

УДК 004732; 621.396

DOI: 10.31673/2412-9070.2019.052734

К. П. СТОРЧАК<sup>1</sup>, доктор техн. наук, доцент;О. А. МАШКОВ<sup>2</sup>, доктор техн. наук;В. Р. КОСЕНКО<sup>1</sup>, канд. техн. наук,<sup>1</sup> Державний університет телекомунікацій, Київ<sup>2</sup> Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ

## ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РАНЖУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ДЛЯ СИНТЕЗУ СТРУКТУРИ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ

*Розглянуто технологію застосування методів ранжування показників якості для синтезу структури складної системи. Запропоновано виокремити чотири характерних напрямки в процесі побудови складної системи: працездатність, оптимальність, вартість, ефективність. Для синтезу структури складної системи пропонується скористатися одним із інструментів кластерного аналізу — методом аналізу ієрархій. Запропонована технологія передбачає виконання таких процедур: побудови багаторівневої ієрархії проблеми, попарного порівняння елементів ієрархії на другому рівні, попарного порівняння елементів ієрархії на третьому рівні для кожного з критерію ефективності методології проектування, визначення пріоритетів критеріїв, визначення узагальненої ваги напрямків відносно до головної мети (ефективності методології), визначення пріоритетних напрямків побудови складної системи за максимальним впливом на головну мету. Запропоновану технологію синтезу структури складної системи розглянуто на модельному прикладі.*

**Ключові слова:** багаторівнева ієрархія; критерій ефективності; метод аналізу ієрархій; метод ранжування; показник якості; складна система.

### Вступ

Останніми роками надзвичайної актуальності набули завдання щодо впровадження нових ефективних технічних засобів, які уможливили здійснення автоматизованого збору диспетчерської інформації з рухомих об'єктів, а також передавання інформації на об'єкти оброблення інформації та прийняття управлінських рішень. Технічно це завдання може бути виконано цілою низкою засобів як стаціонарних, так і мобільних (із використанням аерокосмічних технологій).

Створення таких систем дасть змогу забезпечити автоматизований збір інформації щодо дислокації рухомих об'єктів, обслуговуваних у рамках даної системи незалежно від їх місцезнаходження на Земній кулі, тобто в глобальному режимі. При цьому засоби системи будуть автоматично обчислювати географічні координати місцеперебування об'єктів та направляти їх до відповідних диспетчерських пунктів користувачів. Також необхідну інформацію з ініціативи диспетчера з диспетчерського пункту можна як запитати з об'єкта, так і передати її на об'єкт.

Засоби системи уможливають не тільки розв'язання комерційних цілей керування, а й забезпечать підвищення безпеки руху об'єктів, сприяючи охороні людського життя. Дані стосовно дислокації аварійних об'єктів можуть бути передані у відповідні пошуково-рятувальні служби.

Однією з основних особливостей сучасності є стрімкий розвиток складних систем різноманітного призначення (керування, інформаційних, організаційних, технічних, діагностики тощо). Це потребує вжиття заходів щодо наукового та технологічного підтримання їх розроблення та впровадження. Одним із таких заходів є удосконалення методології проектування складних систем відповідно до вимог та завдань майбутнього. Оскільки проектування завжди було рухомим процесом, його методологія вдосконалювалась залежно від мети проектування, вимог до нових зразків систем, зовнішніх умов їх функціонування та досягнутого рівня наукового забезпечення.

**Аналіз останніх публікацій.** Проведений аналіз свідчить, що значний внесок у теорію і практику проектування інтегрованих автоматизованих систем підтримання прийняття рішень зробили В. М. Глушков, І. В. Сергієнко, М. Д. Месарович, І. Такахара, І. І. Мойсєєв, Д. А. Поспелов, Т. П. Подчасова, А. А. Первозванський та ін.

Проблеми інтеграції в ієрархічних системах досліджено в працях таких науковців, як А. М. Азізов, В. С. Михалевич, Л. С. Сікора та ін.; проблеми телекомунікацій, зв'язку, оброблення сигналів — в роботах Я. П. Драгана, В. М. Безрука, В. О. Омельченка, О. В. Тимченка та ін.

Для систем із невизначеністю за дії зовнішніх факторів розроблено нечіткі моделі керування на основі інформаційних та нейромережних технологій, які, певною мірою, моделюють інтелектуальні процеси формування й прийняття рішень, що розглянуто в працях таких вчених, як М. З. Згуровський, Р. А. Алієв, П. І. Бідюк, Є. В. Бодяньський, О. І. Міхальов, А. Н. Меліхов та ін.

