

Integruotų elektroninių sistemų efektyvumas

N. Bagdanavičius, P. Balaišis, A. Besakirskas, D. Eidukas, E. Keras, A. Žickis

Elektronikos inžinerijos katedra, Kauno technologijos universitetas,

Studentų g. 50, LT-51368 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 351389, el. p.: nerijus.b@one.lt; z_andrius@centras.lt

Įvadas

Elektroninės sistemos (ES) plinta įvairiose žmogaus veiklos srityse. Jos vis dažniau ir gausiau naudojamos apsaugos, gamybos valdymo, informacijos analizės ir kitose priemonėse. Jų gausa ir sąsajos didina struktūrų ir procesų sudėtingumą, lemia integracijos būtinumą. Integruotų ES [1] efektyvumas – dar nepakankamai išplėtotas tyrimo kryptis ir tai kelia daugybę problemų jų vartotojams [2]. ES efektyvumas priklauso nuo jų apimties, tarpusavio sąsajų patikimumo [3, 4], hierarchinių lygių skaičiaus, kiekvieno lygio sistemų rezervavimo laipsnio ir kitų ypatumų. Kuriant ir diegiant integruotas ES (IES), reikėtų žinoti šias priklausomybes ir pasirinkti geresnius sprendimus.

Šio tyrimo tikslas – įvertinti IES hierarchinių lygių įtaką jos efektyvumui, apžvelgti šių lygių optimizavimo galimybes bei nustatyti rezervavimo skirtinguose valdymo lygiuose veiksmingumą.

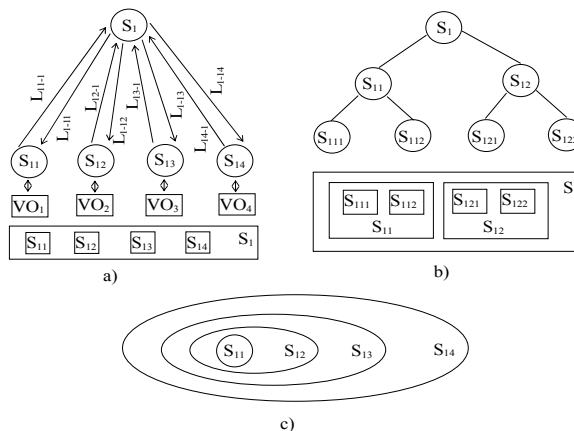
Valdymo lygių skaičiaus parinkimas

Valdymo lygių skaičius dažnai vadinamas hierarchinių lygių skaičiumi (valdymo hierarchija, hierarchiškumu ir kt.). Jį lemia valdomų ir valdymo rodiklių tarpusavio sąsajos. Pavyzdžiui, jei valdytume patikimumą ir savikainą, tai dažnai reikėtų patikimumo valdymo sistemos, savikainos valdymo sistemos bei patikimumo ir savikainos derinio valdymo sistemos. Tai jau būtų dviejų hierarchinių lygių IES. Akivaizdu, kad hierarchinių lygių skaičių lemia verčių [2] hierarchija. Būtina pabrėžti, kad tai ne valdymo operatorių (žmonių) hierarchija, o sprendimo lygių skaičius. Visoje šioje hierarchijoje (teoriškai) gali nebūti nė vieno žmogaus.

Bandant sutelkti visus sprendimus viename lygyje, susidaro pernelyg didelis valdymo (sprendimo priėmimo) modelis, iš kurio racionalių sprendimų negalima rasti net pačiomis geriausiomis priemonėmis. Be to, ieškant globaliesnio optimumo, vis vien tenka pasinaudoti žemesnių valdymo lygių paslaugomis. Pavyzdžiui, ieškant maksimalaus pelno sąlygų, tenka ieškoti optimalaus patikimumo ir kainos derinio – derinio, užtikrinančio maksimalų pelną.

