

# Elektros iðteklø naudojimo pramonës ámonëje modelis

## Piotras Bachanovas

*Lietuvos energetikos institutas,  
Sistemø valdymo ir automatizavimo  
laboratorija, Breslaujos g. 3,  
LT-44403 Kaunas*

Pasiûlytas matematinis modelis, ávertinantis lokalines energijos sànaudas. Ðis modelis gali bûti integruotas á pramonës ámonëse esanëias kompiuterizuotas energijos apskaitos ir monitoringo sistemas. Ðiuo algoritmu gali bûti sprendþiamas optimalus uþduoëiø paskirstymas tarp ámonëse naudojamø technologiniø árenginiø, o tai leis ámonëms taupiau naudoti esamus energijos iðteklius, efektyviau vartoti energijà bei gerinti aplinkosaugos rodiklius.

**Raktaþodþiai:** Lagranþo daugiklis, lokalinės energijos sànaudos, optimalus uþduoëiø paskirstymas, technologinë operacija

## 1. ÁVADAS

Didëjant energijos iðteklø vartojimui, iðkyla jø efektyvaus panaudojimo problema, o tai leidþia sumaþinti neigiamà poveikà aplinkai bei taupiau naudoti esamas þaliavas. Ðiandien efektyvus energijos iðteklø panaudojimas yra vienas svarbiausiø pasaulinio lygio energetikos ir aplinkosaugos uþdavinio. Tai ypaè svarbu stambiems energijos vartotojams, tokiems kaip pramonës ámonës.

Siekiant efektyvesnio energijos vartojimo pramonës ámonëse, tuo paèiu minimizuojant ávairiø terðalø iðmetimà á atmosferà, reikia ávertinti pramonës ámonëse naudojamø árenginiø sudëtá ir ámoniø technologinius darbo reþimus.

Kiekvienoje ámonëje skiriasi naudojami árenginiai, jø kiekis ir technologiniai darbo reþimai. Energijos taupymo galimybës kiekvienoje ámonëje priklauso nuo atskirø naudojamø technologiniø árenginiø darbo efektyvumo ir tinkamø eksploataavimo sàlygø.

Ðiame straipsnyje pateikiamas modelis, kuriuo pramonës ámonës galës tiksliau ávertinti vartojamus elektros iðteklius, kartu tai leis imtis priemoniø efektyviau vartoti energijà.

## 2. TYRIMO OBJEKTAS

### Energijos vartojimo pramonës ámonëje struktûrinë schema

Energijos vartojimo sistema pramonës ámonëje apima visus ámonës energijos vartotojus, tiesiogiai (technologiniai árenginiai) arba netiesiogiai (administracija, sandëliai ir kt.) susijusius su gamyba. Norint realiausiame laike matyti technologinio proceso vyksmà, bûtina kontroliuoti, kaip valdomi energijos poreikiai.

Kompiuterizuotos energijos apskaitos ir valdymo sistemos (KEAVS) pagrindinë funkcija – kontroliuojant, kaip energija vartojama ámonëje, padëti dispeèeriui maþinti gamybos iðlaidas energijos iðtekliais. Pati sistema turi atitinkamà programiná bei matematinà aprûpinimà, todël ið visø matavimo taðkø galima rinkti energijos suvartojimo rodiklius bei pateikti ðià informacijà dispeèeriui.

