

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИТУАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБИРАННЯ І ОБРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ

О.О. ПИСАРЧУК, М.О. ГУМЕНЮК, С.В. ТИМЧУК

Анотація. Розглянуто проблему підвищення ефективності функціонування автоматизованої системи збирання та оброблення інформації від технічних засобів моніторингу. Як можливий варіант вирішення проблеми запропоновано застосування ситуаційного синтезу системи. Сформовано часткові критерії оптимальності структури автоматизованої системи збирання та оброблення інформації. На основі дискретної згортки часткових критеріїв розроблено математичну модель ситуаційного синтезу системи. Для визначення необхідної кількості технічних засобів моніторингу застосовано ентропійний підхід. Проведено поділ технічних засобів моніторингу на класи й оцінено інформативність кожного класу. Застосування розробленої комплексної математичної моделі ситуаційного синтезу дозволяє оптимально за заданими показниками вибирати технічні засоби моніторингу, що будуть залучені до виконання поточного завдання системи.

Ключові слова: математична модель, автоматизована система збирання та оброблення інформації, технічні засоби моніторингу, ситуаційний синтез, дискретна згортка часткових критеріїв, ентропійний підхід.

ВСТУП

Розвиток науково-технічного прогресу у сфері інформаційних технологій останніх років спонукав до посилення ролі складних автоматизованих систем керування (АСК), застосовуваних у багатьох галузях діяльності людини. Одним з основних компонентів багатьох АСК є автоматизована система збирання та оброблення інформації (АСЗОІ) від технічних засобів моніторингу (ТЗМ). Автоматизована система збирання та оброблення інформації забезпечує пункти керування різного рівня попередньо обробленою інформацією про поточну ситуацію (обстановку) та стан системи, отриманою від ТЗМ, тим самим надаючи основу для прийняття рішення та подання відповідних команд на об'єкти керування.

Апріорна невизначеність та велике різноманіття умов функціонування АСЗОІ від ТЗМ значно знижує ефективність застосування таких систем у випадку незмінності їх структури та алгоритму функціонування. Для забезпечення належного рівня оперативності функціонування таких систем та виконання вимог до якості інформації, яку вони надають користувачам, необхідно забезпечити можливість оперативного конфігурування системи та її перенацілювання залежно від ситуації, що склалася. Вирішити цю проблему можна застосуванням до систем збирання та оброблення інформації принципів ситуаційного керування [1, 2]. Суть цього процесу для АСЗОІ полягає

у ситуативному синтезі системи якнайоптимальнішого варіанта побудови (структури) підсистеми реагування на конкретну ситуацію.

Завдання конфігурування АСЗОІ належить до класу завдань аналізу і синтезу складних систем [3–8], що передбачає визначення її структури і параметрів. Структурний синтез складних систем, як правило, включає етапи: формування вимог до системи; вибір її складових та опис порядку їх взаємодії; формування варіантів побудови системи з подальшим визначенням оптимального з них. Прикладом традиційного вирішення завдань параметричного синтезу складних систем є праці [3, 5, 6]. У класичній постановці розв'язання задачі параметричного синтезу полягає у визначенні параметрів елементів системи заданої структури. Основними недоліками класичних підходів структурного і параметричного синтезу є складність їх практичного застосування в разі розгляду різнорідних розподілених систем, а також використання здебільшого однокритерійних цільових функцій ефективності. Водночас показано, що ефективність вирішення такого класу завдань підвищується із застосуванням методів багатокритерійного аналізу [5, 7].

Мета роботи — розроблення математичної моделі ситуаційного синтезу АСЗОІ з використанням методів багатокритерійного аналізу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Ініціатором ситуаційного синтезу АСЗОІ є конфліктна ситуація (КС). Під **конфліктною ситуацією** у контексті реалізації процесу моніторингу розуміють завдання на моніторинг, або інформаційний запит користувача інформації, які не відповідають поточним завданням і виконання яких потребує переконфігурування системи [9].