Інформація, розміщена в моделі складної системи, відбивається через структуру техногенної системи, і процес її функціонування оцінюється оператором, що є необхідним для побудови відповідних процедур і рішень під час надзвичайних ситуацій. Використання логіки для опису подій і процедур прийняття рішень забезпечує конструктивність обчислювання й інших процесів під час формування образів ситуацій та тверджень про них, а також послідовних сценаріїв дій. Але якщо на цьому етапі використовуються тільки евристичні процедури прийняття рішень, то з ускладненням ситуації вони можуть бути недостатніми для планування адекватних дій.

Глобальну теорію аналізу і синтезу екосистем висвітлено в працях П. Бертокса, Р. А. Буня, В. І. Вернадського, М. А. Голубця.

Значний внесок у теорію і практику проектування систем зі сталою структурою, які розв'язуються на основі системного аналізу, теорії прийняття рішень за допомогою інтегрованих автоматизованих систем підтримання прийняття рішень зробили В. М. Глушков, І. В. Сергієнко, М. Д. Месарович, І. Такаха, І. І. Мойсєєв, Д. А. Поспелов, Т. П. Подчасова, А. А. Первозванський, В. П. Деркач, О. В. Палагін, М. І. Васюхін, В. Є. Ходаков, А. О. Каргін, І. І. Коваленко, В. Г. Шерстюк, О. І. Рязанцев, І. С. Скарга-Бандурова та ін.

При цьому проведений аналіз результатів досліджень вказує на відсутність у них комплексного підходу щодо синтезу складних систем керування, які здатні ефективно функціонувати за умов надзвичайних ситуацій.

Для систем із невизначеністю за дії зовнішніх факторів розроблено нечіткі моделі керування на основі інформаційних та нейромережних технологій, які, певною мірою, моделюють інтелектуальні процеси формування і прийняття рішень, що розглянуто в працях М. З. Згуровського, Р. А. Алієва, П. І. Відюка, Є. В. Бодяньського, Е. Г. Петрова, В. В. Крючковського, О. І. Міхальова, А. Н. Мєліхова та ін.

Питання реалізації проектів та розроблення науково-методичних засад керування проектами підготовки професійних спеціалістів різних сфер, зокрема і рятувальної, розглядали у своїх наукових працях такі українські та зарубіжні вчені, як С. Д. Бушуєв, С. К. Чернов, В. А. Рач, Ю. М. Тєсля, А. О. Білощицький, Ю. П. Рак, В. К. Кошкін, Н. С. Рулікова, В. Д. Гогунський, А. Ю. Борзенко-Мірошніченко, Х. Танака, М. М. Козяр, О. М. Медведева, О. Б. Зачко та ін. Проте зазначені науковці у своїх роботах недостатньо висвітлювали ранжування показників якості для синтезу структури складної системи.

Таким чином, сьогодні і надалі залишається актуальним розв'язання науково-прикладного завдання вибору напрямків розвитку, удосконалення наявних, побудови перспективних складних систем, наприклад телекомунікаційних систем, систем екологічного моніторингу навколишнього середовища, систем дистанційного зондування Землі тощо.

**Постановка завдання.** У статті розглянуто технологію застосування методів ранжування показників якості для синтезу структури складної системи. За показники функціонування складної системи пропонується брати таке: працездатність, оптимальність, вартість, ефективність. Отже, завдання синтезу структури складної системи є одним із інструментів кластерного аналізу — методом аналізу ієрархій, що набув сьогодні особливої актуальності. Щоб схарактеризувати новий підхід до розв'язання зазначених наукових завдань, визначимо особливості застосування методу аналізу ієрархій для окреслення пріоритетних напрямків побудови складної системи за максимальним впливом на головну мету її функціонування.

### Основна частина

Запропонована технологія (ранжування показників якості функціонування) передбачає виконання таких процедур: побудови багаторівневої ієрархії проблеми, попарного порівняння елементів ієрархії на другому рівні, попарного порівняння елементів ієрархії на третьому рівні для кожного з критерію ефективності методології проектування, визначення пріоритетів критеріїв, визначення узагальненої ваги напрямків відносно головної мети (ефективність методології), визначення пріоритетних напрямків побудови складної системи за максимальним впливом на головну мету.

Відомо, що завдання визначення ваги значущості за великої кількості параметрів є складним і таким, що великою мірою впливає на результати синтезу складної системи. Проведений аналіз дає змогу виокремити чотири характерних напрямки у процесі побудови складної системи.

**Перший напрямок (працездатність)** характеризується практично повною відсутністю досвіду розв'язання нових проектних завдань, а зчаста і методів проектування складних об'єктів. При цьому використовуються вузькоспеціальні методи проектування, які забезпечують розроблення елементів систем, здатних функціонувати у складі цілого.

**Другий напрямок (оптимальність)** — удосконалення методології проектування та покращення характеристик розроблюваної системи. Характерна риса цього напрямку полягає в тому, що головну

увагу приділено проектуванню за критерієм оптимізації окремих показників якості функціонування системи (наприклад, максимізації прибутку, скороченню тривалості робіт, мінімізації маси конструкцій тощо).