Didinant hierarchinių lygių skaičių, paprastai didėja valdymo priemonių (ES) skaičius (kartu ir operatorių skaičius), atsiranda lygių sąsajų priemonės, susidaro

galimybės prarasti ar iškraipyti informaciją bei valdymo komandas, perduodant iš vieno lygio į kitą, neišvengiamai susidaro duomenų, komandų ar (ir) modelių bei tyrimų procedūrų dubliavimas, prieštaravimas. Ne visada aukštesnio lygio sistema S_1 (1 pav., a) efektyviai valdo žemesnio lygio sistemą S_{11} . Panagrinėkime 1 pav., a, pateiktą struktūrą.



1 pav. Sistemų sąsajų variantai (a – dviejų, b – trijų valdymo lygių, c – komplekso atveju)

Dažnai tokios sistemų aibės kokybę apibūdina normaliai funkcionuojančių žemesnio lygio sistemų skaičius [1]. Kiekviena žemiausio lygio sistema (pvz., S_{11}) normaliai funkcionuos tada, kai tinkamai veiks ji pati, jos sąsaja (abiem kryptimis – L_{1-11} ir L_{11-1}) su aukštesniojo lygio sistema bei aukštesniojo lygio sistema (S_1). Aukštesniojo lygio sistema tinkamai veiks, kai įvykdys savo (sistemizavimo) funkcijas ir tinkamai valdys S_{11} sistemą. Tikimybė, kad laiko momentu t , S_{11} įvykdys savo užduotį, – $E_{11}(t)$, jos sąsajos – $E_{1-11}(t)$ ir $E_{11-1}(t)$, sistema S_1 – $E_1(t)$. Todėl tikimybė, kad kairioji šaka (1 pav., a) įvykdys savo užduotį,

$$E_{11S}(t) = E_{11}(t) \cdot E_{1-11}(t) \cdot E_{11-1}(t) \cdot E_1(t) \cdot E_{11S}^{(1)}(t); \quad (1)$$

čia $E_{11S}^{(1)}(t)$ – tikimybė, kad laiko momentu t , S_1 įvykdys savo S_{11} valdymo užduotį.

$$E_{11}(t) = P_{11}(t) \cdot P'_{11}(t); \quad (2)$$

$$E_{1-11}(t) = P_{1-11}(t) \cdot P'_{1-11}(t); \quad (3)$$

$$E_{11-1}(t) = P_{11-1}(t) \cdot P'_{11-1}(t); \quad (4)$$

$$E_1(t) = P_1(t) \cdot P'_1(t); \quad (5)$$

čia kiekvienoje lygtyje pirmasis dauginamasis – tikimybė, kad laiko momentu t savo užduotį įvykdys įtaisai, o antrasis – tikimybė, kad tą užduotį įvykdys įtaisai vykstantys procesai.

Kadangi valdymo objektai VO₁ – VO₄ (1 pav., a) gali sudaryti kompleksą (kurios nors vienos paskirties įtaisų rinkinį), arba kompleksą (tarpusavyje susijusių skirtingų funkcijų sekai vykdyti skirtą įtaisų visumą), tai pirmuoju atveju (kai objektai vienodi ir atlieka tas pačias funkcijas, o žemiausio lygio sistemų efektyvumas tapatus VO efektyvumui) galima būtų tikėtis jų veikimo verčių adityvumo, t. y.

$$E_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} E_i(t); \quad (6)$$

čia n – VO skaičius; $E_i(t)$ – i -ojo VO efektyvumas.