Опис конфліктної ситуації реалізується таким чином. Нехай i -та ($i = 1 \dots I$) КС — KS_i характеризується множиною (формуляром), що складається з трійки: P_{ks} — ознака КС, що являє собою унікальну для кожного її типу буквено-цифрову комбінацію; T_{ks} — множина (перелік) інформаційних потреб системи з усунення КС (узгоджених з можливостями ТЗМ); $K_{r,i}$ — координати центра району ведення моніторингу. Тоді формуляр КС задається множиною $KS_i = \{P_{ks\,i}, T_{ks\,i}, K_{r\,i}\}$, $i = 1 \dots I$. У свою чергу множини (перелік) інформаційних потреб системи з усунення i -ї КС можна подати у вигляді підмножин $T_{ks\,i} = \{T_{ks\,i1}, T_{ks\,i2}, \dots, T_{ks\,iN}\}$, де N — кількість інформаційних потреб системи.

Координати центра району ведення моніторингу задаються парою $K_{r,i} = \{\varphi_{r,i}, \lambda_{r,i}\}$, де $\varphi_{r,i}$ — широта центра району; $\lambda_{r,i}$ — довгота центра району.

Технічні засоби моніторингу характеризуються трійкою: T_{ks}^I — перелік (множина) інформаційних можливостей ТЗМ; TX — перелік (множина) технічних характеристик (ТХ) засобу, що забезпечують його можливості; K_z — координати ТЗМ (широта, довгота): $I_{ks\,f} = \{T_{ks\,f}^I, TX_f, K_{z\,f}\}$.

Частинні показники і критерії оптимальності структури та параметри для виконання поточного завдання частини системи формуються шляхом розв’язання декомпозиційної задачі встановлення показників для кожного типу ТЗМ зі складу АСЗОІ з урахуванням вимог ефективності розв’язання цільових задач системою [10]. Реалізація цього процесу дозволяє виокремити такі частинні показники.

1. Множина технічних характеристик ТЗМ

$$TX_i = \{TX_{i1}, TX_{i2}, \dots, TX_{iN}\}, \quad (1)$$

де N — кількість технічних характеристик типу ТЗМ. Для кожного типу ТЗМ притаманні власні технічні характеристики.

2. Відображення множини інформаційних потреб системи з усунення КС на множину інформаційних можливостей ТЗМ:

$$T_{Vj} = T_{ksi} T_{ksj}^I. \quad (2)$$

Інформаційні потреби відповідно до КС та інформаційні можливості ТЗМ формуються таким чином:

- формується вичерпний перелік усіх можливих інформаційних потреб АСЗОІ (приклад наведено в табл. 1);
- для кожної КС задається двійкова послідовність, у якій «1» відповідає інформаційній потребі із загального переліку, яка стосується цієї КС, а «0» — іншим потребам з переліку;
- для кожного ТЗМ аналогічно задається двійкова послідовність інформаційних можливостей, яка також визначається із загального переліку.

Таблиця 1. Приклад сформованого переліку інформаційних потреб системи

Позначення	Опис
T_{ks1}	Спостереження та виявлення об’єктів
T_{ks2}	Вимірювання відстані до об’єктів
T_{ks3}	Ведення фотозйомки об’єктів
T_{ks4}	Ведення відеозйомки об’єктів
T_{ks5}	Розпізнавання об’єктів
T_{ks6}	Визначення координат об’єктів
T_{ks7}	Перехоплення змістовної інформації
T_{ks8}	Реєстрація та аналіз радіовипромінювань

Відображення знаходиться як результат застосування побітного логічного “Г” між двома двійковими послідовностями. Для числової характеристики відображення застосовується скалярне число N_{T_V} , яке дорівнює кількості одиниць у результуючій двійковій послідовності.

