

---

# Kompiuterizuotų energijos apskaitos ir monitoringo sistemų projektavimas

---

**Feliksas Bielinskis,  
Piotras Bachanovas**

*Lietuvos energetikos institutas,  
Sistemų valdymo ir automatizavimo  
laboratorija,  
Breslaujos g. 3, LT-3035 Kaunas*

Straipsnyje išanalizuotos kompiuterizuotos energijos apskaitos ir monitoringo sistemos, kaip vienos reikalingiausių techninių priemonių, siekiant efektingo energijos vartojimo. Aptarti ir sudaryti bendri reikalavimai, keliami tokio tipo sistemoms. Apžvelgti sistemų projektavimo principai ir nurodyti projektavimo metu atliekami darbai. Išanalizuotas sistemų matematinis aprūpinimas, reikalingas patikimam pačių sistemų funkcionavimui bei pateikiantis patikimą informaciją apie objekto energijos suvartojimą ir jos taupymo galimybes. Aptariami procesai, vykstantys sistemos eksploatacijos metu, bei nurodomi svarbiausi principai, padedantys sukurti efektyvią apskaitos sistemą.

**Raktažodžiai:** kompiuterizuota energijos apskaitos ir monitoringo sistema, Energetikos chartijos sutartis, energijos vartojimo efektyvumas, stochastiniai metodai

---

## 1. ĮVADAS

Pastaruoju metu pasaulyje nemažai darbų skiriama energijos vartojimo efektyvumui (EVE) didinti. Šios problemos atsiradimą sąlygojo nuolat didėjančios energijos išteklių kainos bei aplinkosauginiai reikalavimai. Lietuvos bei pasaulio šalių susirūpinimas energijos efektyvumo didinimu turėjo įtakos teisiniams dokumentams, susijusiems su šių klausimų sprendimu, atsirasti. Pirmiausia tai – Energetikos chartijos sutartis [1] bei protokolai [2], kurie yra svarbūs pasaulio šalių teisiniai susitarimai energetikos srityje. Lietuva taip pat priėmė teisinius dokumentus bei norminius aktus, reglamentuojančius EVE didinimą. Priimtame Lietuvos Respublikos energetikos įstatyme (1995 03 28, Nr. I-828) energijos efektyvumo didinimas nurodomas kaip šalies energetinis strateginis tikslas. Taip pat daug dėmesio šiai problemai skiria Nacionalinė energetikos strategija [3].

Turint sukurtą teisinę bazę, energijos vartojimo efektyvumui laiduoti papildomai reikalingos techninės priemonės, užtikrinančios EVE, ir palankios investicinės sąlygos.

Valstybė, suprasdama problemos svarbą, turėtų pasiūlyti Lietuvos arba užsienio investuotojams, norintiems investuoti šioje srityje, palankesnes sąlygas (mažesni mokesčiai, lengvatos ir pan.), kartu vartotojams kompensuoti šių sistemų įsigijimą, siūlyti lengvatinius kreditus. Dažnai vartotojai norėtų įdiegti kompiuterizuotą apskaitą, bet negali to padaryti dėl

apyvartinių lėšų trūkumo. Todėl valstybės pagalba šioje srityje būtų ypač naudinga.

Galimos įvairios techninės priemonės EVE pasiekti. Dažniausiai literatūroje aptinkamos šios priemonės, bendros visiems objektams, kuriuose norima taupyti energiją [4]:

- Energijos apskaitos ir monitoringo sistemų įdiegimas;
- Esamų technologijų energijos suvartojimo audito atlikimas;
- Pagrįstų energijos vartojimo normų parengimas;
- Naujų technologijų įdiegimas.

Kompiuterizuotos energijos apskaitos ir monitoringo sistemų (KEAMS) įdiegimas yra viena svarbiausių energiją taupančių priemonių. Pažymėtina, kad pastaruoju metu tokios sistemos pakankamai sparčiai plėtojamasi bei tobulinamos. Kaip ir kitos informacijos sistemos, kuriose naudojama nuolat tobulėjanti kompiuterinė technika, KEAMS leidžia spręsti vis sudėtingesnius energetinius uždavinius, per trumpą laiką apdorojant didžiulius duomenų masyvus. Šių sistemų panaudojimas leidžia spręsti svarbius ir energijos taupymo, ir bendrus energetinius uždavinius – centralizuoti energetinės sistemos apskaitą ir valdymą, padidinti įrengimų kontrolę ir naudojimo operatyvumą, padidinti energijos tiekimo patikimumą, iš dalies arba visiškai sumažinti budintį personalą, kontroliuoti racionalų energijos suvartojimą, paruošti energijos suvartojimo balansus ir atlik-

ti techninius ekonominius skaičiavimus. Racionaliai parinkus matavimo taškus, minimaliu matuoklių skaičiumi gaunama visa informacija apie įmonių energijos ūkį.