**Третій напрямок (вартість)** характерний тим, що на зміну методології, яка гарантує створення «оптимальної» технічної системи, прийшла методологія, мета якої забезпечити максимальну економічну ефективність проектованої системи.

**Четвертий напрямок (ефективність)** характеризується застосуванням системного підходу, що передбачає максимально можливу повноту врахування різноманітних наслідків розроблення та експлуатації складних систем. Головна особливість цього етапу — багатокритеріальність та істотне розширення меж об'єкта проектування, врахування взаємодії проектованої системи та зовнішнього середовища на всіх стадіях життєвого циклу.

Беручи до уваги складність та тривалість створення нової методології у повному обсязі, доцільнішим буде розв'язати це завдання поетапно. На кожному з етапів здійснюється порівняльний аналіз можливих напрямків розвитку технічної системи з метою визначення їх відносної важливості та черговості розроблення.

Для вирішення цієї проблеми скористаємось одним з інструментів кластерного аналізу — методом аналізу ієрархій. Суть методу полягає в такому.

#### 1. Побудова багаторівневої ієрархії проблеми.

**Перший рівень** визначає головну мету її розроблення ефективної методології проектування.

**Другий рівень** — сукупність критеріїв  $I_{2i}$ ,  $i = 1, k$ , за якими будемо порівнювати різні підходи під час вибору «найкращої» методології. Як такі підходи на другому рівні можуть використовуватись:

$I_{21}$  — повнота врахування факторів, які впливають на якість проектованої системи;

$I_{22}$  — адекватність методології прогнозованій реальності (відповідність до вимог та завдань майбутнього);

$I_{23}$  — довготривалість, або здатність урахувувати наслідки функціонування проектованої системи в майбутньому;

$I_{24}$  — реалізованість, або можливість використання методології у практиці проектування з прийнятними витратами (часу, матеріальних засобів тощо).

**Третій рівень**  $I_{31}, \dots, I_{3l}$  — сукупність критеріїв, за якими будемо порівнювати можливі напрями розвитку методології проектування. За такі напрями на третьому рівні може бути взято:

$I_{31}$  — формування вирішень із урахуванням потреб не тільки найближчого, а й віддаленого майбутнього (забезпечення ефективності на великому часовому інтервалі);

$I_{32}$  — зміну системи критеріїв, які визначають ефективність системи (економічність, безпеку, надійність тощо);

$I_{33}$  — розвиток системних методів проектування з метою не тільки враховувати наслідки вирішень, які приймаються, а й керувати цими наслідками. Йдеться про перехід від проектування об'єкта до проектування майбутнього штучного середовища, що виходить за межі будь-якої однієї вузької спеціальності в галузі проектування складних систем;

$I_{34}$  — створення системи, яка забезпечує прогнозування можливостей об'єкта, який проектується;

$I_{35}$  — прийняття системою багатоаспектних вирішень за умов появи нових вимог до проектованого об'єкта, нових технологій, зміни параметрів зовнішнього середовища;

$I_{36}$  — пошук та використання розробок та технологій в інших галузях науки та техніки, що уможлиблює отримання нових ідей та вирішень.

#### 2. Попарне порівняння елементів ієрархії на другому рівні $I_{2i} \sim I_{2j}$ , $i \neq j$ , $i, j = 1, 4$ .

◆ Складемо матрицю попарних порівнянь критеріїв (табл. 1). По діагоналі матриці записуються одиниці.

Таблиця 1

Для $I_{21}$	$I_{31}$	$I_{32}$	$I_{3i}$	$I_{3l}$	$\tilde{P}_2(\bullet)$
$I_{31}$	1	$\alpha_{21}^{22}$	$\alpha_{21}^{2i}$	$\alpha_{21}^{2k}$	$\tilde{P}_2(I_{21})$
$I_{32}$	$\alpha_{22}^{21}$	1	$\alpha_{22}^{2i}$	$\alpha_{22}^{2k}$	$\tilde{P}_2(I_{22})$
$I_{3i}$	$\alpha_{2i}^{21}$	$\alpha_{2i}^{22}$	1	$\alpha_{2s}^{2k}$	$\tilde{P}_2(I_{2i})$
$I_{3l}$	$\alpha_{2k}^{21}$	$\alpha_{2k}^{22}$	$\alpha_{2k}^{2i}$	1	$\tilde{P}_2(I_{2k})$

◆ Виконуємо порівняння в нормалізованій формі відносно відповідних  $I_{2j}$  головної мети  $I_1$ . Результат порівняння  $\alpha_{2n}^{2m}$ ,  $n, m = 1, \bar{k}$  має суб'єктивний характер, тобто не може бути строго формалізованим.