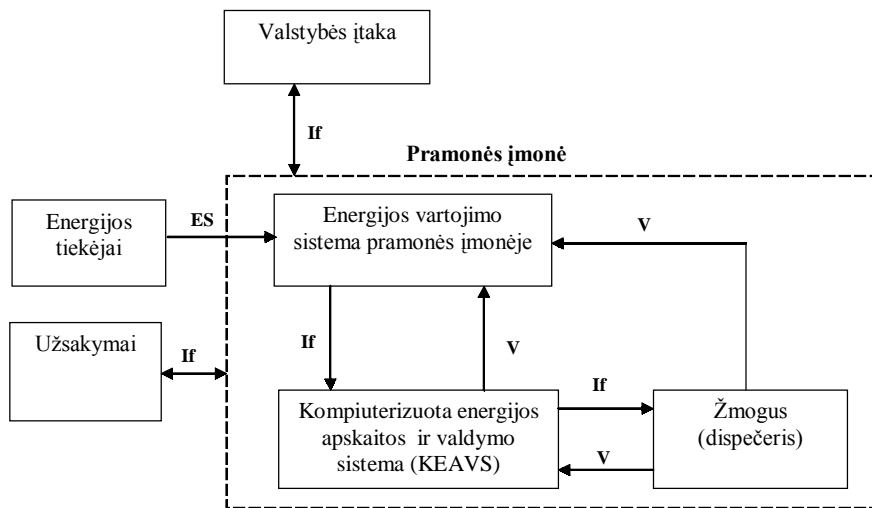
KEAVS yra aprûpinta atitinkamais matematiniais modeliais, kurie padeda dispeèeriui:

- atlikti optimalø uþduoëiø paskirstymà tarp technologiniø árenginiø,
- lyginti energijos suvartojimo rodiklius su nustatytomis normomis visuose matavimo taškuose,
- prognozuoti energijos suvartojimà,
- spræsti kitus uþdavinius.

Dispeèeris, analizuodamas gaunamus duomenis ið KEAVS, kontroliuoja, kaip naudojami energijos iðtekliai viso technologinio proceso metu. Ðio proceso metu gali atsirasti energijos suvartojimo nuokrypiai nuo nustatytø normø. Esant didelëms nukrypimams, þmogus (dispeèeris) gali pasinaudoti KEAVS viduje esanëiomis paramos dispeèeriui priemonëmis. Ðmogaus vaidmuo – galutinio sprendimo priëmimas, jis gali arba pasirinkti ið KEAVS siulomø problemos sprendimo alternatyvø, arba priimti kità sprendimà siekiant taupiau naudoti energijos iðteklius.

### Tiksiai ir kriterijai

Vienas pagrindiniø efektyvaus energijos vartojimo kriterijø gali bûti energijos intensyvumas, t. y. ámonës energijos suvartojimas produkcijos vienetui pagaminti. Tuo bûdu pagrindinis siekiamas tikslas formuluojamas, kaip bûtinybë maþinti energijos intensyvumà.



**Pav.** Tyrimo objekto schema. ES – energijos srautai, If – informacijos srautai, V – valdymas

Priklausomai nuo pramonės ūmonės specifikos gali būti nustatomi ir kiti kriterijai bei tikslai, geriau atitinkantys konkrečias realias situacijas arba ūmonės technologijos specifiką:

- kriterijus – ūmonės apmokamos sumos už energijos ištekliaus naudojimą, tikslas – energetinio išlaidų mažinimas;
- kriterijus – energijos intensyvumas (atliekama prognozė), tikslas – optimalus technologinio proceso tvarkymas, siekiant mažinti pinigines išlaidas suvartojamiems ištekliaus.

**Išoriniai poveikiai**

Nagrinėjant bet kurią pramonės ūmonę ir joje vykstančius procesus reikia įvertinti valstybės įtaką šios ūmonės veiklai. **Valstybės įtaka** pasireiškia per atitinkamą įstatymą ir kitą teisiniu aktu leidybą bei reikalavimus juos vykdyti. Įstatymai reglamentuoja paėios ūmonės veiklos sferas, aplinkosaugos normų vykdymą ir kitus aspektus.

Kitas svarbus aspektas, turintis įtakos sėkmingai ūmonės veiklai, yra **užsakymai**. Tai yra ūmonėje gaminamos produkcijos kiekis, kokybės reikalavimai, sėkminga ūmonės marketingo politika ir vadyba.

**3. MODELIO SUDARYMAS**

Pasaulyje yra sukurta įvairių matematinių modelių, kuriais siekiama optimaliai paskirstyti išduotis tarp technologinių įrenginių, sumažinti energijos sąnaudas produkcijos vienetui pagaminti. Šiuose modeliuose autoriai analizuoja ūmonės technologinių įrenginių vidutinę energijos sąnaudas visai gamybos operacijai atlikti.

