

Energijos sąnaudų prognozės lyginamosios analizės metodais

**Jonas Algirdas Kugelevičius,
Algirdas Kuprys**

*Lietuvos energetikos institutas,
Energetikos kompleksinių tyrimų
laboratorija,
Breslaujos g. 3,
LT-44403 Kaunas*

Jonas Kugelevičius

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

Pateikti Europos Sąjungos (ES) šalių energijos sąnaudų 1981–1990 ir 1991–2000 m. tendencijų statistinės analizės rezultatai. ES šalys klasifikuotos bendrojo vidaus produkto, tenkančio vienam gyventojui, atžvilgiu. Analogiška klasifikacija taikyta ir santykinėms energijos sąnaudoms, tenkančioms vienam gyventojui.

Sudaryti santykiniai energijos sąnaudų tendencijų klasifikuotose ES šalių atskirose grupėse statistiniai modeliai, atlikta modeliavimo rezultatų lyginamoji analizė. Pateiktas apibendrintas santykinų energijos sąnaudų priklausomybės nuo santykinio bendrojo vidaus produkto pasiskirstymo atskirose grupėse matematinis modelis. Naudojant šį modelį imituojamos atitinkamo rodiklio Lietuvai perspektyvinės reikšmės, kurių pagrindu tiesioginio skaičiavimo būdu nustatytos energijos sąnaudų Lietuvoje 2005–2020 m. ilgalaikės prognozės.

Raktažodžiai: energijos sąnaudos, energijos sąnaudų matematiniai imitaciniai modeliai, energijos sąnaudų prognozės

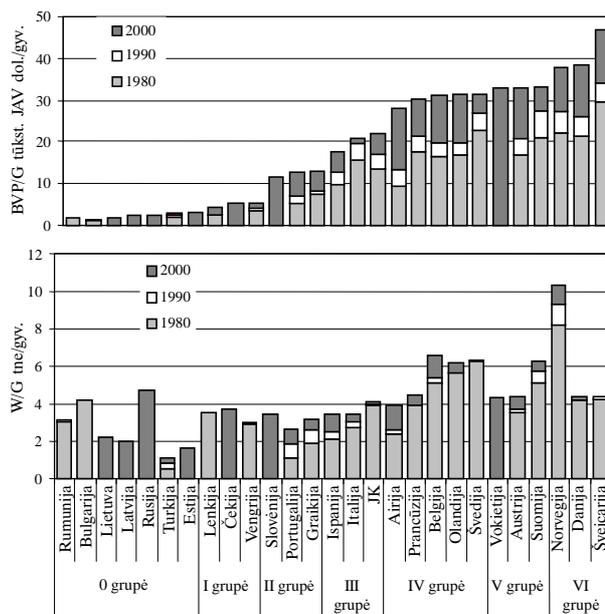
1. ĮVADAS. ENERGIJOS SĄNAUDAS VEIKIANČIŲ MAKROEKONOMINIŲ RODIKLIŲ PROGNOZĖS

Energijos sąnaudos tiesiogiai susietos su gyventojų skaičiaus (G) bei bendrojo vidaus produkto (BVP) rodikliais. Matematinės statistikos bei lyginamosios analizės metodais sudarytos ilgalaikės šių stochastinių [1] rodiklių prognozės Lietuvoje pakoreguotos straipsniuose [2, 3]. Parodyta, kad artimesnėje bei tolimesnėje perspektyvoje gyventojų Lietuvoje pastoviai mažės – 2020 m. net iki 2,8–3,0 mln., t. y. iki 1970 m. lygio. Šios neigiamos tendencijos susietos tiek su aktyvia migracija Lietuvai įstojus į ES, tiek su socialiniu ekonominiu nuosmukiu pereinamosios ekonomikos metais.