Практика свідчить, що таке порівняння зручно виконувати за шкалою 0-10. Результат порівняння характеризує відношення ваги  $I_{2i}$ ,  $I_{2j}$ , тобто у скільки разів вплив критерію  $I_{2i}$ , є важливішим, ніж

вплив  $I_{2j}$  на головну мету  $I_1$ . Таким чином, параметр  $\alpha_{2n}^{2m}$  буде характеризувати вагу критерію  $I_{2n}$  відносно критерію  $I_{2m}$  за впливом на загальний критерій  $I_1$ :

$$\alpha_{21}^{22} = \frac{I_{21}}{I_{22}}; \alpha_{21}^{2i} = \frac{I_{21}}{I_{2i}}; \alpha_{21}^{2k} = \frac{I_{21}}{I_{2k}}; \alpha_{2j}^{2j} = 1;$$

$$\alpha_{2n}^{2m} = \frac{I_{2n}}{I_{2m}}, \quad m, n = 1, \bar{k},$$

причому

$$\alpha_{2n}^{2m} = \frac{1}{\alpha_{2m}^{2n}} = [\alpha_{2m}^{2n}]^{-1}.$$

♦ Встановлюємо пріоритети  $\tilde{P}_2(I_{2k})$  критеріїв  $I_{2i}$ ,  $i = 1, k$  як нормовану суму рядків елементів матриці парних порівнянь. Попередньо визначимо суму рядків елементів матриці

$$P_2(I_{21}) = 1 + \alpha_{21}^{22} + \dots + \alpha_{21}^{2i} + \dots + \alpha_{21}^{2k} = \sum_{r=1}^k \alpha_{21}^{2r};$$

$$P_2(I_{22}) = \alpha_{22}^{21} + 1 + \dots + \alpha_{22}^{2i} + \dots + \alpha_{22}^{2k} = \sum_{r=1}^k \alpha_{22}^{2r};$$

$$P_2(I_{2i}) = \alpha_{2i}^{22} + \alpha_{2i}^{21} + \dots + 1 + \dots + \alpha_{2i}^{2k} = \sum_{r=1}^k \alpha_{2i}^{2r};$$

$$P_2(I_{2k}) = \alpha_{2k}^{21} + \alpha_{2k}^{22} + \dots + \alpha_{2k}^{2i} + \dots + 1 = \sum_{r=1}^k \alpha_{2k}^{2r}.$$

Пріоритети критеріїв другого рівня обчислюємо через нормування сум рядків

$$\tilde{P}_2(I_{21}) = \frac{P_2(I_{21})}{\sum_{r=1}^k P_2(I_{2r})}; \quad \tilde{P}_2(I_{22}) = \frac{P_2(I_{22})}{\sum_{r=1}^k P_2(I_{2r})}; \quad \tilde{P}_2(I_{2i}) = \frac{P_2(I_{2i})}{\sum_{r=1}^k P_2(I_{2r})}; \quad \tilde{P}_2(I_{2k}) = \frac{P_2(I_{2k})}{\sum_{r=1}^k P_2(I_{2r})}.$$

Тобто

$$\tilde{P}_2(I_{2i}) = \frac{\sum_{r=1}^k \alpha_{2i}^{2r}}{\sum_{r=1}^k \alpha_{21}^{2r} + \sum_{r=1}^k \alpha_{22}^{2r} + \dots + \sum_{r=1}^k \alpha_{2k}^{2r}} = \frac{\sum_{r=1}^k \alpha_{2i}^{2r}}{\sum_{s=1}^k \sum_{r=1}^k \alpha_{2s}^{2r}}.$$

3. Парне порівняння елементів ієрархії на третьому рівні для кожного  $I_{3i} \sim I_{3j}$ ,  $i \neq j$ ,  $i, j = 1, 6$  з елементів ієрархії на другому рівні (табл. 2, 3, 4, 5).

Таблиця 2

Для $I_{21}$	$I_{31}$	$I_{32}$	...	$I_{3i}$	...	$I_{3l}$	$1 \tilde{P}(\bullet)$
$I_{31}$	1	$l \beta_{31}^{32}$	...	$l \beta_{31}^{3i}$	...	$l \beta_{31}^{3l}$	$1 \tilde{P}(I_{31})$
$I_{32}$	$l \beta_{32}^{31}$	1	...	$l \beta_{32}^{3i}$	...	$l \beta_{32}^{3l}$	$1 \tilde{P}(I_{32})$
...	...	...	1	...	...	...	...
$I_{3i}$	$l \beta_{3i}^{31}$	$l \beta_{3i}^{32}$	...	1	...	$l \beta_{3i}^{3l}$	$1 \tilde{P}(I_{3i})$
...	...	...	...	...	1	...	...
$I_{3l}$	$l \beta_{3l}^{31}$	$l \beta_{3l}^{32}$	...	$l \beta_{3l}^{3i}$	...	1	$1 \tilde{P}(I_{3l})$