## 2. SISTEMOS SUDĖTIS IR TECHNINIS APRŪPINIMAS

Kadangi yra sukurta daug įvairių tokio tipo sistemų, bandyta analizuoti bendrus techninio aprūpinimo reikalavimus, tinkančius visoms kuriamoms sistemoms. Pastaruoju metu įprasta informaciją surinkti bei perduoti panaudojant kompiuterius ir mikroprocesorinę techniką. Įvertinus kasdienį šios technikos tobulėjimą, ateityje galima tikėtis spartaus apskaitos bei tyrimo sistemų tobulėjimo ir universalumo didėjimo sprendžiant įvairius energetinius uždavinius. Kuriant efektyvias kompiuterizuotas energijos apskaitos sistemas, būtina ne tik panaudoti patikimą kompiuterinę techniką, bet ir taikyti efektyvius matematinius modelius ir modeliavimą, įgalinančius parinkti šių sistemų optimalią struktūrą bei sumažinti išlaidas visuose jų sukūrimo etapuose.

Analizuojant galimybę kompiuterizuoti energijos apskaitą nagrinėjamame objekte, būtina kuo tiksliau išanalizuoti tam tikro objekto specifiką. Kadangi tokios sistemos duoda didžiausią efektą jas įdiegiant pramonės įmonėse, reikia nustatyti įmonės techninius režimus, darbo laiką, naudojamus įrengimus, didžiausius energijos vartotojus bei kitus parametrus. Turint surinktą informaciją, analizuojamos įvairios objekto charakteristikų priklausomybės nuo pasirinktų parametrų. Sistemos sudėtis gali būti parinkta, įvertinus numatytus spęsti uždavinius bei eksploatacijos sąlygas. Turint šią informaciją, galima parinkti optimalią konfigūraciją, sumažinti kuriamos sistemos informacijos apdorojimo laiką, kainą, padidinti jos jautrumą ir atsparumą trikdžiams.

Surinkus informaciją apie objektą, nustatomi daugiausia techniniai reikalavimai sistemai ir atskiriems jos komponentams, įvertinus keliamus uždavinius bei vartotojo pageidavimus. Kiekvienai numatomai užduočiai bus naudojami atskiri algoritmai, kurie kartu sudarys algoritmų sistemą. Atliekant algoritmų analizę, nustatoma jų funkcionavimo galimybė, atlikimo tvarka, matematinis bei programinis aprūpinimas ir pavienių algoritmų tarpusavio suderinamumas. Darbai, kurie atliekami prieš projektuojant KEAMS ir yra bendri visoms sistemoms, pavaizduoti 1 paveiksle.

KEAMS informacinės loginės struktūros sudarymas yra etapas, kuriame būtina nustatyti reikalingus algoritmus ir sudaryti šių algoritmų struktūrą. Algoritmų struktūra yra nustatoma atsižvelgiant į funkcinę KEAMS struktūrą bei informacijos praėjimo

1. KEAMS informacinės loginės struktūros parinkimas

2. Reikalavimų informaciniam KEAMS aprūpinimui parinkimas

3. Reikalavimų matematiniam KEAMS aprūpinimui parinkimas

4. Techninės užduoties sudarymas, pasiruošimas projektuoti

1 pav. Darbų tvarka nustatant reikalavimus projektuojamai KEAMS

technologinę schemą. Atlikus šiuos darbus sprendžiami šie techninio sistemos aprūpinimo uždaviniai:

- Duomenų surinkimas;
- Formalizavimas;
- Apdorojimas;
- Perdavimas;
- Saugojimas;
- Atgaminimas.

Svarbu pažymėti, kad ne tik nagrinėjami sprendimo reikalaujantys uždaviniai, bet ir prognozuojami tikėtini uždaviniai, su kuriais gali susidurti sistema, tam tikro darbo arba technologinio proceso nukrypimo metu. Ši analizė atliekama kiekvienai posistemėi atskirai, įvertinus jos numatomą techninį paruošimą bei eksploataavimo sąlygas. Algoritmams spęsti bei informacijai apdoroti kiekviena posistemė privalo turėti pakankamą techninį aprūpinimą, kurį sudaro skaičiavimo technikos priemonės (asmeninis kompiuteris, priemonės jiems sujungti su valdymo objektais, duomenų paruošimo priemonės, signalų keitikliai, modemai, ryšio kanalai) bei priemonės, garantuojančios ryšį su dispečeriu (monitorius, indikatorius, signalizatorius ir kt.).

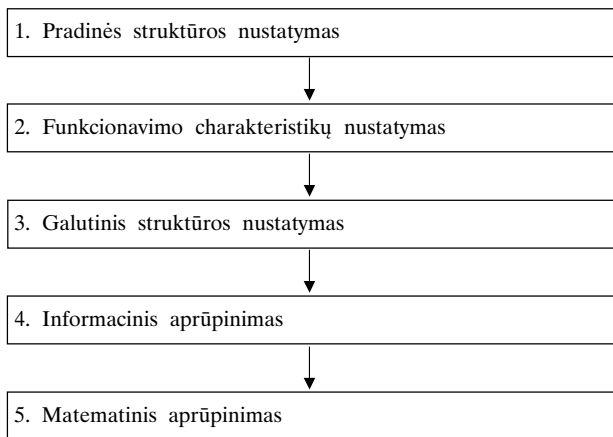
Buvo pastebėta, kad visos pasaulyje sukurtos KEAMS aprėpia:

- Skaičiavimo ir valdymo įrenginius;
- Duomenų matavimo įrenginius;
- Signalų keitimo, apdorojimo ir perdavimo įrenginius.