Nacionalinės energetikos strategijos (NES) [4, 5] scenarijams alternatyvios BVP prognozės [3] sudarytos, atsižvelgiant į Lietuvos įstojimą į ES ir lūkestį kuo greičiau pasiekti bent jau žemiausią rinkos ekonomikos šalių pažangos lygmenį. Tuo tikslu Europos pereinamosios ir rinkos ekonomikos šalys matematinės statistikos metodais suskirstytos į 7 grupes BVP/G santykinio rodiklio atžvilgiu. Modeliuojant BVP/G tendencijas statistiniais metodais bei identifikuojant Lietuvos situaciją kitų grupių atžvilgiu parodyta, kad Lietuvai visiškai integruojantis į ES BVP metinis prieaugis artimiausiais dešimtmečiais turėtų būti 9–10%. Net šiuo atveju 2020 m. pagal BVP/G absoliutų dydį Lietuva tik priartės prie II grupės šalių (Slovėnija, Portugalija, Graikija) 1990 m. lygio.

2. ENERGIJOS SĄNAUDŲ IDENTIFIKACIJA LYGINAMOSIOS ANALIZĖS METODAIS

Energijos sąnaudų (W) identifikacijai taikoma priimta pereinamosios ir rinkos ekonomikos Europos šalių klasifikacija [3] BVP/G rodiklio atžvilgiu. BVP/G bei W/G santykinų rodiklių tendencijos 1980, 1990, 2000 m. pjūviuose atskirose grupėse pateiktos 1 pav.



1 pav. Pereinamosios ir rinkos ekonomikos valstybių klasifikacija BVP/G bei W/G rodiklių atžvilgiu

Nagrinėjami stochastiniai W , G , BVP procesai kinta laike t . Be to, šie procesai, ypač W ir G bei BVP tarpusavyje glaudžiai susieti. Todėl, sudarant ilgalaikes prognozes, būtina analizuoti stochastines priklausomybes tiek laiko

$$G = f(t), BVP = f(t), W = f(t), \quad (1)$$

tiek atskirų procesų atžvilgiu

$$W = f(G), W = f(BVP), W = f(G, BVP). \quad (2)$$

Šių priklausomybių dėsningumai nėra determinuoti ir kinta tiek erdvės–teritorijos, tiek laiko atžvilgiu [6]. Formalizuojant šias stochastines priklausomybes matematiniais statistiniais modeliais, panaudoti ES šalių bei Lietuvos atitinkami ataskaitiniai statistiniai 1980–2001 m. duomenys. Pažymėtina, kad Tarptautinės energetikos agentūros – International Energy Agency (IEA) duomenų bazė, palyginti su kitomis duomenų bazėmis, pvz., British Petroleum (BP), integruočiausia – pilniausia ir geriausiai pritaikyta energetikoje sprendžiamų sistemų techninio reguliavimo uždavinių atžvilgiu. Todėl IEA duomenų bazė ir buvo naudojama įvairių šalių energijos sąnaudų lyginamajai analizei.

Pažymėtina, kad žlugus socializmo stovyklai, perėinant nuo planinio prie rinkos ekonomikos modelio, 1980–2001 m. įvyko ryškus nagrinėjamų procesų tendencijų lūžis [1]. Todėl analizuojamos stochastinės priklausomybės formalizuotos dviem, 1981–1990 ir 1991–2000 metų, etapais.

Stochastiniai procesai sistemų techninio reguliavimo apimtyje, priklausomai nuo sprendžiamų socialinių ekonominių uždavinių, procesų analizės tikslų, atsitiktinių įvykių δ atžvilgiu, skirstomi į nepriklausomus $X(t, \delta)$ ir priklausomus $Y(t, \delta)$ kintamuosius. Nagrinėjamų stochastinių procesų (G , BVP , W) kaita laiko t atžvilgiu formalizuojama dinaminėmis laiko eilutėmis-realizacijomis

$$y_{i,t}, x_{i,t}, i = 1, 2, 3, t = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Pasyvaus eksperimento atveju laiko eilučių realizacijos – tai statistiniai ataskaitiniai diskretiniai duomenys, registruojami lygiais laiko intervalais Δt . Registracijos dažnumą sąlygoja žmonijos reguliuojamų techninių ir ekonominių sistemų operatyvaus, trumpalaikio bei ilgalaikio valdymo sprendžiamų uždavinių hierarchija.