Таблиця 3

Для $I_{21}$	$I_{31}$	$I_{32}$	...	$I_{3i}$	...	$I_{3l}$	$2 \tilde{P}(\bullet)$
$I_{31}$	1	$2 \beta_{31}^{32}$	...	$2 \beta_{31}^{3i}$	...	$2 \beta_{31}^{3l}$	$2 \tilde{P}(I_{31})$
$I_{32}$	$2 \beta_{32}^{31}$	1	...	$2 \beta_{32}^{3i}$	...	$2 \beta_{32}^{3l}$	$2 \tilde{P}(I_{32})$
...	...	...	1	...	...	...	...
$I_{3i}$	$2 \beta_{3i}^{31}$	$2 \beta_{3i}^{32}$	...	1	...	$2 \beta_{3i}^{3l}$	$2 \tilde{P}(I_{3i})$
...	...	...	...	...	1	...	...
$I_{3l}$	$2 \beta_{3l}^{31}$	$2 \beta_{3l}^{32}$	...	$2 \beta_{3l}^{3i}$	...	1	$2 \tilde{P}(I_{3l})$



Таблиця 4

Для $I_{21}$	$I_{31}$	$I_{32}$	...	$I_{3i}$	...	$I_{3l}$	${}_j\tilde{P}(\bullet)$
$I_{31}$	1	${}_j\beta_{31}^{32}$	...	${}_j\beta_{31}^{3i}$	...	${}_j\beta_{31}^{3l}$	${}_j\tilde{P}(I_{31})$
$I_{32}$	${}_j\beta_{32}^{31}$	1	...	${}_j\beta_{32}^{3i}$	...	${}_j\beta_{32}^{3l}$	${}_j\tilde{P}(I_{32})$
...	...	...	1	...	...	...	...
$I_{3i}$	${}_j\beta_{3i}^{31}$	${}_j\beta_{3i}^{32}$	...	1	...	${}_j\beta_{3i}^{3l}$	${}_j\tilde{P}(I_{3i})$
...	...	...	...	...	1	...	...
$I_{3l}$	${}_j\beta_{3l}^{31}$	${}_j\beta_{3l}^{32}$	...	${}_j\beta_{3l}^{3i}$	...	1	${}_j\tilde{P}(I_{3l})$

Таблиця 5

Для $I_{21}$	$I_{31}$	$I_{32}$	...	$I_{3i}$	...	$I_{3l}$	${}_k\tilde{P}(\bullet)$
$I_{31}$	1	${}_k\beta_{31}^{32}$	...	${}_k\beta_{31}^{3i}$	...	${}_k\beta_{31}^{3l}$	${}_k\tilde{P}(I_{31})$
$I_{32}$	${}_k\beta_{32}^{31}$	1	...	${}_k\beta_{32}^{3i}$	...	${}_k\beta_{32}^{3l}$	${}_k\tilde{P}(I_{32})$
...	...	...	1	...	...	...	...
$I_{3i}$	${}_k\beta_{3i}^{31}$	${}_k\beta_{3i}^{32}$	...	1	...	${}_k\beta_{3i}^{3l}$	${}_k\tilde{P}(I_{3i})$
...	...	...	...	...	1	...	...
$I_{3l}$	${}_k\beta_{3l}^{31}$	${}_k\beta_{3l}^{32}$	...	${}_k\beta_{3l}^{3i}$	...	1	${}_k\tilde{P}(I_{3l})$

Порівняння виконують аналогічно в нормованій формі. Елементи матриці парних порівнянь мають такі відношення критеріїв  $I_{3i}$  та  $I_{3j}$ ,  $i, j = 1, \bar{l}$  до ступеня їх впливу на  $I_{2l}$ ,  $l = 1, \bar{k}$ :

$${}_l\beta_{3n}^{3m} = \frac{I_{3n}}{I_{3m}}, \quad m, n = 1, \bar{l}; \quad {}_l\beta_{3l}^{3l} = 1.$$

4. Визначення пріоритетів  ${}_i\tilde{P}(I_{3i})$   $j = 1, \bar{l}$ ,  $i = 1, \bar{k}$  критеріїв  $I_{3i}$ , як нормовану суму рядків елементів відповідної матриці парних порівнянь

$${}_1P_3(I_{31}) = 1 + {}_1\beta_{31}^{32} + \dots + {}_1\beta_{31}^{3i} + \dots + {}_1\beta_{31}^{3l} = \sum_{r=1}^{\bar{l}} {}_1\beta_{31}^{3r};$$

$${}_1P_3(I_{32}) = {}_1\beta_{32}^{31} + 1 + \dots + {}_1\beta_{32}^{3i} + \dots + {}_1\beta_{32}^{3l} = \sum_{r=1}^{\bar{l}} {}_1\beta_{32}^{3r};$$

$${}_kP_3(I_{3i}) = \sum_{r=1}^{\bar{l}} {}_k\beta_{3i}^{3r}.$$

5. Визначення узагальненої ваги напрямків відносно головної мети (ефективність методології).