Svarbiausi reikalavimai, keliami šiems įrenginiams, yra suderinamumas tarpusavyje bei patikimumas. Techniškas įvairių sistemų suderinamumas dažniausiai pasiekiamas naudojant standartinę sąsają ryšiams tarp atskirų sistemos taškų ar įrenginių.

## 3. TECHNINIO PROJEKTAVIMO PROCEDŪROS IR METODAI

Pradedant techninį KEAMS projektavimą, vienas pagrindinių tikslų yra nustatyti visas darbai reikalingas posistemas. Kiekviena iš jų turi specifines funkcijas, todėl ir skiriasi techninėmis charakteristikomis. Visų posistemų darbas turi būti suderintas bendroje sis-



2 pav. KEAMS struktūros projektavimo etapai

temoje. Šiam tikslui pasiekti projektavimo proceso pradžioje nustatoma ir techniškai apibendrinama kiekvienos posistemės struktūra ir jų ryšio priemonės. Šios sistemos, kaip ir visų kitų informacijos sistemų, projektavimo darbų kompleksas gali būti padalytas į penkis pagrindinius etapus (2 pav.).

Kiekvienas šių etapų smulkiai analizuojamas projektuotojų bei derinamas ir pritaikomas prie konkretaus objekto.

### Pradinis struktūros nustatymas

Nustatant pradinę sistemos struktūrą, siūloma atkreipti dėmesį į šiuos aspektus:

- Racionalaus posistemų skaičiaus parinkimas;
- Posistemų ryšiui užtikrinti techninė išpildymo galimybė;
- Posistemų centralizacijos galimybė;
- Algoritmų kiekvienai posistemai aprašymas, jų matematinio sudėtingumo nustatymas;
- Algoritmų sprendimo galimybės, esant pasirinktai posistemės konfigūracijai;
- Kompiuterių skaičius;
- Algoritmų sprendimo greitis;
- Duomenų atminties ir perdavimo galimybės patikimas užtikrinimas.

Kiekvienai anksčiau minėtai problemai spręsti reikia įvertinti ir ekonominį aspektą. Turi būti pasirinkta viena iš daugelio galimų alternatyvų. Pagrindinis tikslas – parinkti tokius techninius parametrus, kad išlaidos informacijos vienetai gauti, arba informacijai apdoroti, būtų mažiausios.

Taigi šiame etape pagrindiniai uždaviniai yra:

- KEAMS pradinės sudėties ir struktūros nustatymas;
- Sistemos techninių charakteristikų nustatymas;
- Sistemos sukūrimo ir įdiegimo lėšos.

Įvertinus, kad tokio tipo sistemos turi hierarchinius lygius, kai kurie autoriai [7–9] siūlo matemati-

nę užduotį aprašyti pasirinkus grafų teorija. Tuo būdu yra formuluojamas uždavinys, kurio tikslas – sumažinti grafo medžio sudėtingumą, nemažinant pačios sistemos atliekamų funkcijų:

$$\sigma_n = \min \sigma(D); \quad (1)$$

čia  $D$  – medžio viršūnė, turinti aukščiausią hierarchinį laiptą.

Norint nustatyti  $\sigma_n$ , galima pasinaudoti (2) išraiška, kuri pakankamai tiksliai įvertina kuriamos sistemos sudėtingumą:

$$\sigma_n = \min (mn + \sum \sigma_{kj}); \quad (2)$$

čia  $m$  – šakų skaičius;  $n$  – medžio viršūnių skaičius;  $\sigma_{kj}$  – medžio dalies  $D_j$  sudėtingumas.

Toliau yra nustatomas sistemos centralizacijos lygis, kuris sąlygoja sistemos hierarchijos lygių pasiskirstymą. Centralizacijos lygis nustatomas, palyginus sistemos lygius tarpusavyje pagal atliekamų uždavinių skaičių arba perdirbtos informacijos kiekį:

$$\beta = w_1 / w_k; \quad (3)$$

čia  $\beta$  – sistemos centralizacijos lygis;  $w_1, w_k$  –  $i$  ir  $k$  lygio uždaviniai.

Pažymėtina, kad sistemos struktūros sudėtingumas priklauso nuo tiriamojo objekto specifikos, t. y. reikalingų algoritmų skaičiaus, bei uždavinių sudėtingumas daugiausia priklausys tik nuo to, kokie procesai vyksta pačiame objekte ir koks jų ryšys. Be to, reikia įvertinti ir apribojimus, kuriuos turi kompiuterinė technika arba atskiri jos komponentai dirbant specifinėmis eksploatacijos sąlygomis.

Pagrindinė problema, su kuria projektuotojai susiduria šiame etape, yra optimalus funkcijų tarp posistemų paskirstymas. Svarbiausias tikslas – stengtis parinkti mažesnę posistemų skaičių bei kad jos aprėptų visus monitoringui reikalingus uždavinius.

Kita problema – stengtis, kad išlaidos techniniam posistemų išpildymui būtų mažiausios.