1 pav., a, pateiktu atveju galėtume tarti, kad

$$E_{11S}^{(1)}(t) = E_{12S}^{(1)}(t) = E_{13S}^{(1)}(t) = E_{14S}^{(1)}(t) = E_{iS}^{(1)}(t); \quad (7)$$

čia $E_{iS}^{(1)}(t)$ – S₁ sistemos efektyvumas, valdant bet kurią i -ąją žemesnio lygio sistemą. Tada bendrasis visos hierarchinės sistemos (1 pav., a) efektyvumas

$$E_{\Sigma}(t) = E_1(t) \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} E_{1i}(t) \cdot E_{1i-1}(t) \cdot E_{1i-1}(t) \cdot E_{iS}^{(1)}(t). \quad (8)$$

Kai hierarchinių lygių skaičius – H , tikimybė, kad viena (pirmoji) žemiausio lygio sistema (veikiama visų aukštesniųjų lygių sistemų) tinkamai įvykdys savo užduotį, apskaičiuojama analogiškai (1), t. y.

$$E_{\Sigma 1}(t) = E_1(t) \prod_{j=2}^H E_j(t) \cdot E_{(j-1)-j}(t) \cdot E_{j-(j-1)}(t) \cdot E_{jS}^{(j-1)}(t); \quad (9)$$

čia $E_j(t)$ – j -ojo lygio sistemos (grandinėje nuo žemiausio iki aukščiausio lygio) efektyvumas laiko momentu t ; $E_{(j-1)-j}(t)$ – sąsajos $L_{(j-1)-j}$ tarp $(j-1)$ -ojo ir j -ojo lygių

sistemų efektyvumas laiko momentu t ; $E_{jS}^{(j-1)}(t)$ –

tikimybė, kad $(j-1)$ -ojo lygio sistema laiko momentu t įvykdys valdymo užduotį, valdydama j -ojo lygio sistemą.

Tada

$$E_{\Sigma}(t) = E_1(t) \cdot \sum_{i=1}^{n_H} \frac{1}{n_H} \prod_{j=2}^H E_{ji}(t) \cdot E_{((j-1)-j)i}(t) \times \\ \times E_{(j-(j-1))i}(t) \cdot E_{jS}^{(j-1)}(t); \quad (10)$$

čia $E_{ji}(t)$ – tikimybė, kad laiko momentu t i -oji j -ojo lygio sistema įvykdys savo užduotį; $E_{((j-1)-j)i}(t)$ ir $E_{(j-(j-1))i}(t)$ – tikimybė, kad sąsajos tarp i -osios $(j-1)$ -ojo lygio sistemos ir ją valdančios j -ojo lygio sistemos bei minėtos j -ojo lygio sistemos ir i -osios $(j-1)$ -ojo lygio sistemos įvykdys savo užduotį; $E_{jS}^{(j-1)}(t)$ – tikimybė, kad i -ąją $(j-1)$ -ojo lygio sistemą valdanti j -ojo lygio sistema laiko momentu t įvykdys savo užduotį – tinkamai valdys i -ąją sistemą; n_4 –

sistemų skaičius H -ajame valdymo (hierarchiniame) lygyje.

Tarkime, kad

$$E_1(t) = E_{ji}(t) = E_0 = const.; \quad (11)$$

$$E_{((j-1)-j)i}(t) = E_{(j-(j-1))i}(t) = E_r = const. \quad (12)$$

Tada iš (10) gauname, kad

$$E_{\Sigma}(t) = E_0 \cdot \sum_{i=1}^{n_H} \frac{1}{n_H} \cdot E_0^{H-1} \cdot E_r^{2(H-1)} \cdot \prod_{j=2}^H E_{jis}^{(j-1)}(t). \quad (13)$$

Kai VO sudaro kompleksą su adityviaisias efektyvumo rodikliais ir šių objektų skaičius nekinta, o $E_{jis}^{(j-1)}$ priklauso nuo H ir jam didėjant – didėja, tada (kai $E_0 = const.$), didinant valdymo lygių skaičių, dydis

$$\Delta E' = E_0^{H-1} \cdot E_r^{2(H-1)} \quad (14)$$

mažės, o dydis

$$\Delta E''(t) = \prod_{j=2}^H E_{jis}^{(j-1)}(t) \quad (15)$$

didės arba mažės priklausomai nuo funkcijos $E_{jis}^{(j-1)}(t, H)$ sąsajos su H . Todėl negalima atmesti galimybės, kad (14) ir (15) dydžių sandauga gali turėti ekstremumą (maksimumą). Optimalų struktūros variantą tokiu atveju galima būtų rasti, naudojant šį operatorių:

$$\max_H E_{\Sigma}(t, H), \quad H = 2, 3, \dots, N; \quad (16)$$

čia N – kuris nors pakankamai didelis skaičius.