3. Відстань від ТЗМ до центра району ведення моніторингу D визначається так:

$$D_i = \Delta\sigma_i R,$$

$$\Delta\sigma_i = \arctan \frac{\sqrt{(\cos \varphi_2 \sin \Delta\lambda)^2 + (\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda)^2}}{\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda}, \quad (3)$$

де $\Delta\sigma$ — кутова різниця; $R = 6372795$ м — радіус Землі; φ_1, φ_2 — широта центра району ведення моніторингу та ТЗМ відповідно; $\Delta\lambda$ — різниця координат по довготі.

Таким чином, маємо перелік частинних показників оптимальності, застосованих для ситуаційного синтезу АСЗОІ відповідно до конкретної КС (1)–(3). При цьому оптимальною буде структура системи, що забезпечує задоволення найбільшої кількості інформаційних потреб, заданих формуляром КС $N_{T_V} \rightarrow \max$; найменшої відстані від центра району ведення моніторингу до ТЗМ $D \rightarrow \min$ з найкращими технічними характеристиками $TX \rightarrow \max$.

Таким чином, маємо систему критеріальних вимог для реалізації структурно-параметричного синтезу:

$$\begin{cases} N_{T_V} \rightarrow \max, \\ D \rightarrow \min, \\ TX \rightarrow \max. \end{cases} \quad (4)$$

Аналіз системи частинних критеріїв (4) дозволяє виявити їх суперечність, що є ознакою багатокритерійності. Тому для розв'язання багатокритерійної задачі структурно-параметричного синтезу використаємо нелінійну схему компромісів у формі дискретної згортки [11, 12]

$$Y(y_0) = \sum_{k=1}^s [1 - y_{0k}(x)]^{-1}, \quad (5)$$

де y_{0k} — нормований частинний критерій оптимальності; s — кількість частинних критеріїв оптимальності.

Для випадку мінімізованих критеріїв агрегації частинні критерії оптимальності нормуються окремо для мінімізованих y_{0l}^{\min} і максимізованих y_{0l}^{\max} [12]:

$$y_{0l}^{\min} = y_l^{\min} \left[\sum_{i=1}^N y_{li}^{\min} \right]^{-1}; \quad y_{0l}^{\max} = \left(y_l^{\max} \sum_{i=1}^N \frac{1}{y_{li}^{\max}} \right)^{-1}. \quad (6)$$

Реалізувавши нормування частинних критеріїв (6) відповідно до виразу (5) отримуємо *оптимізаційну математичну модель структурно-параметричного синтезу АСЗОІ*:

$$\Psi_j = (1 - N_{T_V j_0})^{-1} + (1 - D_{j_0})^{-1} + (1 - TX_{\Sigma j_0})^{-1} \rightarrow \min. \quad (7)$$

У виразі (7) через $TX_{\Sigma j_0}$ позначено нормоване значення інтегрального показника технічної досконалості ТЗМ, яке формується для кожного

$$TЗМ \text{ як нелінійна згортка (5) його технічних характеристик: } TX_{\Sigma j 0} = \sum_{l=1}^m [1 - TX_{0l}]^{-1} \rightarrow \min.$$

Нормування значень технічних характеристик виконується для кожної характеристики за всіма ТЗМ, для яких вона властива за виразами (6).

Обмеження на кількість використовуваних ТЗМ накладається значенням N_{ARM}^{opt} [13, 14]. Для кожної конкретної ситуації зазначена кількість не є сталою і заздалегідь відомою величиною. Оскільки АСЗОІ містить у своєму складі значну кількість різномірних ТЗМ, кожному виду яких властиві специфічні характеристики ефективності виконання завдань, виникають труднощі у виведенні функціональної залежності показника ефективності від кількості задіяних ТЗМ. Для вирішення цього завдання досить часто використовується ентропійний підхід [15, 16], що дає змогу оцінити ефективність застосування множини ТЗМ за умови їх різномірності. Тому пропонується застосовувати цей підхід для визначення видів ТЗМ, які необхідно залучити для виконання поточного завдання.