### Funkcionavimo charakteristikų nustatymas

Šiame etape nagrinėjami informaciniai srautai, su kuriais KEAMS susiduria darbo metu. Pažymėtina, kad sėkmingas sistemos funkcionavimas yra įmanomas tik tais atvejais, jeigu projektuotojai projektavimo metu sugeba įvertinti srautų pasiskirstymą tarp atskirų sistemos komponentų, ateinančių bei išinančių iš sistemos duomenų patikimumą ir sėkmingą informacijos apdorojimą.

Įvertinus skirtingų autorių darbus [7, 10, 11] ir atlikus informacijos srautų analizę, buvo pastebėta, kad srautus tikslinga analizuoti, padalijant juos į dvi

stambias grupes: įeinantys ir išeinantys srautai. Įeinantys srautai gaunami tiesiogiai nuo kontroliuojamo objekto, išeinančių srautų funkcija – perduoti patikimą informaciją valdymo objektui ir (arba) operatoriui.

Atskirai kiekviena šių grupių gali būti padalyta skirstant informacijos srautus į pastovius ir kintamus. Srautų kintamumas atsiranda dėl to, kad KEAMS gauna informaciją iš skirtingų kontroliuojamo objekto mazgų, kuriuose yra nustatyti skirtingi informacijos perdavimo intervalai. Išeinantys iš sistemos srautai taip pat gali būti kintami, nes apdorojant informaciją įvairiems uždaviniams sugaištama skirtingai laiko. Tokiais atvejais sprendimo pirmumą turi uždaviniai, kurie yra svarbesni. Prioritetai nustatomi projektuojant, skirstant uždavinius pagal svarbumą. Prioritetai turi būti nustatomi įvertinus objekto specifiką, ir kiekvienam konkrečiam atvejui gali ir turi būti kitoks. Su sistemos eksploatuotoju aptariamoms charakteristikoms, kurios jį labiausiai domina, ir pagal analizuojamus parametrus arba jų priklausomybes nustatomas informacijos svarbumas bei srautų apdorojimo arba perdavimo operatoriui tvarka.

Derinant KEAMS prie realių eksploatavimo sąlygų buvo pastebėta, kad įeinančių informacijos srautų analizė dėl jų stochastinio pobūdžio yra pakankamai sudėtinga. Todėl visus į sistemą įeinančius srautus autoriai siūlo skirstyti į dvi pagrindines grupes [6, 8]:

- Duomenys, kurie turi būti apdoroti realiame laike;
- Duomenys, nereikalaujantys apdorojimo realiame laike (statistiniai).

Pirma srautų grupė turi sprendimo prioritetą, todėl šie srautai apdorojami iš karto ir, esant nukrypimams nuo normalių darbo sąlygų, informacija perduodama aptarnaujančiam personalui. Informacijai apdoroti turi būti parinktas patikimas matematinis aparatas, užtikrinantis reikalingą tikslumą. Geriausias tikslumas pasiekiamas, kai matematinis aparatas parinktas individualiai, kiekvienai duomenų grupei. Kadangi vienas keliamų uždavinių yra objekto valdymas, tai matematinis užduoties modelis gali būti aprašytas, pasitelkus diferencialines lygtis arba (4) lygtį [7]:

$$y(t) = W(p, c) u(t); \quad (4)$$

$$p = d/dt. \quad (5)$$

Praktikoje ieškomas objekto parametrų vektorius  $c$ , o turimi parametrai yra  $W(p, c)$  – sistemos perdavimo funkcija,  $u(t)$  – įėjimo signalas,  $y(t)$  – išėjimo signalas.

Šiame projektavimo etape yra sprendžiami šie pagrindiniai klausimai:

- Nustatomi informaciniai srautai, skirti KEAMS funkcionavimui užtikrinti;
- Išsamiai aprašomi srautai, užtikrinantys patikimą informacijos išėjimą;
- Automatizavimo rekomendacijų paruošimas priklausomai nuo galimų išėjimo srautų;
- Įėjimo ir išėjimo srautų duomenų privedimai prie vieningos vienetų sistemos;
- Sistemos jautrumo užtikrinimas;
- Prognozuojamos sistemos gedimo tikimybės.

Pagrindinė problema, su kuria susiduriama šiame etape, – informacijos srautų apdorojimo laikas. Pagrindinė informacija turi būti apdorojama iš karto – labai greitai. Pagal operatoriaus ar kito atsakingo asmens užklausimą visa informacija turi būti pateikta lentelėse, grafikuose arba kitu gerai suprantamu būdu.

### Galutinis struktūros nustatymas

Turint pirmųjų dviejų projektavimo etapų informaciją (informacijos srautų analizė ir pagrindinių charakteristikų nustatymas esant skirtingiems darbo režimams), galutinai nustatoma sistemos struktūra. Šiame etape analizuojami ir sprendžiami tokie uždaviniai:

- Specifinių reikalavimų nustatymas kiekvienai posistemei bei jų suderinamumas su darbu bendroje sistemoje;
- Visų posistemų reikalavimų suderinimas, analizuojant kiekvieną iš galimų darbo režimų;
- Reikalavimų programinei įrangai nustatymas ir jų lyginimas bei suderinamumas su sistemos techniniais reikalavimais;
- Sistemos apkrovimo diagramų nustatymas įvairiais laiko momentais bei esant skirtingiems darbo režimams;
- Kiekvienos posistemės bei bendros sistemos, kurioje jos dirbs, kainos nustatymas. Svarbu pasistengti pasiekti minimalią kainą, nesumažinant techninių sistemos galimybių.