Kai VO sudaro kompleksą ir VO₁ produktas lemia VO₂ produkto kokybę, VO₂ – VO₃ produkto kokybę, o VO₃ – VO₄ produkto kokybę, tada S₁₄ efektyvumas (1 pav., c)

$$E_{14}(t) = f(E_{11}(t), E_{12}(t), E_{13}(t)). \quad (17)$$

Šiuo atveju

$$E_{\Sigma}(t) = \prod_{i=1}^{n_H} E_{\Sigma i}(t) = E_1(t) \prod_{i=1}^{n_H} \prod_{j=2}^H E_{ij}(t) \cdot E_{i(j-1)-j} \times \\ \times E_{ij-(j-1)}(t) \cdot E_{ijs}^{(j-1)}(t); \quad (18)$$

čia $E_{ij}(t)$, ... – $E_j(t)$ ir kitų rodiklių vertės, valdant i -ąją žemiausio lygio sistemą. Ir šiuo atveju, ieškant optimalaus hierarchinių lygių skaičiaus, galima naudoti (16) formulėje pateiktą operatorių. Tai sudėtinga, tačiau vienkartinė procedūra, bent tam tikrą laikotarpį garantuojanti maksimalų struktūros požiūriu IES efektyvumą.

Iki šiol tiriant komplekto ir komplekso efektyvumą, antrojo lygio išsišakojimo koeficientas [2] $a = 4$, o žemesniųjų lygių – $a = 1$.

Dabar panagrinėkime 1 pav., b, pateiktą struktūrą. Šiuo atveju, kaip ir (1),

$$E'_{111}(t) = E_{111}(t) \cdot E_{111-11}(t) \cdot E_{11-111}(t) \cdot E_{12}(t) \times \\ \times E_{111S}^{(12)}(t) \cdot E_{11-1}(t) \cdot E_{1-11}(t) \cdot E_1(t) \cdot E_{11S}^{(1)}(t); \quad (19)$$

čia $E'_{111}(t)$ – bendras S_{111} sistemos efektyvumas (įvertinant valdymą iš aukštesniųjų lygių).

Bendras visos IES efektyvumas [2], nepaisant sąsajų efektyvumą bei laiko įtakos,

$$E_{\Sigma} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{M_n^{(k)}}{k!} \cdot \frac{d^k E(z)}{dz^k} \Big|_{z=0}; \quad (20)$$

čia M_n^k – k -axis pradinis normaliai funkcionuojančių žemiausiojo lygio sistemų skaičiaus pasiskirstymo momentas; $\frac{d^k E(z)}{dz^k}$ – k -oji $E(z)$ išvestinė pagal z , paskui

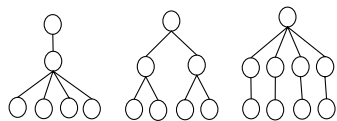
įrašant vertę $z = 0$ (taške $z = 0$); $E(z)$ – IES efektyvumo priklausomybė nuo z – normaliai funkcionuojančių žemiausiojo lygio sistemų skaičiaus. Kai žemiausiojo lygio sistemos (pvz., S_{111}) efektyvumas apibūdinamas ne vienetu, kai veikia, ir nuliu, kai neveikia, o užduoties įvykdymo tikimybe, kuri kinta laikui bėgant – $E_{111}(t)$, kai sąsajų efektyvumai kinta intervale nuo 1,0 iki 0, tada (komplekto atveju)

$$E_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^{nH} \frac{1}{nH} E'_i(t); \quad (21)$$

