF STOCHASTIC ENERGY CONSUMPTION PROCESS

S u m m a r y

Identification of the stochastic energy consumption process with application of mathematical-statistical methods – structural regression models is offered. These models are applied to the identification and analysis of the world energy consumption tendencies in 1970–2000. The structural changes of world energy consumption in the period of a constant progress and critical fluctuations in the duration of the world oil price crisis and the Soviet Union downfall are identified. The structural regression models of world

energy consumption are formalized by using the piecewise regression methods. The proposed models are adapted to the world energy consumption long-term forecasts. The obtained forecasts are compared with the other forecasts to approve the world energy integrated consumption progress and its relative indicators or forecasts for separate energy resources (oil, natural gas).

Key words: energy, energy consumption, identification of energy consumption, forecast of energy consumption, mathematical-statistical methods of prognosis

Йонас-Альгирдас Кугелевичюс, Альгирдас Куприс, Йонас Кугелевичюс

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Р е з ю м е

Для идентификации стохастических процессов энергопотребления математико-статистическими методами предлагаются статистические методы регрессии.

Применяя эти методы, проводится анализ тенденций потребности в энергии мира за 1970–2000 годы и осуществляется идентификация структурных изменений этих тенденций из-за кризиса мировых цен на нефть, а также в результате развала социалистического лагеря. Структурные модели регрессии энергопотребления в мире формализованы с помощью методов определения параметров кусочно-линейных уравнений регрессии. Предложенные методы адаптированы к прогнозированию мирового энергопотребления. Полученные по этим моделям интегрированные прогнозы энергопотребления, а также перспективные значения потребности в отдельных видах энергии (нефть, газ), в т. ч. относительных показателей потребности в энергии, сопоставляются с другими инстанциями апробированными прогнозами.

Ключевые слова: энергия, энергопотребление, идентификация процессов энергопотребления, прогнозы энергопотребления, математико-статистические методы прогнозирования