Sistemų ilgalaikio valdymo, 10–20 metų perspektyvoje sprendžiamų uždavinių laiko hierarchijoje, paprastai naudojami mėnesiniai bei metiniai statistiniai ataskaitiniai duomenys. Sudarant ilgalaikes nagrinėjamų procesų W , G , BVP Lietuvoje prognozes, kaip pradinė informacija panaudoti Lietuvos statis-

tikos departamento ir žymiausių tarptautinių organizacijų (IEA, BP ir kt.), reguliariai registruojami bei apibendrinami, statistiniai ataskaitiniai duomenys.

Naudojant matematinės statistikos metodais retrospektyvoje formalizuotas stochastines priklausomybes, energijos sąnaudų W ilgalaikės prognozės gali būti nustatytos tik esant nepriklausomų kintamųjų galimų tendencijų scenarijams. Šie scenarijai formuojami sudarytuose matematinuose imitaciniuose modeliuose, imituojant nepriklausomų kintamųjų perspektyvinius pokyčius, atspindinčius žmonijos socialinius siekius – pažangos tendencijas. Šiuose matematinuose imitaciniuose modeliuose, naudojantis retrospektyvoje suformuotomis procesų realizacijomis – laiko eilutėmis ir jų statistinėmis priklausomybėmis, stochastinės nagrinėjamų procesų priklausomybės paprastai formalizuojamos modeliuojamų a_0 , a_1 parametrų atžvilgiu tiesinėmis regresijos lygtimis

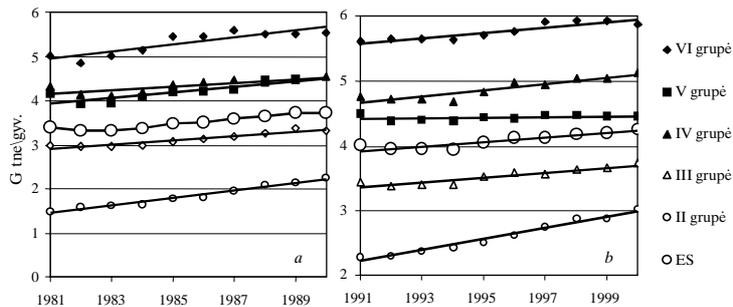
$$y = a_0 + a_1 x_1. \quad (4)$$

Šių regresijos lygčių atitikimas realiems procesams – reikšmingumas vertinamas analizuojamų veiksnių tarpusavio priklausomybės glaudumo rodikliu – koreliacijos koeficientu R , modelio paklaidų nulinės hipotezės dispersinės analizės Fišerio kriterijaus F reikšmėmis bei paklaidos tikimybe. Visi šie kriterijai parodo suformuoto statistinio modelio priimtumą techninių sistemų reguliavimo sprendžiamų uždavinių atžvilgiu. Jei suformuoti statistiniai modeliai analizuojamų stochastinių procesų socialinės pažangos tendencijų formalizacijai nepriimtini, tuomet atskirai šaliai modeliuojamų procesų W , BVP , G prognozei gali būti taikomi globalūs lyginamosios analizės metodai bei modeliai. Tai ypač svarbu Lietuvai, kai užsitęsusių pereinamojo, krizinio laikotarpio tendencijos nepakankamos rinkos ekonomikos pažangai formalizuoti.

Nagrinėjamų realių stochastinių procesų W , BVP , G priimtos klasifikacijos apimtyje atlikta statistinė analizė rodo, kad įvairių šalių santykinų rodiklių W/G skirtumai atskirose grupėse, palyginti su BVP/G , yra neryškūs. Tai rodo ir santykinų rodiklių W/G 1991–2000 m. statistiniai modeliai (2 pav.).

Statistinei analizei panauduose 1981–1990 ir 1991–2000 m. intervaluose sumodeliuotos W/G tendencijos rodo, kad W/G dinamikos skirtumas tarp II–VI grupių šalių – esminis. Tačiau IV–V grupių šalių W/G tendencijos 1981–1990 m. skiriasi nedaug. Be to, IV grupės šalys W/G atžvilgiu tiek absoliučiu dydžiu, tiek prieaugiu jau pranoksta V grupės šalis.