Pagrindinė problema – galutinis visų komponentų optimalus parinkimas suderinant techninį pagrįstumą, ekonominį naudingumą bei visos KEAMS patikimumą.

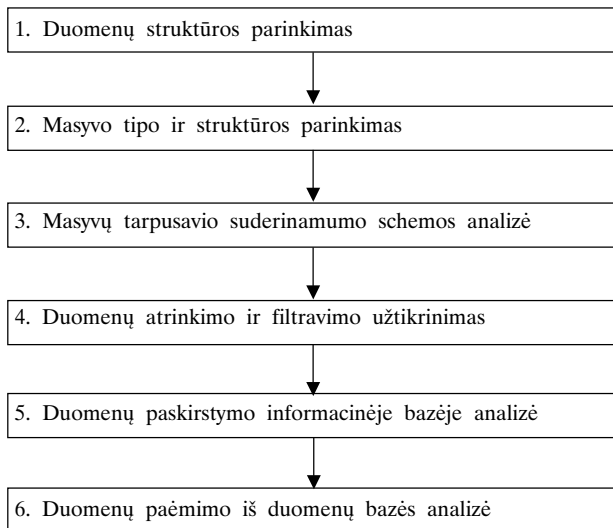
### Programinis KEAMS aprūpinimas

Pradedant šį projektavimo etapą, nustatoma reikalinga kompiuterinė įranga informacijos srautams apdoroti. Informacijos srautai, ateinantys į sistemą iš skirtingų matavimo mazgų, neša informaciją apie skirtingus matuojamo objekto parametrus. Pasinaudojant ankstesniuose etapuose įgyta informacija, sudaromi informacijos srautų apdorojimo prioritetai. Duomenų svarbumas nustatomas pagal objekto specifiką, įvertinant visus reikalingus kriterijus.

Programinis sistemos aprūpinimas aprėpia šiuos uždavinius:

- Ciklinis duomenų ir informacijos perdėrimas pagal nustatytus kriterijus,
- Duomenų patalpinimas į atmintį,
- Patikimas duomenų perdavimas sąsajos ryšiu,
- Lengvas duomenų paėmimas ir patogus pavaizdavimas.

Algoritmas, atspindintis atliekamus darbus šiame etape, pavaizduotas 3 paveiksle.



3 pav. Informacinio sistemos aprūpinimo procedūros

### Matematinis KEAMS aprūpinimas

Kuriant efektyvias ir patikimas KEAMS, jas ir objekto funkcionavimą tikslinga modeliuoti.

Uždaviniai, kuriuos turi spręsti sistema, skirstomi į kelias grupes pagal duomenų apdorojimo tipus [9]:

- Duomenų filtravimas;
- Duomenų kaupimas;
- Paklaidų korekcija;
- Funkcijų skaičiavimas;
- Valdymo komandos.

Šiam tikslui reikia apibrėžti sistemai keliamus uždavinius bei įvertinti diagnozuojamo objekto specifiką. Literatūroje yra aptinkamos standartinės, bendros matematinės programos, kurios iš tikrųjų atspindi bendrus principus, bet negali tiksliai įvertinti visų procesų, vykstančių konkrečioje sistemoje. Dėl to projektuojant nustatoma, kurios standartinės matematinės programos yra reikalingos duomenims apdoroti. Kai kurios standartinės matematinės programos gali būti panaudotos pačioje sistemoje, bet daugeliui uždavinių reikia kurti savo matematinės programos, nes praktikoje dažniausiai yra gana sudėtinga standartinėmis matematinėmis programomis gauti reikiamus duomenis. Dėl šių priežasčių kuriamas

specialus, konkrečiam objektui pritaikytas, matematinis aparatas, leidžiantis kuo tiksliau nustatyti reikalingas objekto charakteristikas, arba naudojamas matematinis modeliavimas.

Matematinis aprūpinimas, kuris bus naudojamas KEAMS, parenkamas pasirinkus gautą informaciją apie objektą iš ankstesnių projektavimo etapų. Viena svarbesnių sąlygų parenkant standartinės matematinės programos yra galimybė jas kartu naudoti vienoje sistemoje bendram darbui.

### 4. KEAMS FUNKCIONAVIMO MATEMATINIS FORMALIZAVIMAS

Norint efektyviai naudoti energijos išteklius ir kokybiškai valdyti energijos suvartojimą, reikia sukurti efektyvią KEAMS, galinčią pakankamai tiksliai matematiškai aprašyti įvairius procesus.

Kaip minėta anksčiau, prieš projektuojant ir pritaikant KEAMS konkrečiam objektui, nagrinėjamos įvairios objekto charakteristikos. Turint šią informaciją yra nustatoma, kokios KEAMS posistemės bus labiausiai apkrautos, įvertinus įvairias galimas sistemos konfigūracijas ir išorinius poveikius. Matematinio modeliavimo panaudojimas leidžia parinkti optimalią sistemos struktūrą, paskirstant funkcijas tarp posistemų, kad jos būtų vienodai apkrautos. Tai pasiekama įvertinus ateinančius į sistemą nuolat besikeičiančius informacijos srautus, išorinius poveikius bei skaičiavimo ir apkrovimo apribojimus [10].