Для реалізації ентропійного підходу необхідно знати ентропію системи (АСЗОІ) за кожною поточною ситуацією та інформативність видів ТЗМ. Для виконання розрахунків у межах зазначеного підходу подамо АСЗОІ як об'єднання двох залежних систем — множини класів ТЗМ A та сукупності можливих станів АСЗОІ X .

Ентропія множини ТЗМ за умови перебування системи у стані x_k визначається за виразом [17]

$$H(A | x_k) = - \sum_{i=1}^n p(A_i | x_k) \log p(A_i | x_k), \quad (8)$$

де $p(A_i | x_k)$ — ймовірність використання i -го класу ТЗМ за умови перебування АСЗОІ у k -му стані; n — кількість класів ТЗМ.

Припустімо, що ймовірності застосування кожного з класів ТЗМ є однаковими. Тоді умовні ймовірності $p(A_i | x_k)$ визначатимемо за виразом

$$p(A_i | x_k) = \frac{1}{N_k}, \quad (9)$$

де N_k — кількість ненульових двійкових послідовностей, що є результатами застосування логічної побітної операції «І» між формулярами ТЗМ та послідовністю, що визначає поточний стан системи.

Поточний стан АСЗОІ задається як восьмипозиційна двійкова послідовність, у якій кожен біт відповідає інформаційній потребі системи (табл. 1). Усього існує $2^8 = 256$ можливих станів системи, кожному з яких відповідає цифровий код, що являє собою десятковий вигляд двійкової послідовності (табл. 2).

Таблиця 2. Приклад формування кодів поточних ситуацій

Код поточного стану	Інформаційна потреба							
	T_{ks1}	T_{ks2}	T_{ks3}	T_{ks4}	T_{ks5}	T_{ks6}	T_{ks7}	T_{ks8}
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1
...
255	1	1	1	1	1	1	1	1

Інформаційні потреби, які можуть бути задоволені використанням того чи іншого ТЗМ, задаються формуляром засобу. Для прикладу наведено поділ ТЗМ за значеннями формулярів на 6 класів (табл. 3)

Таблиця 3. Поділ ТЗМ на класи за змістом формулярів

Клас ТЗМ	Формуляр							
	I_{ks1}	I_{ks2}	I_{ks3}	I_{ks4}	I_{ks5}	I_{ks6}	I_{ks7}	I_{ks8}
I	1	1	0	0	1	0	0	0
II	0	0	1	1	1	1	0	0
III	0	0	0	0	1	1	0	0
IV	0	0	0	0	0	0	1	1
V	0	0	0	0	1	1	0	1
VI	0	0	0	0	0	1	0	0

Припустімо, що апіорні ймовірності перебування АСЗОІ у k -му стані $p(x_k)$ і використання i -го класу ТЗМ $p(A_i)$ є відомими і становлять:

$$p(x_k) = \frac{1}{256} \approx 0,00391; \quad p(A_i) = \frac{1}{6} \approx 0,16667.$$

Знайдемо інформативності класів ТЗМ, які в загальному випадку можна оцінити як різницю початкової ентропії множини можливих станів АСЗОІ $H(X)$ та умовної ентропії сукупності можливих станів АСЗОІ за умови, що застосовується клас ТЗМ A_i $H(X | A_i)$ [18]:

$$I(A_i) = H(X) - H(X | A_i). \tag{10}$$

Початкова ентропія множини можливих станів АСЗОІ визначається за виразом

$$H(X) = - \sum_{k=1}^m p(x_k) \log p(x_k), \tag{11}$$

де $p(x_k)$ — апіорна ймовірність перебування АСЗОІ у стані x_k ; m — кількість можливих станів АСЗОІ.