Apskritai pateikti $W/G = f(t)$ tendencijų modeliai rodo, kad visose grupėse energijos sąnaudos vienam gyventojui kiekvienais metais pastoviai didėja. Tačiau modeliuojant energijos sąnaudas vis dėlto es-



2 pav. Rinkos ekonomikos klasifikuotų valstybių W/G rodiklio dinamika: *a* – 1981–1990 m., *b* – 1991–2000 m.

minis klausimas yra santykinis energijos sąnaudų mažėjimas BVP vienetui, t. y. W/BVP rodiklio tendencijos. Šios tendencijos daugiausia sąlygoja energijos sąnaudų efektyvumą – energijos sąnaudų mažinimui taikomų priemonių veiksmingumą.

Energijos sąnaudų efektyvumui įvertinti naudojamas kompleksinis modelis

$$W/G = f(BVP/G), \quad (5)$$

nustatantis pagrindinių santykinų rodiklių W/G ir BVP/G statistinę priklausomybę, jų dinamiką laiko t atžvilgiu. Šiuo modeliu įvertinamas santykinis energijos sąnaudų didėjimas BVP atžvilgiu, t. y. dalinai nustatomos ir priklausomybės $W/BVP = f(t)$ tendencijos.

Matematinės statistikos metodais nustatyti (5) modelio pagrindiniai parametrai – tiesinės regresijos koeficientai a , koreliacijos koeficientai R , Fišerio kriterijaus reikšmės F , nulinės hipotezės paklaidos tikimybės α bei pirmosios išvestinės dy/dx reikšmės – pateikti 1 lentelėje.

dėl šie modeliai pagrįstai gali būti naudojami identifikuojant tiek Vakarų Europos šalių, tiek Lietuvos W/G perspektyvines reikšmes, ypač Lietuvai integruojantis į ES.

3. ENERGIJOS SĄNAUDŲ LIETUVOJE MATEMATINIAI IMITACINIAI MODELIAI BEI PROGNOZĖS

Nepriklausomoje Lietuvoje 1990–1994 m. energijos sąnaudos kritiškai mažėjo. Epizodinis santykinų energijos sąnaudų vienam gyventojui W/G didėjimas stebėtas tik 1996–2001 m. Šiuo periodu, atmetus Lietuvos ekonomikos raidos specifines, nebūdingas 1999 m. tendencijas, energijos sąnaudų pirmoji išvestinė $d(W/G) = 0,47$ tne/gyv.

Atliktos sisteminės analizės pagrindu buvo nustatyta, kad energijos sąnaudų prognozei tikslinga naudoti ne tiesiogines pirmosios išvestinės $d(W/G)$ reikšmes, bet specifinius santykinus rodiklius – $d(W/G)/d(W/G)$. Tuomet, atsižvelgiant į W/G ir BVP/G tiesioginę priklausomybę, erdvės-teritorijos atžvilgiu galima modeliuoti stochastines lygtis

$$d(W/G) / d(BVP/G) = f(BVP/G) \quad (6)$$

arba

$$d(W/G) / d(BVP/G) \cdot f(BVP/G). \quad (7)$$

Toks specifinis W ir BVP ES šalių ir Lietuvos santykinų rodiklių erdvės-teritorijos hierarchijos modelis parodytas 3 pav. Iš gautų modeliavimo rezultatų matyti, kad santykinų rodiklių $d(W/G) / d(BVP/G)$ ir BVP/G stochastinės priklausomybės gali būti pa-

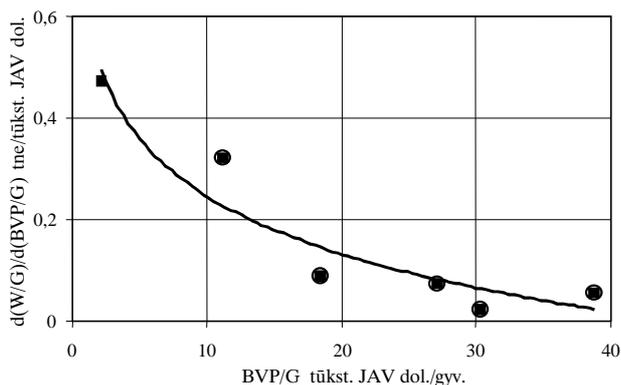
1 lentelė. Rinkos ekonomikos klasifikuotų valstybių priklausomybės $W/G = f(BVP/G)$ statistikos