Autoriaus pateikiamas modelis atspindi tam tikru požiūriu svarbius aspektus, bet tenka naudoti tam tikrą abstrakciją, išryškinant svarbesnius ir pralei-

džiant mažesnę įtaką turintiems veiksnius [1]. Sudarant šią modelį darbo autorius dėl tam tikro duomenų trūkumo turėjo taikyti kai kurias prielaidas, kurios bus pateiktos toliau.

Pateiktas modelis skirtas tokiems technologiniams procesams, kai vienetiniam produktams pagaminti reikia daug energijos ir laiko. Šis modelis netaikomas konvejerinės gamybos atveju ir kai nėra galimybės keisti vieną technologinį įrenginį kitu.

Šio darbo autorius, kitaip negu kiti autoriai [2–5], įvertina papildomą parametrą – lokalines energijos

sąnaudas, t. y. tam tikro pramonės ūmonės technologinio įrenginio elektros energijos sąnaudas konkrečiai detalei pagaminti. Šis parametras yra aktualus tais atvejais, kada ūmonėje gaminami vienetiniai gamybos produktai, reikalaujantys daug laiko ir energijos.

Analizuojant lokalinių energijos sąnaudas rodiklą ir pagal jį stebint energijos suvartojimą, optimalaus gamybos išduoėių paskirstymo tarp įrenginių išdavins gali būti suformuluotas šitaip.

Tarkime, yra pramonės ūmonė, kurioje skirtingo tipo ir paskirties įrenginiai naudoja elektros energijos išteklius bei įdiegta kompiuterizuota energijos apskaitos ir valdymo sistema (KEAVS). Pramonės ūmonėje arba atskirame jos padalinyje atliekama  $m$  skirtingų technologinių operacijų. Panagrinėsime vieną iš tų operacijų, kurią pavadinsime  $x$ . Tegul atliekant  $x$  operaciją gaminamos  $a$  detalės, o gaminant šias detales dirba  $z$  technologinių įrenginių, kiekvienas kurių vienai tokiai detalei pagaminti suvartoja atitinkamą kiekį elektros energijos.

Technologinę operaciją  $x$  nepriklausomai vienas nuo kito atlieka atskiri įrenginiai  $y_i$  turintys numerą  $(y_1 - y_z)$ . Kiekvienas iš šių įrenginių turi savo vidutinę operacijos atlikimo trukmę  $t(y_1) - t(y_z)$  ir vidutinę energijos sąnaudas vienai detalei pagaminti –  $\omega_{y_i}(x)$ .

Didesnis informatyvumas pasiekiamas, jeigu analizuosime kitą dydį –  $v(x, y_i)$ , apibūdinantį lokalines įrenginio elektros energijos sąnaudas.

Panaudodamas šią dydį autorius individualizuos energijos sąnaudas konkrečiai detalei pagaminti. Įvertinus kelias pramonės ūmones, nustatyta, kad šis dydis priklauso nuo naudojamo technologinio įrenginio ir kitų veiksnių.

1. Galimø nenumatyto arba numatyto technologijoje pertraukėlių intervalai vykdamas  $x$  operaciją, kai tam tikrais laiko momentais ÷renginys dirba tuðiai:

$$v(x, y) = f(dt); \quad (1)$$

èia  $dt$  – pertraukėlių intervalai vykdamas  $x$  operaciją.

Numatytos technologijoje pertraukėlės yra lengvai ÷vertinamos, nes yra þinomos, bet iðkyla problemø norint ÷vertinti nenumatytas prastovas. Vienas bûdø tai atlikti yra þmogaus polinkio ÷vertinimas apklausiant darbuotojus norint iðryðkinti ÷iuos veiksnius. Tarkime, yra þinoma, kad tuo paèiu ÷renginiu gali dirbti du darbuotojai. Tuomet atsakingesnio darbuotojo nenumatytos pertraukėlės per darbo pamainà sudaro laikà  $\Delta t_1$ , o maþiau atsakingo darbuotojo –  $\Delta t_2$ .