Для обчислення умовної ентропії сукупності можливих станів АСЗОІ, якщо застосовується клас ТЗМ A_i , необхідно мати умовні ймовірності перебування АСЗОІ у стані x_k за умови використання класу ТЗМ A_i $p(x_k | A_i)$:

$$H(X | A_i) = - \sum_{k=1}^m p(x_k | A_i) \log p(x_k | A_i). \quad (12)$$

Умовні ймовірності перебування АСЗОІ у стані x_k за умови використання класу ТЗМ A_i знаходять за виразом (формулою Байєса):

$$p(x_k | A_i) = \frac{p(x_k)p(A_i | x_k)}{p(A_i)}, \quad (13)$$

де $p(A_i)$ — апіорна ймовірність застосування класу ТЗМ A_i .

На підставі виразів (8)–(13) отримано такі результати:

1) інформативність класів ТЗМ: $I(A_1) = 0,313$; $I(A_2) = 0,206$; $I(A_3) = 0,414$; $I(A_4) = 0,502$; $I(A_5) = 0,216$; $I(A_6) = 0,994$;

2) значення ентропії за кожною поточною ситуацією $H(A | x_k)$.

У випадку, коли відомо, які класи ТЗМ застосовуються для виконання поточного завдання системи, умовна ентропія множини ТЗМ за умови перебування системи у стані x_k дорівнює 0 ($H^*(A | x_k) = 0$). Тому для прийняття рішення про те, які класи ТЗМ слід застосувати, потрібно отримати кількість інформації $I(x_k) = H(A | x_k) - H^*(A | x_k) = H(A | x_k) - 0 = H(A | x_k)$, що дорівнює значенню умовної ентропії множини ТЗМ за умови перебування системи у стані x_k .

Які саме класи ТЗМ необхідно застосувати, визначимо шляхом перевірки умови:

$$I(x_k) \leq \sum_{i=1}^N I(A_i), \quad (14)$$

де N — кількість залучених класів ТЗМ.

Крім того, перевіряється, чи задовольняє клас ТЗМ хоча б одну з інформаційних потреб, заданих формуляром поточної ситуації:

$$T_{KS} \wedge I_k^{TZR} \neq 0, \quad (15)$$

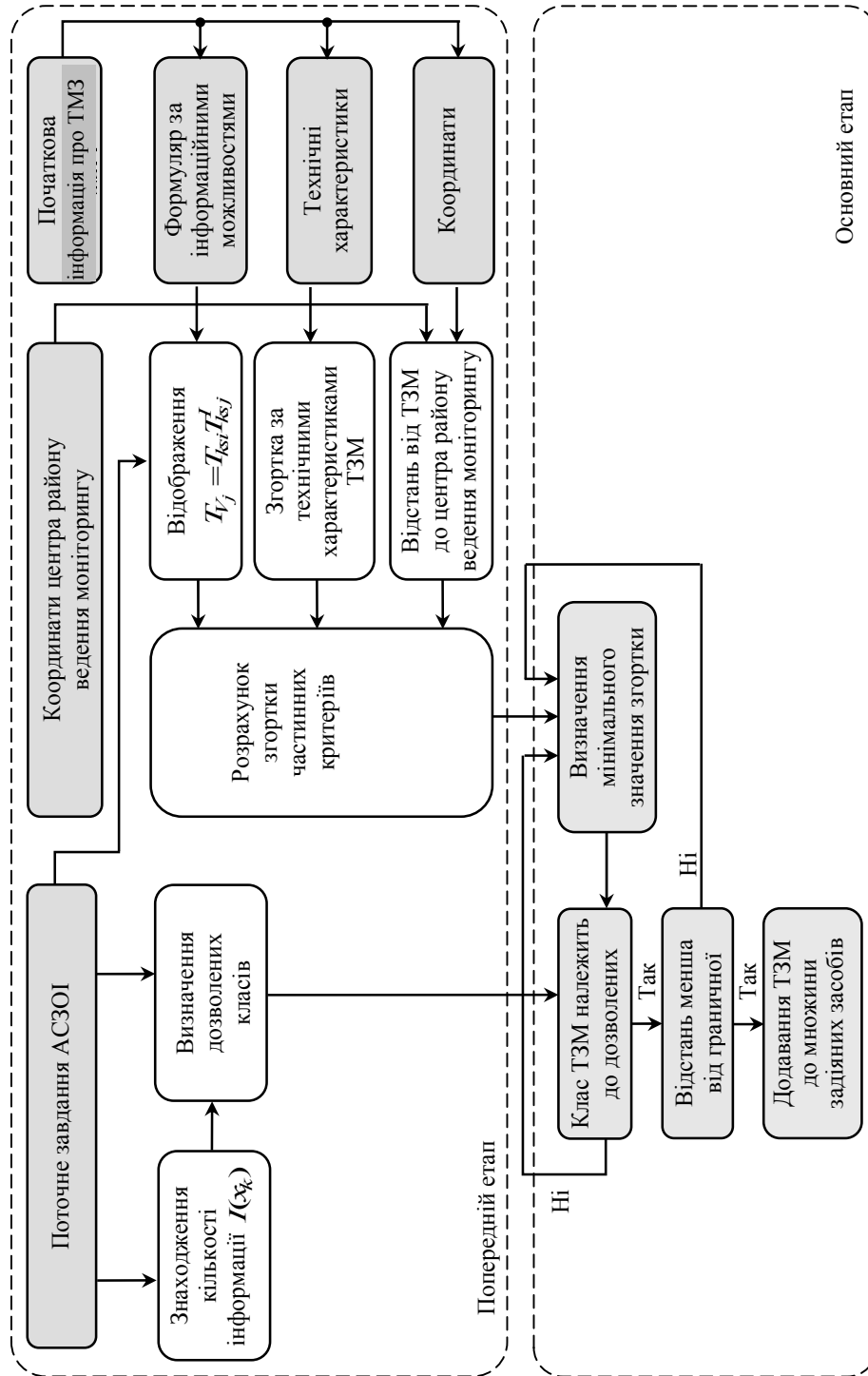
де T_{KS} — формуляр поточного стану системи; I_k^{TZR} — формуляр за інформаційними можливостями k -го класу ТЗМ.

У разі виконання умов (14), (15) приймається рішення про додавання класу ТЗМ до множини дозволених класів. Після визначення множини дозволених класів ТЗМ виконується розрахунок значення згортки частинних критеріїв (7) для кожного ТЗМ зі складу АСЗОІ.

Власне ситуаційний синтез АСЗОІ (вибір ТЗМ, що залучатимуться до виконання поточного завдання системи) здійснюється по черговим вибором засобів з найменшим значенням згортки та одночасної перевірки належності ТЗМ до дозволеного класу. Оскільки кожний ТЗМ має обмеження за дальністю дії, додатково перевіряється умова наявності засобу на відстані від центра району виконання поточного завдання АСЗОІ не більшої, ніж гранична для даного ТЗМ:

$$D_{ij} \leq D_{i \max},$$

де D_{ij} — поточна відстань від j -го ТЗМ i -го виду до центра району виконання завдання; $D_{i \max}$ — максимальна дальність дії ТЗМ i -го виду.



Загальна схема проведення ситуативного синтезу АСЗЩ

У разі виконання умов приймається рішення про додавання i -го ТЗМ до множини засобів, залучених до виконання поточного завдання. У разі зміни завдання відбувається реконфігурація системи. Загальну схему проведення ситуаційного синтезу АСЗОІ показано на рисунку.

ВИСНОВКИ

Ефективність функціонування АСЗОІ визначається рівнем оперативності функціонування системи та виконанням вимог до якості інформації, яку вона надає користувачам. Один зі способів підвищення ефективності полягає у застосуванні ситуаційного синтезу системи найбільш оптимального варіанта побудови (структури) підсистеми реагування на конкретну ситуацію.