Kadangi praktikoje KEAMS būdingas sudėtingas funkcionavimas ir informacijos cirkuliacija yra tikimybinio pobūdžio, procesams įvertinti tikslinga taikyti stochastinius modeliavimo metodus. Modeliavimo rezultatai leidžia nustatyti sistemos pralaidumą, išaiškinti labiausiai apkrautus įrenginius ir jų poveikį visos skaičiavimo struktūros efektyvumui, optimaliai apdoroti informaciją ir palyginti alternatyvias sistemos konfigūracijas dar ikiprojektinėje stadijoje.

Įvertinant KEAMS funkcionavimo specifiką, informacijos srautų savybes bei išorinius poveikius, šių sistemų analizei panaudojami tikimybiniai (analitiniai, imitaciniai, skaitmeniniai) modeliai [12–14]. Analizuojant KEAMS funkcionavimą galima panaudoti Markovo, pusiau Markovo procesus bei stochastinių tinklų teoriją. Analitiniai modeliai, pateikiantys išreikšto pavidalo sprendimą, yra pakankamai universalūs, o gautos charakteristikos ir jų priklausomybės nuo įvairių parametrų leidžia gana tiksliai ir greitai analizuoti KEAMS sistemų funkcionavimą realybėje ir šitaip parinkti tokių sistemų optimalią struktūrą ir padidinti jos efektyvumą. Buvo pastebėta, kad būtent stochastiniai modeliai geriausiai atspindi procesus, kurie vyksta realybėje funkcionuojant tokio tipo sistemoms. Stochastinius metodus tikslinga taikyti to-

dėl, kad jie ne tik leidžia atspindėti ir įvertinti realius procesus, vykstančius KEAMS, bet ir padeda nustatyti charakteristikų priklausomybes nuo įvairių veiksmų, įvertinti labiausiai apkrautus sistemos įrenginius, nustatyti informacijos išdėstymą atmintyje, palyginti galimas sistemos konfigūracijas surandant alternatyvų privalumus ir trūkumus.

KEAMS stochastinis modelis paprastai apibūdinamas ribotu poaibių  $\{s_1, \dots, s_p, \dots, s_n\} \in S$  parametru, turinčių esminę įtaką sistemai ir besikeičiančių modeliavimo eigoje, nustatant mus dominančias charakteristikas  $\{y_1, \dots, y_j, \dots, y_n\} \in Y$  galimoms skaičiavimo struktūroms su konkrečiais parametrais  $\{r_1, \dots, r_n\} \in R$  [6].

Praktikoje dažniausiai domina ne visos, o tik kai kurios KEAMS charakteristikos  $y_n \in Y$ , esant konkrečioms išoriniams poveikiams  $\{x_1, \dots, x_y, \dots, x_n\} \in X$ . Sistemos charakteristikoms esminę įtaką turi vektorius  $\{z_1, \dots, z_u, \dots, z_n\} \in Z$ , kuris apibrėžia valdymo ir informacijos apdorojimo strategijų aibę. Sudėtingose KEAMS vektorius  $z(t, r)$  ir išoriniai poveikiai  $x(t, s)$  yra erdvės ir laiko funkcijos. Tokiu būdu KEAMS funkcionavimo efektyvumas nusakomas apibendrintu kriterijumi:

$$G = F\{S, Y, R, X, Z\}. \quad (6)$$

Jeigu  $\langle N, F \rangle \in X$  ir  $\langle M, p_{ij}, G \rangle \in R$ , tai sistemos funkcionavimas apibūdinamas išraiška

$$\{N, F_i(x), \lambda_i(t), I_i(i = 1, N), M, G(x), p_{ij}, \mu(t), k_s(s = 1, M), r_j < \infty, z(x, t)\}; \quad (7)$$

čia  $N, \lambda_i(t), I_i F_i$  – informacijos srautai, jų parametrai ir užklausimo sistemai pateikimo intervalų pasiskirstymo funkcijos  $M, p_{ij}, \mu(t), k_s, G$  – apdorojančių įrenginių ir jų parametrų aibė, apdorojimo laiko pasiskirstymo funkcija ir stochastinė perdavimo matrica,  $r_j$  – tarpinė atmintis,  $z(x, t)$  – informacijos apdorojimo strategijų aibė.

Sudarant sudėtingų KEAMS stochastinius modelius dažniausiai iškyla dilema tarp siekimo maksimaliai supaprastinti matematinę aprašymą ir būtinumo išlaikyti jo adekvatiškumą realiomis sąlygomis.

Modeliuojant šių sistemų funkcionavimą reikia įvertinti ir skaičiavimo sistemų patikimumą, kuris yra būtinas sistemos gyvybingumui palaikyti. Tarsime, kad atsitiktiniu laiko momentu sistemos darbas sutriks. Tada patikimo darbo intervalas yra atsitiktinis dydis su pasiskirstymo funkcija  $H(x)$ . Aį atstatymo laikas – atsitiktinis dydis su pasiskirstymo funkcija  $G(x)$ . Aptarnavimo laikas – atsitiktinis dydis su pasiskirstymo funkcija  $F(x)$ . Vienkanalės sistemos matematinis modelis gali būti pateiktas lygčių sistema [6].