2. Technologinis ÷renginys prieš pradèdant  $x$  operaciją. Pavyzdþiui, jeigu pagal technologiná procesà  $a$  detalės gamyba reikalauja, kad ÷renginys bûtø ÷ilgas, tai pirmajai detalei pagaminti energijos sànaudos bus didesnes, nei vèliau gamina-

$$v(x, y) = f(b); \quad (2)$$

èia  $b$  – ÷renginio bûklė prieš pradèdant  $x$  operaciją.

3. Kelio operacijø atlikimas vienu metu. Jeigu gaminant  $a$  detalę ÷renginys tuo paèiu metu vykdo ir kitos –  $x_1$  operacijos uþduotà, gamindamas kità produktà, tai energijos sànaudos mus dominanèiai  $a$  detalei bus maþesnės:

$$v(x, y) = f(x_1). \quad (3)$$

Ámonės tikslas – paskirstyti gamybinaø programà ÷renginiams taip, kad kiekvienas ÷renginys, kuris bus naudojamas  $x$  operacijos metu, atliktø ÷ià operacijà tiek kartø, kad ámonės suminës energijos sànaudos operacijai atlikti bûtø minimalios.

Funkcija, uþtikrinanti ÷à tikslà, matematiðkai turi atrodyti taip:

$$\omega_0(x) = f(y_1 \dots y_z) = \sum_{y=1}^{y=z} q(y_i) \cdot \omega_{y_i}(x) \rightarrow \min; \quad (4)$$

èia  $y_1, y_z$  – naudojami technologiniai ÷renginiai,  $q(y)$  – ÷renginio gaminamø detaliø kiekis.

Ið (4) formulės matyti, kad bendrosios ámonės energijos sànaudos  $x$  operacijai atlikti priklausys nuo to, kiek ir kokio ÷renginio dirba ir kiek detaliø kiekvienas jø gamina.

Siekiant sumaþinti bendràsias ámonės energijos sànaudas, reikia ÷vertinti, kad tikslo funkcijai galioja ÷ie apribojimai:

$$0 < q(y_1) t(y_1) \dots + \dots + q(y_z) t(y_z) \leq T, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^z q(y_i) = A; \quad (6)$$

èia  $t(y_1) - t(y_z)$  – ÷renginio darbo laikas vienai detalei pagaminti,

$T$  – kontrakte su uþsakovu numatytas gamybos laikas,

$A$  – pagamintinos detalės pagal gamybos programà.

Atliekant ámonėje eilinà kartà  $x$  operaciją, pagal ið energijos apskaitos sistemos turimus istorinius duomenis, atliekant anksèiau ÷ià operaciją, yra þinoma, kuris ÷renginys ið visø  $y_i$  ÷renginio suvartoja maþiausiai energijos  $a$  detalei pagaminti.

Jeigu gamybos laikas neribojamas, tai visiðkai logiðkas sprendimas patikėti visà gamybos procesà vienam ÷renginiui, kurio energijos sànaudos yra maþiausios. Deja, praktikoje taip pasitaiko retai dël to, kad ámonės turi atitinkamus ribotus laikotarpius gamybai atlikti atsivþelgiant á pasiraðytø kontraktø sàlygas.

Norint paskirstyti uþduotis, kurias turės atlikti kiekvienas  $y_i$  ÷renginio, ÷vertinama, kad kiekvienas ÷renginys turi savitjà panaudojimo efektyvumà (SPE)  $x$  operacijai atlikti. Dël bûdingø eksploatacijos sàlygø ir kitø veiksniø net vienodo tipo ÷renginiai, gaminant tokià pat  $a$  detalę, suvartoja skirtingà kiekà energijos (kWh).

Ávertinus kiekvieno ÷renginio SPE, ieðkoma tokio uþduoèio pasiskirstymo, kuris padètø sumaþinti bendràsias energijos sànaudas atsivþelgiant á kiekvieno panaudoto ÷renginio lokalines energijos sànaudas  $v(x, y)$ .