Урахування впливу критеріїв другого рівня на третій (рисунок) може бути здійснено відповідною корекцією елементів матриці  $\tilde{P}_3$ , яка складається з пріоритетів критеріїв  $I_{3i}$  (див. табл. 2, 3, 4, 5) і має назву матриці пріоритетів напрямків. Стовпчиками матриці  $\tilde{P}_3$  є стовпчики праворуч у табл. 2, 3, 4, 5:

$$\tilde{P}_3 = \begin{bmatrix} {}_1\tilde{P}_3(I_{31}) & {}_2\tilde{P}_3(I_{31}) & \dots & {}_k\tilde{P}_3(I_{31}) \\ {}_1\tilde{P}_3(I_{32}) & {}_2\tilde{P}_3(I_{32}) & \dots & {}_k\tilde{P}_3(I_{32}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ {}_1\tilde{P}_3(I_{3l}) & {}_2\tilde{P}_3(I_{3l}) & \dots & {}_k\tilde{P}_3(I_{3l}) \end{bmatrix}.$$

Далі визначаємо модифіковану матрицю  ${}_M\tilde{P}_3$  пріоритетів  $\tilde{P}_3$  з урахуванням пріоритетів критеріїв  $\tilde{P}_2$ . Матрицю  ${}_M\tilde{P}_3$  дістаємо через множення матриці  $\tilde{P}_3$  на діагональну матрицю  $\tilde{P}_2$ , де

$$\tilde{P}_2 = \begin{bmatrix} \tilde{P}_2(I_{21}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \tilde{P}_2(I_{22}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tilde{P}_2(I_{2i}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_2(I_{2k}) \end{bmatrix};$$

$${}_M \tilde{P}_3 = \tilde{P}_3 \tilde{P}_2 = \begin{bmatrix} \tilde{P}_2(I_{21}) \cdot \tilde{P}_3(I_{31}) & \tilde{P}_2(I_{22}) \cdot \tilde{P}_3(I_{31}) & \dots & \tilde{P}_2(I_{2k}) \cdot \tilde{P}_3(I_{31}) \\ \tilde{P}_2(I_{21}) \cdot \tilde{P}_3(I_{32}) & \tilde{P}_2(I_{22}) \cdot \tilde{P}_3(I_{32}) & \dots & \tilde{P}_2(I_{2k}) \cdot \tilde{P}_3(I_{32}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{P}_2(I_{21}) \cdot \tilde{P}_3(I_{3l}) & \tilde{P}_2(I_{22}) \cdot \tilde{P}_3(I_{3l}) & \dots & \tilde{P}_2(I_{2k}) \cdot \tilde{P}_3(I_{3l}) \end{bmatrix}$$

Узагальнення ваги  $V$  напрямків  $I_{3i}, i=1, \bar{l}$  відносно головної мети  $I_1$  відшукуємо множенням матриці  ${}_M \tilde{P}_3$  на поодинокий вектор  $l_{(l)}, l_{(l)} \in R^l$ :

$$V = {}_M \tilde{P}_3 \cdot 1_{(l)} = [V_1 V_2 \dots V_l]^T;$$

$$\tilde{P}_2(I_{21}) \cdot \tilde{P}_3(I_{31}) + \tilde{P}_2(I_{22}) \cdot \tilde{P}_3(I_{31}) + K + \tilde{P}_2(I_{2k}) \cdot \tilde{P}_3(I_{31}) = \sum_{i=1}^k \tilde{P}_2(I_{2i}) \cdot \tilde{P}_3(I_{31});$$

$$\tilde{P}_2(I_{21}) \cdot \tilde{P}_3(I_{32}) + \tilde{P}_2(I_{22}) \cdot \tilde{P}_3(I_{32}) + K + \tilde{P}_2(I_{2k}) \cdot \tilde{P}_3(I_{32}) = \sum_{i=1}^k \tilde{P}_2(I_{2i}) \cdot \tilde{P}_3(I_{32});$$

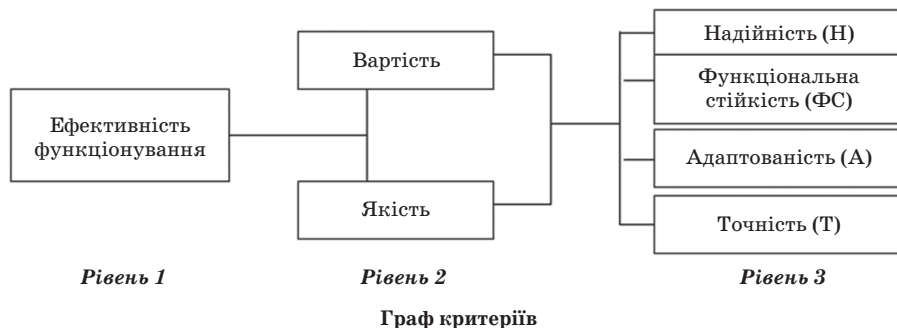
$$\tilde{P}_2(I_{21}) \cdot \tilde{P}_3(I_{3l}) + \tilde{P}_2(I_{22}) \cdot \tilde{P}_3(I_{3l}) + K + \tilde{P}_2(I_{2k}) \cdot \tilde{P}_3(I_{3l}) = \sum_{i=1}^k \tilde{P}_2(I_{2i}) \cdot \tilde{P}_3(I_{3l}).$$