Aį darbo būsenoje:

$$\frac{df_{110}(x)}{dx} + \lambda f_{110}(x) = \lambda f_{110}(x) \quad (i = n = 1; k = 1), \quad (8)$$

$$\frac{df_{210}(x)}{dx} + \lambda f_{210}(x) = \lambda f_{210}(x) \quad (i = n = 1; k = 2), \quad (9)$$

$$\frac{df_{110}(x)}{dx} + \lambda f_{110}(x) = \lambda f_{1-110}(x) \quad (i = n = 1; k = 1), \quad (10)$$

$$f_{110}(0) = O_{100} \quad (k = 2, \dots, 1), \quad (11)$$

$$f_{110}(0) = \lambda f_{100}. \quad (12)$$

Aį laisvas:

$$\lambda f_{100} = \int_0^{\infty} f_{110}(x) [1 - H(x)] dF(x) + \int_0^{\infty} f_{101}(y) dG(y), \quad (13)$$

$$\lambda f_{200} = \int_0^{\infty} f_{210}(x) [1 - H(x)] dF(x) + \int_0^{\infty} f_{201}(y) dG(y) + \lambda f_{100}, \quad (14)$$

$$\lambda f_{100} = \int_0^{\infty} f_{k-100}(x) + \int_0^{\infty} f_{k10}(x) [1 - H(x)] dF(x) + \int_0^{\infty} f_{k01}(y) dG(y). \quad (15)$$

Aį atstatomas:

$$\frac{df_{101}(y)}{dy} + \lambda f_{101}(y) = \lambda f_{101}(y), \quad (16)$$

$$\frac{df_{201}(y)}{dy} + \lambda f_{201}(y) = \lambda f_{101}(y), \quad (17)$$

$$\frac{df_{k01}(y)}{dy} + \lambda f_{k01}(y) = \lambda f_{101}(y). \quad (18)$$

Po matematinių pertvarkymų tikimybė, kad sistema bus laisva ir informacija bus apdorota, yra:

$$P = 1 + \left( \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) - \lambda \left[ 1 - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right] / + \left( \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right). \quad (19)$$

Iš pakankamai sudėtingų analitinių išraiškų matyti, kad tiriant tokias sistemas tikslinga naudotis ne tik analitiniais, imitaciniais, bet ir skaitmeniniais metodais, surandant sistemos charakteristikų priklausomybes nuo plataus spektro parametrų bei išorinių

poveikių. Taigi pasinaudojant gana sudėtingomis išraiškėmis yra sudaromas algoritmas ir programa, kuri padeda nustatyti informacijos praradimo tikimybę esant sistemos komponentų užimtumui arba gedimui.

Parenkant atitinkamus  $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $\mu$  parametrus braižomos tikimybių kreivės  $P = f(Y)$ , kurios parodo informacijos praradimo tikimybę. Tyrimų analizė rodo, kad matematinis KEAMS aprūpinimas yra parenkamas individualiai kiekvienam atvejui ir priklauso nuo kontroliuojamo objekto specifikos.

## 5. IŠVADOS

1. Lietuvos bei pasaulio šalių susirūpinimas EVE didinimu turėjo įtakos teisinių dokumentų, skirtų šioms klausimams spręsti, atsiradimui. Išskyrus teisinius aspektus, reikalingos tam tikros techninės priemonės energijos vartojimo efektyvumui pasiekti. *Parengta, kad* viena efektyviausių energiją taupančių techninių priemonių yra kompiuterizuotos energijos apskaitos ir monitoringo sistemų (KEAMS) įdiegimas. Kompiuterinės technikos panaudojimas šiose sistemose suteikia joms tokių papildomų savybių, kaip atsparumas gedimams bei gyvybingumas.

2. Nustatyti bendri projektavimo etapai būdingi visoms šio tipo sistemoms. Nurodyta, kad visas projektavimo procesas gali būti skirstomas į penkis pagrindinius etapus (pradinis struktūros nustatymas, funkcionavimo charakteristikų nustatymas, galutinis struktūros nustatymas, programinis ir matematinis KEAMS aprūpinimas). Kiekviename iš šių etapų yra analizuojamos KEAMS techninės charakteristikos, atskirų posistemų funkcijos ir tarpusavio suderinamumas nustatytiems tikslams pasiekti.

3. Techninis sistemos aprūpinimas turi aprėpti visą techninių priemonių kompleksą, būdingą visoms informacijos sistemoms, bei turi užtikrinti informacijos srautų apdorojimą. Informacijos srautų apdorojimo prioritetai nustatomi pasinaudojant įgyta informacija apie objektą, įvertinant jo darbo arba technologinio proceso specifiką.

4. Kuriant efektyvias kompiuterizuotas energijos apskaitos sistemas, reikia taikyti matematinius metodus bei modeliavimą, įgalinančius parinkti optimalią šių sistemų struktūrą, įvertinant atskirų elementų ryšius, bei besikeičiančius informacijos srautus. Naudojamas matematinis aparatas aprėpia analitinius, imitacinius bei skaitmeninius metodus.