Pagal (7) formulę galima apskaièiuoti vidutinės  $y_i$  ÷renginio energijos sànaudas  $a$  detalei pagaminti visos operacijos metu, ÷vertinus lokalines energijos sànaudas:

$$\omega_{y_i}(x, q_{y_i}) = \frac{1}{q_{y_i}} \sum_0^{q_{y_i}} v(x, y_i). \quad (7)$$

Taigi ámonės vidutinės energijos sànaudos, jau ÷vertinus lokalines kiekvieno ÷renginio sànaudas, gamybinei programai atlikti gali bûti apskaièiuotos taip:

$$\omega(x) = \frac{1}{z} \sum_0^z \omega_{y_i}(x, q_{y_i}). \quad (8)$$

Dabar reikia rasti didþiausià ÷renginio panaudojimo efektyvumà kiekvienam ÷renginiui, kai pagaminama reikalinga detalė maþiausiomis elektros energijos sànaudomis. Praktikoje tai gali bûti atlikta tokiu bûdu. Jeigu vienas ÷renginys vienu metu gali gaminti keletà detaliø, tada yra keièiamas gaminamø detaliø kiekis ir stebima, kaip kinta energijos sànaudos vienai detalei pagaminti.

Teoriðkai sprendþiant ÷à uþdavinà galima pasinaudoti Lagranþo teorema, pagal kurià tikslo funkcijos optimumo taðkai sutampa su jos Lagranþo funkcijos optimumo taðkais:

$$L = \omega_0(x) + \lambda_1 q_1 t(y_1) + \dots + \lambda_z q_z t(y_z) + \lambda_{z+1} (\sum_i q(y_i) - A); \quad (9)$$

èia  $\omega_0(x)$  – tikslo funkcija,

$\lambda_1 - \lambda_z$  – Lagranþo daugikliai,

$L$  – Lagranžo funkcija.

Þinoma, kad optimalus uþduoèiø paskirstymas  $i$ -ajam árenginiui bus pasiektas, kai Lagranžo funkcijos iðvestinė bus lygi nuliui:

$$\frac{dL}{d\lambda_{z+1}} = A - \sum_{i=1}^z q_i = 0, \quad (10)$$

be to,

$$\frac{dL}{d\lambda_i} = q_i t_i \quad (11)$$

$$\text{ir } \frac{dL}{dq_i} = q_i \omega_i(x, y_i) - \lambda_i = 0; \quad (12)$$

èia  $q_i$  –  $i$ -ojo árenginio gaminamø detalio kiekis.

Atlikus atitinkamus matematinius pertvarkymus nustatomas Lagranžo daugiklis.

Atlikus matematinius pertvarkymus Lagranžo daugiklis gali bûti iðreikðtas (13) iðraiðka:

$$\lambda_i = \frac{A}{\sum_{i=1}^z \frac{1}{\omega_i(x, y_i)}}. \quad (13)$$

Dabar, þinant visus mus dominanèius parametrus, nustatomas optimalus uþduoèiø paskirstymas tarp árenginiø.

$$q_{y_i} = \frac{A}{\omega_i(x, y_i) \sum_{i=1}^z \frac{1}{\omega_j(x, y_j)}}. \quad (14)$$

Atlikus optimalø uþduoèiø paskirstymà tarp árenginiø, vykdomas technologinis procesas. Atlikus visà gamybinaø programà, atliekamas realiø energijos sànaudø palyginimas su optimaliai nustatytosiomis. Pateiktas matematinis modelis, turint realius duomenis apie ámonės naudojamus technologinius árengimus, gali bûti pritaikytas praktikoje.

#### 4. Iliustracinis pavyzdys

Tarsime, kad pagal numatytà sutartà ámonė turi pagaminti 900 detaliø. Ámonės specialistai þino, kiek laiko reikia vienai detalei pagaminti bei kokie árenginiai gali bûti naudojami ðiai operacijai atlikti. Ávertinus laiko apribojimus, nutarta ðiai gamybinei programai atlikti naudoti keturis technologinius árenginius, kuriø energijos sànaudos vienai detalei pagaminti yra maþiausias.