6. Визначення пріоритетних напрямків побудови складної системи за максимальним впливом на головну мету  $I_1$ :

$$V_i : \max[V_1 V_2 \dots V_l].$$

#### Модельний приклад

Запропоновану процедуру синтезу структури складної системи розглянемо на модельному прикладі визначення перспективних напрямків системи, у якій граф критеріїв та відповідну матрицю парних порівнянь другого рівня подано відповідно на рисунку та в табл. 6.



Таблиця 6

Ефективність	Вартість	Якість	$\Sigma$	Пріоритети _
Вартість	1	0,5	1,5	0,33
Якість	2	1	3	0,66

Матриці парних порівнянь третього рівня унаочнюють табл. 7, 8.

Таблиця 7

Вартість	Н	ФС	А	Т	$\Sigma$	
Н	1	0,2	5	0,5	6,7	0,26
ФС	5	1	2	0,5	7,5	0,29
А	0,2	0,5	1	5	6,7	0,26
Т	2	2	0,2	1	5,2	0,19

Таблиця 8

Вартість	Н	ФС	А	Т	$\Sigma$	
Н	1	1	0,2	0,2	2,4	0,09
ФС	2	1	4	0,5	7,5	0,28
А	5	0,2	1	0,5	6,7	0,25
Т	5	2	2	1	10	0,38

Матриця узагальнених ваг:

$$\tilde{P}_3 = \begin{bmatrix} 0,26 & 0,09 \\ 0,29 & 0,28 \\ 0,26 & 0,25 \\ 0,19 & 0,38 \end{bmatrix}.$$

Модифікована матриця:

$${}^M \tilde{P}_3 = \begin{bmatrix} 0,26 & 0,09 \\ 0,29 & 0,28 \\ 0,26 & 0,25 \\ 0,19 & 0,38 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,33 & 0 \\ 0 & 0,66 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0858 & 0,0594 \\ 0,0957 & 0,1848 \\ 0,0858 & 0,1650 \\ 0,0627 & 0,2508 \end{bmatrix}.$$

Узагальнені ваги:

$$V = \begin{bmatrix} 0,0858 & 0,0594 \\ 0,0957 & 0,1848 \\ 0,0858 & 0,1650 \\ 0,0627 & 0,2508 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1452 \\ 0,2805 \\ 0,2508 \\ 0,3135 \end{bmatrix}.$$

Таким чином, пріоритетними напрямками є напрямки  $V_4$  та  $V_2$ , тобто для розглядуваної системи найбільш важливими є точність функціонування та функціональна стійкість.

### Висновок

Запропонований підхід доцільно використовувати під час вибору напрямків розвитку, удосконалення наявних, побудови перспективних складних систем, наприклад телекомунікаційних систем, систем екологічного моніторингу навколишнього середовища, систем дистанційного зондування Землі тощо. Подальшим етапом удосконалення запропонованої методології багатокритеріального синтезу є теоретичне обґрунтування виважених коефіцієнтів парних порівнянь із урахуванням експертних оцінок наявних та бажаних характеристик перспективних систем. Це дасть можливість підвищити ефективність функціонування, відшукати найкращий компроміс між суперечливими показниками якості функціонування системи, вибрати та обґрунтувати пріоритетні напрямки розвитку складних систем.