1981–1990 m.							1991–2000 m.						
Grupė	regresijos koeficientas		statistikos			dy/dx	Grupė	regresijos koeficientas		statistikos			dy/dx
	a_0	a_1	R	F	α			a_0	a_1	R	F	α	
2	-1,54	0,503	0,973	140	2,4E-06	0,58	2	-0,56	0,282	0,953	79,1	2,0E-05	0,32
3	1,39	0,117	0,985	254	2,4E-07	0,10	3	1,67	0,100	0,965	109,0	6,0E-06	0,09
4	2,38	0,103	0,821	16,5	3,6E-03	0,06	4	2,57	0,085	0,912	39,7	2,3E-04	0,07
5	1,77	0,118	0,862	20,2	2,8E-03	0,07	5	4,02	0,014	0,435	1,87	2,1E-01	-0,01
6	1,23	0,149	0,941	62,2	4,8E-05	0,11	6	3,10	0,068	0,921	44,7	1,6E-04	0,05
ES	1,48	0,125	0,969	125	3,7E-06	0,10	ES	2,25	0,077	0,949	73	2,7E-05	0,06

Pateikti rezultatai rodo, kad W/G priklausomybės nuo BVP/G tendencijos pakankamai gerai aprašomos pateiktais modeliais – koreliacijos koeficientai artimi vienetui, paklaidos tikimybės mažos. To-

kankamai tiksliai aproksimuotos logaritmine netiesine priklausomybe

$$y = -0,1646 \ln(x) + 0,6244. \quad (8)$$



3 pav. ES klasifikuotų šalių ir Lietuvos specifinių rodiklių priklausomybės 1991–2000 m. modelis

Pateikti modeliavimo rezultatai byloja, kad kylant pragyvenimo socialiniam lygmeniui, energijos ir BVP santykiniai rodikliai gyventojų atžvilgiu pastoviai, tačiau netiesiškai, mažėja. Taigi energijos mažinimo priemonės gyventojų atžvilgiu efektyvesnės ekonomiškai atsilikusiose šalyse. Ekonomiškai išsivysčiusiose šalyse šis procesas lėtėja eksponentiškai, o tai rodo, jog energijos sąnaudų efektyvumas kylant pragyvenimui, palaipsniui mažėja. Naudojantis netiesine regresijos lygtimi (8), esant žinomiems, modeliuotiems BVP / G scenarijams, kiekvienai ES grupei ir Lietuvai [3] galima apskaičiuoti specifinio rodiklio $d(W/G) / d(BVP/G)$ reikšmes. Tokios šio specifinio rodiklio perspektyvinės reikšmės Lietuvai ilgalaikio reguliavimo laiko hierarchijos atskiruose etapuose (2005–2020 m.) pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Specifinio rodiklio $d(W/G) / d(BVP/G)$ Lietuvai modeliuoti scenarijai

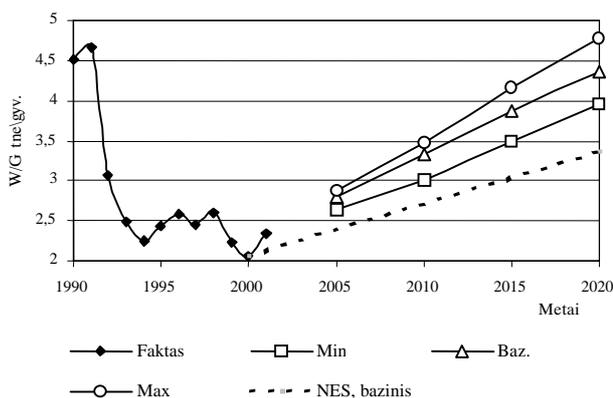
Metai	BVP/G tūkst. JAV dol./gyv.			$d(W/G) / d(BVP/G)$ tne/tūkst. JAV dol.		
	min	baz.	max	min	baz.	max
2000	2,17	2,17	2,17	0,54	0,54	0,54
2005	2,97	3,33	3,53	0,49	0,47	0,46
2010	3,77	4,58	5,03	0,45	0,41	0,40
2015	5,02	6,08	7,03	0,40	0,37	0,34
2020	6,27	7,58	9,03	0,36	0,33	0,30

Tuomet atskiruose laiko etapuose tiesioginiu skaičiavimu [6], esant priimtiems BVP/G ir $d(BVP/G)$ scenarijams, palaipsniui nustatomos rodiklio W/G prognozės (3 lentelė, 4 pav.) bei, panaudojant gyventojų skaičiaus perspektyvinius scenarijus, energijos sąnaudų W prognozės (5 pav.).