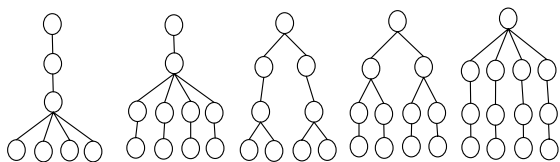
čia $E'_i(t)$ – i -osios žemiausiojo lygio sistemos efektyvumas, įvertinant valdymą iš aukštesniųjų lygių. Kai IES yra izotropinė (visų vieno lygio sistemų ir visų jų vienos krypties sąsajų efektyvumai vienodi; visos vieno lygio sistemos valdo tą patį skaičių žemesniojo lygio sistemų), tada

$$E_{\Sigma}(t) = E'_i(t). \quad (22)$$

Esant keturiems VO, galima sudaryti tik vieną dviejų lygių izotropinę IES (1 pav., a), tris trijų lygių IES (2 pav.), daugiau – keturių lygių (3 pav.) ir dar daugiau – penkių lygių (4 pav.). Visoms joms tinka (22) formulė. Tačiau atsižvelgiant į (14) ir (15) formulėmis apibūdinamas efektyvumo priklausomybes nuo H , galima teigti, kad kiekvienos (tam VO komplektui skirtos) struktūros IES efektyvumai bus kitokie (žr. (19) formulę). Tai galima pavaizduoti simboliškai (5 pav.).

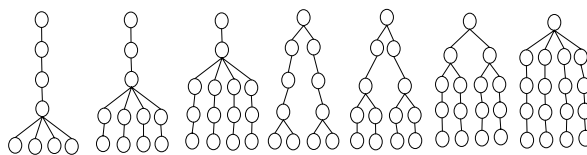


2 pav. Trijų valdymo lygių IES struktūrų variantai

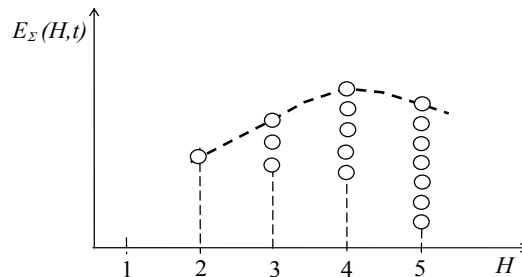


3 pav. Keturių valdymo lygių IES struktūrų variantai

Tai leidžia tikėtis, kad atitinkamais atvejais galima rasti racionaliausią IES hierarchinių lygių skaičių ir efektyviausią jos (komplekto valdymo) struktūrą.



4 pav. Penkių valdymo lygių IES struktūrų variantai



5 pav. $E_{\Sigma}(H, t)$ variantai

Kai VO sudaro ištisą kompleksą, visos izotropinės IES efektyvumas

$$E_{\Sigma}^{(k)}(t) = E_1(t) \cdot \prod_{j=2}^H E_{ij}^{n_j}(t) \cdot E_{i(j-1)-j}^{n_j}(t) \cdot E_{ij-(j-1)}^{n_j}(t) \times \\ \times [E_{ijs}^{(j-1)}(t)]^{n_j}; \quad (23)$$

čia $n_j - j$ -ojo lygio sistemų skaičius.

Optimalų komplekso valdymo IES hierarchinių lygių skaičių galima apskaičiuoti ir naudojant šį operatorių:

$$\max E_{\Sigma}^{(k)}(t) \Big|_{nH=const.}, H = 2, 3, \dots, N. \quad (24)$$

Rezervavimo laipsnių parinkimas

Kadangi net ir izotropinės IES skirtingų lygių sistemų ir jų sąsajų efektyvumai nebūtinai vienodi, išskyla racionalaus šių struktūros komponentų rezervavimo uždavinys. Spręsdami šią užduotį, tarkime, kad IES struktūra pavaizduota 1 pav., b.