### Список використаної літератури

1. **Машков О. А., Баранов Г. Л., Косенко В. Р.** Критерії діагностування в функціонально стійких системах управління: зб. наук. праць / Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI'2013. Євпаторія, 2013. С. 61–65.
2. **Машков О. А., Косенко В. Р.** Проблеми створення функціонально стійкої автоматизованої системи управління рухомих об'єктів: зб. наук. праць / Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI'2012. Євпаторія, 2012. С. 497–508.
3. **Машков О. А., Косенко В. Р.** Розробка алгоритмів синтезу оновлюючого керування для інформаційно-керуючих комплексів рухомих об'єктів // Моделювання та інформаційні технології. 2011. Вип. 62. С. 208–225.
4. **Машков О. А., Косенко В. Р.** Задача синтезу оновлюючого керування при побудові функціонально-стійких бортових інформаційно-керуючих комплексів // Моделювання та інформаційні технології. 2011. Вип. 61. С. 202–229.
5. **Машков О. А., Косенко В. Р.** Синтез функціонально-стійкої системи керування рухомих об'єктом із заданими динамічними властивостями: зб. наук. праць / Ін-т проблем моделювання в енергетиці НАН України. 2011. Вип. 60. С. 186–214.
6. **Машков О. А., Косенко В. Р.** Прийняття управлінських рішень в складних організаційних системах з погляду системного підходу (частина 1): зб. наук. праць / Ін-т проблем моделювання в енергетиці НАН України. 2010. Вип. 55. С. 131–148.
7. **Mashkov O., Kosenko V.** Ensuring of functional stability of difficult dynamic systems as one of urgent scientific tasks of modern theory of automatic control / Informatics Control Measurement in Economy and Environment Protection: Informatyka Automatyka Pomiaru w gospodarce i ochronie środowiska // Kwartalnik Naukowo-Techniczny 3/2015. P. 39–42.
8. **Машков О. А., Косенко В. Р.** Розвиток теорії функціональної стійкості, як стійкості функціонала якості складної системи // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: матеріали міжнар. наук. конф. Херсон: ХНТУ, 2016. С. 93–104.

9. Машков О. А., Косенко В. Р. Математичні моделі і методи забезпечення функціональної стійкості ієрархічних організаційних систем управління // *Авіаційна та екстремальна психологія у контексті технологічних досягнень X Міжнар. наук.-практ. конф.: (м. Київ, 25-26 травня 2017 р.)*. Київ: Аграр Медіа Груп, 2017. С. 162–169.

10. Машков О. А., Косенко В. Р. Технологія системного підходу до забезпечення функціональної стійкості системи керування // *Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: матеріали міжнар. наук.ї конф. Херсон: ХНТУ, 2017. С. 94–104.*

11. Машков О. А., Косенко В. Р., Сметанин К. В. Аналіз радіолиній зв'язи з беспилотними летальними апаратами при екологічному моніторингу // *Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: матеріали міжнар. наук. конф. Херсон: ХНТУ, 2018. С. 77–83.*

К. П. Сторчак, О. А. Машков, В. Р. Косенко

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА РАНЖИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДЛЯ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрена технология применения методов ранжирования показателей качества для синтеза структуры сложной системы. Предложено выделить четыре характерных направления в процессе построения сложной системы: работоспособность, оптимальность, стоимость, эффективность. Для синтеза структуры сложной системы предлагается воспользоваться одним из инструментов кластерного анализа — методом анализа иерархий. Предложенная технология предусматривает выполнение следующих процедур: построения многоуровневой иерархии проблемы, попарного сравнения элементов иерархии на втором уровне, попарного сравнения элементов иерархии на третьем уровне для каждого из критерия эффективности методологии проектирования, определения приоритетов критериев, определения обобщенного веса направлений по отношению к главной цели (эффективность методологии), определения приоритетных направлений построения сложной системы по максимальному воздействию на главную цель. Предложенная технология синтеза структуры сложной системы рассмотрена на модельном примере.

**Ключевые слова:** многоуровневая иерархия; критерий эффективности; метод анализа иерархий; метод ранжирования; показатель качества; сложная система.

K. P. Storchak, O. A. Mashkov, V. R. Kosenko

### APPLICATION TECHNOLOGY OF RATING QUALITY INDICATORS METHODS FOR COMPLEX SYSTEM STRUCTURE SYNTHESIS

The application technology of rating quality indicators methods for complex system structure synthesis is considered. It is proposed to distinguish four characteristic directions in the process of building a complex system: efficiency, optimality, cost, efficiency. To synthesize the structure of a complex system, it is proposed to use one of the tools of cluster analysis — the method of analysis of hierarchies. The proposed technology involves the following procedures: construction of a multilevel hierarchy of the problem, pairwise comparison of elements of the hierarchy at the second level, pairwise comparison of elements of the hierarchy at the third level for each criterion of the effectiveness of the design methodology, determining the priorities of the criteria, and determining methodology), determination of priority directions of construction of complex system with maximum influence on the main goal. The proposed technology for synthesis of the structure of a complex system is considered in the model example.

The proposed approach is appropriate to use in choosing the directions of development, improvement of existing, construction of perspective complex systems, such as telecommunication systems, systems of environmental monitoring, systems of the Earth remote sensing and etc. The next step in improving the proposed multicriteria synthesis methodology is to theoretically substantiate the weighted coefficients of pairwise comparisons, taking into account expert assessments of perspective systems existing and desired characteristics. It will allow to increase efficiency of functioning, to find the best compromise between contradictory indicators of quality of functioning of the system, to select and substantiate priority directions of complex systems development

**Keywords:** multilevel hierarchy; efficiency criterion; method of hierarchy analysis; ranking method; quality index; complex system.