5. Matematinis sistemos aprūpinimas turi užtikrinti patikimą informacijos gavimą iš objekto bei sėkmingą pačios sistemos funkcionavimą. Aprašant sistemų funkcionavimo išpildymą bei atskirų sistemos komponentų ryšius, tikslinga naudoti stochastinius procesus, nes tai tikslus matematinis aparatas, nagrinėjant skaičiavimo struktūrų funkcionavimą realiomis darbo sąlygomis.

6. Pasiūlytų sistemų įdiegimas leidžia centralizuoti energetinės sistemos apskaitą ir valdymą, padidinti įrengimų kontrolę ir naudojimo operatyvumą, energijos tiekimo patikimumą, sumažinti budintį personalą, kontroliuoti racionalų energijos suvartojimą, paruošti energijos suvartojimo balansus ir atlikti techninius ekonominius skaičiavimus.

Gauta  
2001 07 26

## Literatūra

1. Energy Charter Treaty and Related Documents. Energy Charter Secretariat. Printed with the support of Synergy Programme of the EU. Brussels, 1996. 231 p.
2. Energetikos chartijos protokolas dėl energijos efektyvumo ir su tuo susijusių aplinkosaugos aspektų (lietuviškas vertimas). PHARE projektas „Lietuvos energetikos sektoriaus teisės derinimas: apmokymas ir vertimai“. Vilnius, 1999. 7 p.
3. Nacionalinė energetikos strategija. Patvirtinta Lietuvos Respublikos Seimo 1999 m. spalio 5 d. nutarimu Nr. VIII-1348. Lietuvos energetikos institutas. Kaunas, 2000. 51 p.
4. Bachanovas P., Burba A. Energijos vartojimo procesų tyrimas panaudojant kompiuterizuotas energijos apskaitos ir monitoringo sistemas // KTU. Konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas, 2000. P. 47.
5. Фритч В. Применение микропроцессоров в системах управления. Москва, 1989. С. 464.
6. Bielinskis F. Mokslinio darbo ataskaita „Energetikos objektams skirtų kompiuterizuotų prietaisų ir valdymo sistemų funkcionavimo tyrimas“ Kaunas, LEI, 1995. P. 8.
7. Египко В. Процедуры и методы проектирования автоматизированных систем в научных исследованиях. Киев, 1982. С. 176.
8. Волков А., Волколупова Р. К вопросу об использовании методов теории графов для расчета сложных сетевых систем // Приборы и системы автоматизации. 1973. Вып. 26.
9. Шрейдер Ю. Равенство, сходство, порядок. Москва, 1971.
10. Уемов А. Методы построения и развития общей теории систем // Системные исследования. Москва, 1973.
11. Лауринавичюс А.Б. Математическое моделирование системы экспериментальных исследований с учетом надежности вычислительных приборов // Тр. АН ЛитССР. Сер. Б. 1984. Т. 1(140). С. 67–75.
12. Лауринавичюс А. Б., Биелинскис Ф. Ф. Моделирование микропроцессорных структур для исследования теплофизических процессов // Тр. АН ЛитССР. Сер. Б. 1988. Т. 3(166).
13. Биелинскис Ф. Ф., Лауринавичюс А. Б. Нанартонис А. Микропроцессорные структуры для управления теплоэнергетическими объектами // Energetika. 1994.
14. Laurinavicius A. A simulation of mikroprocessor system for parameter measurement of thermophysical processes // Informatika. 1994. Vol. 5, No. 3–4.

Feliksas Bielinskis, Piotras Bachanovas

**DESIGN OF COMPUTER-AIDED ENERGY ACCOUNTING AND MONITORING SYSTEMS**

**S u m m a r y**

In article computer-aided energy accounting and monitoring systems are analyzed and presented that these system are one of major means for effective utilization of energy. The general requirements are examined for such type of systems are revealed and offered. The analysis of design works is offered for designing is carried. The software is analysed for providing reliable functioning of systems and also are analysing the information on amount of consumed energy by object. The analysis of processes occurring in system are discussed and are carrying major principles allowing specified to create effective system of the account of energy are carried.

**Key words:** Energy Charter Threatener, increase energy efficiency, computer-aided energy accounting and monitoring systems

Феликсас Белинскис, Пётрас Бахановас

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И УЧЕТА ЭНЕРГИИ**

**Р е з ю м е**

В статье анализируются компьютерные системы мониторинга и учета энергии, как одно из важнейших технических средств для эффективного использования энергии. Выявлены и предложены общие требования, выдвигаемые для такого типа систем. Проведен анализ работ, выполняемых во время проектирования. Проанализировано математическое обеспечение, обеспечивающее надежное функционирование систем, а также информацию о количестве потребляемой энергии объектом и возможности экономить. Проведен анализ процессов, происходящих в системе во время эксплуатации, и указаны главные принципы, позволяющие создать эффективную систему учета энергии.

**Ключевые слова:** компьютерные системы мониторинга и учета энергии, Договор энергетической хартии, повышение энергоэффективности, стохастические методы