Vidiniai IES nuostoliai dėl riboto VO_i darbo efektyvumo

$$C_1(t) = C_{111}[1 - E_{111}(t) \cdot E_{11}(t) \cdot E_1(t)]; \quad (25)$$

čia C_{111} – nuostoliai, kuriuos sąlygoja VO_i gedimas (sutrikimas). Komplekto atveju, kai valdymo nuostoliai yra adityvūs, visos IES nuostoliai dėl {VO_i} produktų kokybės ar praradimų

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{nH} C_i; \quad (26)$$

čia C_i – nuostoliai dėl nepakankamo i -ojo VO efektyvumo. Iš 1 pav., b, matyti, kad

$$C_{\Sigma}(t) = C_{111}[1 - E_{111}(t) \cdot E_{11}(t) \cdot E_1(t)] + \\ + C_{112}[1 - E_{112}(t) \cdot E_{11}(t) \cdot E_1(t)] + C_{121}[1 - E_{121}(t) \times \\ \times E_{12}(t) \cdot E_1(t)] + C_{122}[1 - E_{122}(t) \cdot E_{12}(t) \cdot E_1(t)] =$$

$$= C_{111} + C_{112} + C_{121} + C_{122} - \\ -E_1(t)[E_{11}(t)(C_{111} \cdot E_{111}(t) + C_{112} \cdot E_{112}(t)) + \\ + E_{12}(t)(C_{121} \cdot E_{121}(t) + C_{122} \cdot E_{122}(t))]. \quad (27)$$

Rezervuojant S_{ijk} sistemą m_{ijk} rezervinių sistemų skaičiumi,

$$E_{ijk}(t) = f(t, m_{ijk}). \quad (28)$$

Optimalūs atskirų S_{ijk} rezervavimo laipsniai apskaičiuojami naudojant šį operatorių:

$$\max_{m_{ijk}} \{E_1(t, m_1)[E_{11}(t, m_{11})(C_{111} \cdot E_{111}(t, m_{11}) + \\ + C_{112} \cdot E_{112}(t, m_{112})) + E_{12}(t, m_{12})(C_{121} \cdot E_{121}(t, m_{121}) + \\ + C_{122} \cdot E_{122}(t, m_{122}))]\} \quad (29)$$

$$\left. \begin{array}{l} k = 2 \\ j = 2 \\ i = 1 \\ i = 0 \\ j = 0 \\ k = 0 \end{array} \right\} \sum_{i=0}^k C_{ijk}^* m_{ijk} \leq C_u;$$

čia C_{ijk}^* – vienos rezervinės S_{ijk} sistemos kaina; C_n – nustatytos maksimalios išlaidos IES rezervuoti.

Iš (29) formulės matyti, kad

$$m_1 \geq m_{11} \geq m_{111}. \quad (30)$$

Akivaizdu, kad

$$m_{ijk} = f(C_{ijk}, j, a_j); \quad (31)$$

čia a_j – j -ojo hierarchinio lygio išsišakojimo koeficientas (šio lygio sistemai pavaldžių žemesniojo lygio sistemų skaičius).

N. Bagdanavičius, P. Balaišis, A. Besakirskas, D. Eidukas, E. Keras, A. Žickis. Integruotų elektroninių sistemų efektyvumas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 2(58). – P. 14–17.

Remiantis integruotų elektroninių sistemų (IES) samprata, jų integravimo būdais, suformuluota optimalaus hierarchinių lygių skaičiaus parinkimo problema. Parodyta, kad tais atvejais, kai žemiausio lygio sistemos sudaro komplektą ir kompleksą, hierarchinių lygių skaičiui parinkti reikia naudoti skirtingus operatorius. Pasiūlyta būdų, kaip parinkti optimalius šių grupių IES hierarchinių lygių skaičius. Nurodyti IES optimalaus skirtingų hierarchinių lygių rezervavimo laipsnio parinkimo būdai. Parodyta, kad IES, kurių žemiausio lygio sistemos sudaro kompleksus ir kompleksus, tų pačių hierarchinių lygių sistemų rezervavimo laipsniai yra vienodi. II. 5, bibl. 4 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų kalbomis).