Побудована математична модель ситуаційного синтезу АСЗОІ від ТЗМ дозволяє вибрати ТЗМ для виконання поточного завдання системи з використанням дискретної згортки частинних критеріїв оптимальності. На відміну від відомих моделей забезпечено можливість визначати кількість використовуваних різнорідних ТЗМ та їх класів, що стало можливим завдяки застосуванню ентропійного підходу та введенню додаткових обмежувальних умов за дальністю дії ТЗР.

Напрямом подальших досліджень є врахування у математичній моделі ситуаційного синтезу АСЗОІ можливості зміни ТЗМ свого положення у процесі виконання поточного завдання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Косс В.А. Особливості процедур планового й кризового управління військовими формуваннями / В.А. Косс // Наука і оборона. — 2004. — № 1. — С. 25–32.
2. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А.Поспелов. — М.: Наука, 1986. — 288 с.
3. Антушев Г.С. Методы параметрического синтеза сложных технических систем / Г.С. Антушев. — М.: Наука, 1986. — 88 с.
4. Баранов Г.Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г.Л. Баранов, А.В. Макаров. — К.: Наук. думка, 1986. — 272 с.
5. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике / Т.Р. Брахман. — М.: Радио и связь, 1984. — 288 с.
6. Основы моделирования сложных систем: учеб. пособие для студ. вузов / Под ред. И.В. Кузьмина. — К.: Высш. шк., 1981. — 360 с.
7. Сложные технические и эргатические системы: метод использования / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиатдинов, А.В. Харченко, В.В. Осташевский. — Х.: Факт, 1997. — 240 с.
8. Цвиркун А. Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун. — М.: Наука, 1982. — 200 с.
9. Даник Ю.Г. Математичне забезпечення автоматизованої системи збору та обробки інформації від технічних засобів моніторингу / Ю.Г. Даник, О.О. Писарчук, С.В. Тимчук // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. — 2015. — № 2 (27). — С. 44–53.

10. Харченко В.П. Нелінійне та багатокритеріальне моделювання процесів у системах керування рухом: моногр. / В.П. Харченко, О.О. Писарчук. — К.: Ін-т обдарованої дитини, 2015. — 248 с.
11. Воронин А.Н. Многокритериальные решения: модели и методы: моногр. / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, М.В. Куклинский. — К.: НАУ, 2011. — 348 с.
12. Даник Ю.Г. Методика структурно-параметрического синтеза сложной эргатической распределенной информационно-управляющей системы реагирования на конфликтные ситуации / Ю.Г. Даник, А.А. Писарчук // Проблемы управления и информатики. — 2014. — № 2. — С. 80–101.
13. Мельник А.Л. Методика оптимізації структури системи місцевизначення на основі різнотипних засобів / А.Л. Мельник, О.О. Писарчук // Вісн. ЖДТУ. Технічні науки. — 2009. — № 3 (50). — С. 153–160.
14. Писарчук О.О. Методика визначення оптимальної просторової структури багатопозиційної інформаційної системи за нелінійною схемою компромісів [Електронний ресурс] / О.О. Писарчук // Проблеми телекомунікацій. — 2010. — № 2. — С. 107–116 — Режим доступу: http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102_pisarchuk_compromises.pdf.
15. Файнзильберг Л.С. Математические методы оценки полезности диагностических признаков : моногр./ Л.С. Файнзильберг — К.: «Освіта України», 2010. — 152 с.
16. Анисимов Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений : учеб. пособие для студ. вузов / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин. — М.: Высш. шк., 1983. — 295 с.
17. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. — М.: Наука, 1969. — 576 с.
18. Горелик А.Л. Современное состояние проблемы распознавания / А.Л. Горелик, И.Б. Гуревич, В.А. Скрипник. — М.: Радио и связь, 1985. — 160 с.

Надійшла 16.11.2016