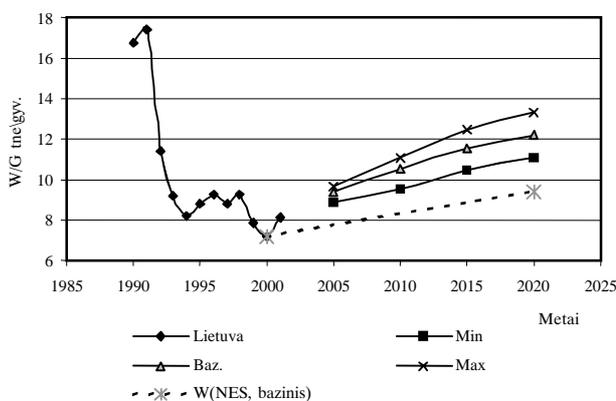
Matematiniais imitaciniais modeliais gautos energijos sąnaudų prognozės palygintos su Nacionalinės energetikos strategijos bazinio scenarijaus perspek-

3 lentelė. Energijos sąnaudų prognozių scenarijai

Metai	W/G tne/gyv.			W mln. tne			W (NES, bazinis)
	min	baz.	max	min	baz.	max	
2000	2,05	2,05	2,05	7,21	7,21	7,21	7,21
2005	2,64	2,80	2,88	8,85	9,37	9,65	
2010	3,00	3,31	3,48	9,51	10,52	11,03	
2015	3,50	3,87	4,16	10,44	11,55	12,44	
2020	3,95	4,36	4,77	11,05	12,20	13,34	9,40



4 pav. Lietuvos W/G sąnaudų prognozės

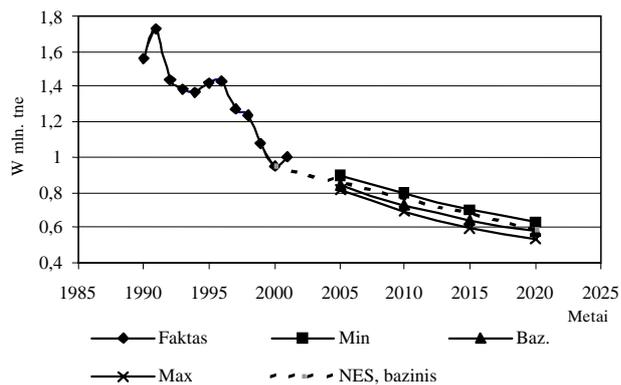


5 pav. Lietuvos pirminės energijos sąnaudų prognozės

tyvinėmis reikšmėmis. Pateikti duomenys rodo, kad NES pateiktos energijos sąnaudų prognozės bazinio scenarijaus atveju galėtų būti didesnės – 2020 m. apie 3 mln. tne.

Naudojant pateiktas pirminės energijos W bei BVP [3] prognozes, nustatyti ir energijos imlumo perspektyviniai scenarijai (6 pav.). Pateiktos energijos imlumo prognozės rodo, kad energijos imlumo mažėjimo tendencijos Lietuvoje visiškai atitinka europines tendencijas (3 pav.), t. y. kylant pragyvenimo lygiui energijos imlumas mažėja eksponentiškai.

Pažymėtina, kad sistemų reguliavimo erdvės hierarchijos kriterijaus atžvilgiu energijos sąnaudoms nemažą įtaką turi ir tarifų dydis. Tokius tyrimus nu-



6 pav. Energijos imlumo prognozės

matoma tęsti, koreguojant šioje studijoje pateiktas energijos sąnaudų prognozes. Tačiau energijos rinkos kainų ilgalaikės prognozės, naudojamos atitinkamų priklausomybių matematinio imitacinio modeliavimo tikslams, bei jų patikimumas daugeliu atvejų neapibrėžtas. Ypač tai būdinga asocijuotoms į ES šalims, tarp jų ir Lietuvai [7]. Todėl energijos sąnaudų prognozėse energijos rinkos kainų įvertinimas iš esmės gali tik praplėsti bazinio scenarijaus ribas, t. y. pakeisti min. bei max. reikšmes.