N. Bagdanavičius, P. Balaišis, A. Besakirskas, D. Eidukas, E. Keras, A. Žickis. Efficiency of Integrated Electronic Systems // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 2(58). – P. 14–17.

Considering the conception of integrated electronic systems (IES) and methods of their integration, a selection problem of optimal number of hierarchical levels was formulated. It is shown, that it is advisable to use different operators in order to select number of hierarchical levels, in case if lowest-level systems form a set or a complex. Methods are offered for selection of optimal numbers of hierarchical levels of IES for these groups. Methods are indicated for selection of optimal reservation for different hierarchical levels of IES. It is shown, that in IES, in which lowest level systems form sets or complexes, reservation stages of the same hierarchical levels are identical. III. 5, bibl. 4 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

Н. Багданавичюс, П. Балайшис, А. Бэсакирскас, Д. Эйдукас, Е. Кэрас, А. Жицкис. Эффективность интегрированных электронных систем // Электроника и электротехника. – Каunas: Технология, 2005. – №. 2(58). – С. 14–17.

На основании понятия интегрированных электронных систем (ИЭС) и способов их интегрирования сформулирована проблема выбора оптимального количества их иерархических уровней. Показано, что в тех случаях, когда системы нижнего уровня составляют комплект и комплекс для выбора оптимального количества иерархических уровней необходимо применять разные операторы. Предложены способы выбора оптимального количества иерархических уровней указана ИЭС. Предложены методы выбора оптимальной степени резервирования различных иерархических уровней ИЭС. Показано, что для ИЭС, системы нижнего уровня которой составляют комплект и комплекс, оптимальные уровни их резервирования не одинаковы. III. 5, bibl. 4 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

Analogiškai galima optimizuoti sąsajų tarp sistemų rezervavimo lygį. Galima šiuos uždavinius spręsti kartu.

Pažymėtina, kad šis rezervavimo būdas tinka tik tuo atveju, kai $\{VO_i\}$ sudaro izotropinį komplektą. Tačiau nesunku užrašyti ir komplekso rezervavimo optimizavimo operatorių.

Išvados

Iš pateiktos medžiagos matyti, kad minimalių IES hierarchinių lygių skaičių dažnai lemia funkcinės $\{VO_i\}$ savybės. Tačiau negalima atmesti galimybių, kad egzistuoja racionalūs IES hierarchinių lygių skaičius.

Tinkamas šio uždavinio sprendimas gali turėti nemažą įtakos visos IES efektyvumui.

Kadangi skirtingi hierarchiniai IES lygiai daro nevienodą įtaką bendram jos efektyvumui, tai gali būti skirtingi racionalūs šių lygių sistemų rezervavimo laipsniai.

Sprendžiant IES hierarchinių lygių skaičiaus parinkimo ir jų rezervavimo uždavinius, tikslo funkcijos priklauso nuo to, kokią visumą (komplektą, ar kompleksą) sudaro šios sistemos valdymo objektai.

Literatūra

1. Balaišis P., Eidukas D., Valinevičius A., Žilys M. Informacinių elektroninių sistemų efektyvumas. – Kaunas: Technologija, 2004. – 356 p.
2. Eidukas D., Balaišis P. Elektroninių įtaisų kokybė. – Kaunas: Technologija, 1998. – 232 p.
3. Leitch R.D. Reliability Analysis for Engineers // An Introduction. – New York: Oxford Press, 1995. – 230 p.
4. Lewis E.E. Introduction to Reliability Engineering. – New York: John Wiley & Sons, 1996. – 435 p.

Pateikta spaudai 2005 02 07