Tegul turimi duomenys yra tokie:

$$A = 900 \text{ vnt.},$$

$$C_1 = 1,$$

$$C_2 = 1,1,$$

$$C_3 = 1,2,$$

$$C_4 = 1,3;$$

èia  $(C_1 - C_4)$  – naudojamø árenginiø energijos sànaudos vienai detalei pagaminti (tik pats gamybos procesas), pateiktos sàlyginiais vienetais;

$A$  – gamybos programa, t. y. reikalingas pagaminti detaliø kiekis.

Pasinaudosime pateikta (13) iðraiðka, pritaikydami jà konkreèiam atvejui:

$$\sum_{y=1}^{y=4} q_i = 900. \quad (15)$$

Þinodami árenginiø suvartotà energijà vienai detalei pagaminti, pasinaudosime (14) iðraiðka. Tada, paskirstant gamybinaø programà tarp technologiniø árenginiø, gaunami tokie rezultatai (lentelė).

Lentelė. Uþduoèiø paskirstymas tarp naudojamø technologiniø árenginiø

Technologinis árenginys $y_j$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
Uþduoèiø kiekis vnt.	256	233	214	197

Jeigu vienai detalei pagaminti pirmajam árenginiui reikia 10 kWh, tai, likusiems trimis árenginiams suvartojus atitinkamai 11, 12 ir 13 kWh, tuomet galima apskaièiuoti visos ámonės sànaudas operacijai pagal (16) formulæ:

$$\omega_0 = q_1 \cdot \omega_1 + \dots + q_4 \cdot \omega_4 = 10252 \text{ kWh} \quad (16)$$

Ðiuo atveju ámonės personalas gauna informacijà apie numatomà energijos suvartojimà operacijai atlikti. Deja, daþnai praktikoje ámonės vadovybės numatomos energijos sànaudos neatitinka realiøjø sànaudø.

Todėl darbo autorius siûlo pakoreguoti klasikinæ bendrøjø elektros sànaudø formulæ, panaudojant pateiktà metodikà.

Visos elektros energijos sànaudos technologinei operacijai atlikti gali bûti apskaièiuotos taip:

$$\omega_0(x) = \omega_{y_1}(x, y_1) \cdot q(y_1) + \dots + \omega_{y_z}(x, y_z) \cdot q(y_z) + \omega(b_1) \dots + \omega(b_z) + \sum_{i=1}^z \omega(dt) - \sum_{i=1}^z \omega(x_i); \quad (17)$$

èia  $\omega(b_1) - \omega(b_z)$  – árenginiø energijos sànaudos pasiekiant darbingà bûvà

$\omega(dt)$  – árenginiø energijos sànaudos nenumatyto ir numatyto pertraukëlėms, kai árenginiai dirba tuðèiai,

$\omega(x_i)$  – energijos sànaudos, kai vienu metu árenginys atlieka dviejø operacijø darbà.

Norėdami pasinaudoti (17) formule, taikome tokias prielaidas:

- Tegul pradedant technologinæ operacijà pirmasis ir treèiasis árenginiai jau dirbo (prieð tai atlikinèjo kità operacijà), o antrasis ir ketvirtasis nedirbo ir turi áðilti iki atitinkamos darbinės temperatūros per tam tikrà laikotarpà

- Tarkim, áðilimas iki darbinės temperatūros ant-rajam ir ketvirtajam árenginiui „kainuoja“ po 50 kWh. Be to, vykdant gamybos procesà, 10% laiko ir tiek pat elektros energijos kiekviename árenginiø prarandama nenumatyto pertraukoms, kai árenginiai naudoja energijà, bet negamina paèiø detaliø. 10%

prastovos visiems keturiems árenginiams sudaro 1025 kW.

• Ámonėje vienu metu vykdoma  $x_j$  technologinė operacija. Tik vienas árenginø (antrasis) vienu metu atlieka dvi operacijas  $x$  ir  $x_1$ . Tarkime, yra naudojama kaitinimo krosnis. Vienu metu yra dþiovinama produkcija, pagaminta pagal šiuos du skirtingus uþsakymus.