4. IŠVADOS

1. Atlikta santykinų energijos sąnaudų, tenkančių vienam gyventojui ES šalyse, lyginamoji statistinė analizė, pateikti santykinų energijos sąnaudų tendencijų atskirose ES šalių grupėse statistiniai modeliai.

2. Sudarytas apibendrintas santykinų energijos sąnaudų priklausomybės nuo santykinio bendrojo vidaus produkto pasiskirstymo atskirose grupėse matematinis modelis.

3. Naudojant atlikto matematinio imitacinio modeliavimo rezultatus, tiesioginiu skaičiavimu nustatytos energijos sąnaudų Lietuvoje ilgalaikės prognozės 2005–2020 m. perspektyvai.

Gauta
2003 10 02

Literatūra

1. Kugelevičius J. A., Kuprys A., Kugelevičius J. Stochastinių energijos sunaudojimo procesų identifikacija // Energetika. 2003. Nr. 4. P. 42.
2. Kugelevičius J. A., Kuprys A. Energetikos raidos veiksnių tendencijos ir prognozės // Elektrotechnika. 2001. Nr. 25(34). P. 64–69.
3. Kugelevičius J. A., Kuprys A., Kugelevičius J. Energetikos raidą įtakančių veiksnių prognozės // Energetika. 2004 (įteikta spaudai).
4. Nacionalinė energetikos strategija 2002. Lietuvos energetikos institutas, 2003. P. 44.

5. Nacionalinė energetikos strategija. Lietuvos Respublikos Seimas. 2002 m. spalio 10 d. nutarimas. Nr. IX-1130.
6. Kugelevičius J. A. Energijos tiekimo sistemų valdymo modeliai ir sprendimai. Habilitacinio darbo santrauka. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, 2002. P. 52.
7. Kugelevičius A., Kuprys A., Kugelevičius J. Energijos kainų prognozės // Energetika. 2004 (įteikta spaudai).

Jonas Algirdas Kugelevičius, Algirdas Kuprys,
Jonas Kugelevičius

ENERGY CONSUMPTION FORECAST BY METHODS OF COMPARATIVE ANALYSIS

S u m m a r y

A statistical analysis of energy consumption tendencies in European Union (EU) countries in 1981–1990 and 1991–2000 is presented. The EU countries are classified by relative indicators of gross domestic product in respect to one inhabitant. A similar classification is applied to relative indicators of energy consumption in respect to one inhabitant. Statistical models of relative energy consumption tendencies in separate groups of classified EU countries are proposed and a comparative analysis is carried out. The mathematical models of the summarized distribution relationship by relative indicators of energy consumption and gross domestic product in separate groups are presented. A long-term (2005–2020) prognosis of energy consumption in Lithuania is calculated directly, adapting this model to the simulated mean values of a corresponding index.

Key words: energy consumption, energy consumption mathematical simulation models, energy consumption forecast

Йонас Альгирдас Кугелевичюс, Альгирдас Куприс,
Йонас Кугелевичюс

ПРОГНОЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МЕТОДАМИ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

Р е з ю м е

Представлены результаты статистического анализа тенденций относительных показателей энергопотребления на одного жителя в странах Европейского Союза (ЕС). Страны ЕС классифицированы относительно доли валового продукта на одного жителя. Аналогичная классификация применена и к относительным показателям энергопотребления. Разработаны статистические модели относительных показателей энергопотребления для отдельных классифицированных групп стран ЕС, проведен сравнительный анализ результатов моделирования. Представлена обобщающая математическая модель распределения зависимости относительного энергопотребления от доли валового продукта на одного жителя для отдельных групп стран ЕС. На основе этой модели имитированы перспективные значения данного показателя для Литвы и используя эти значения, способом прямого счета, установлен долгосрочный прогноз энергопотребления Литвы на 2005–2020 гг.

Ключевые слова: энергопотребление, математические имитационные модели энергопотребления, прогноз энергопотребления