Pasinaudojant (17) formule atliekamas energijos sąnaudø skaiëiavimas:

$$\omega_0(x) = 10252 + \omega(b_2) + \omega(b_4) + 1025 - \frac{C_2 q_2}{2} = 10093 \text{ kWh}. \quad (18)$$

Pagal (16) ir (18) formules atlikti skaiëiavimai nesutampa. Tai rodo, kad ámonës numatomos energijos sąnaudos tiksliau ávertinamos, panaudojant skaiëiavimams lokales energijos sąnaudas, kurios gali ávertinti tokius svarbius dalykus, kaip árenginø būvis, pertraukëlø intervalai ir kt.

Taigi turint atitinkamø duomenø apie árenginø elektros energijos suvartojimà, kurie gali būti paimti ið kompiuterizuotos energijos apskaitos sistemos, visada galima optimaliai paskirstyti uþduotis tarp árenginø siekiant gamybos programà atlikti maþiausiomis energijos sąnaudomis, tiksliau jas numatyti ir efektyviau vartoti energijà.

## 5. IÐVADOS

1. Pasiūlytas matematinis modelis, ávertinantis lokales elektros energijos sąnaudas pramonës ámonėje. Ðiuo modeliu gali būti optimaliai paskirstomos gamybinës uþduotys tarp ámonėje naudojamø technologinø árenginø.

2. Lokalinø energijos sąnaudø ávertinimo modelis turi būti integruotas á energijos apskaitos ir valdymo sistemas, esanëias ámonëse, jo pagrindinë funkcija – padëti ámonës marketingo skyriams:

a) numatyti energijos iðteklø sąnaudas,

b) esant reikalui keisti technologinio proceso atlikimo laikà, tuo būdu maþiau vartoti iðteklø.

3. Patikrinus modelá praktikoje pastebëta, kad naudojant ðà matematiná modelá, ávertinant naudojamo technologinio árenginio charakteristikas bei technologinio reþimo ypatumus ámonëse numatomos energijos sąnaudos technologinei operacijai atlikti apskaiëiuojamos 1,5–3% tiksliau.

## Literatūra

1. ISO 13584: Industrial automation Systems and Integration, Parts Library. Part 24: Logical model of supplier library.
2. Ушаков И. Оптимальные системы автоматического управления. Москва: Наука, 1988. С. 137–145.
3. Некрасов А. Оптимизация режимов электрического хозяйства на предприятиях. Ташкент, 1991. С. 245–259.
4. Gero J. Optimization Notes and Reports in Mathematics in Science and Engineering Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 2000. P. 304–309.
5. Esbensen K. Modeling and Optimization in Industry Lawrence Erlbaum Assoc. New York, 1998. P. 189–197.

## Piotras Bachanovas

### MODEL OF ENERGY CONSUMPTION IN THE ENTERPRISE

#### Summary

A mathematical model for evaluating local energy costs is proposed. The model can be implemented to the computer-aided energy accounting and monitoring systems of an industrial enterprise. The model can solve the problem of the optimal distribution of duties among technological equipments, which can benefit the enterprise to use existing resources to ensure an efficient energy consumption.

**Key words:** Lagrange multiplier, local energy costs, optimal distribution of tasks, technological operation

## Пиотрас Бахановас

### МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

#### Резюме

Представлена математическая модель, которая позволяет учитывать локальные затраты энергетических ресурсов. Предложенная модель может быть внедрена как дополнительный компонент в компьютерные системы учета потребления энергоресурсов, эксплуатируемых на промышленных предприятиях.

С помощью этого алгоритма можно оптимально распределить технологические задания между используемым на промышленных предприятиях оборудованием, что позволит эффективнее использовать энергетические ресурсы и вместе с тем уменьшит воздействие на окружающую среду.

**Ключевые слова:** множитель Лагранжа, локальные энергетические затраты, оптимальное распределение заданий, технологическая операция