

УДК 62.50

**С. М. Куземко, к. т. н., доц.; В. М. Мельничук****УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ВИБОРУ  
ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В  
КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ**

*Запропоновано та проведено експериментальні дослідження удосконаленого методу аналізу ієрархій, що ґрунтується на інтервальному оцінюванні переваг критеріїв та альтернатив.*

**Ключові слова:** прийняття рішень, інтервальні обчислення, багатокритеріальні задачі.

**Вступ**

На сьогодні в комп'ютерних і телекомунікаційних мережах широко використовують різноманітні системи та засоби захисту інформації. Вони мають забезпечувати захист на належному рівні й водночас не повинні бути занадто складними та вартісними в розробці та функціонуванні [1].

Оскільки для систем захисту інформації загалом характерна велика кількість критеріїв, які, як правило, конфліктують між собою (наприклад, ціна – якість), то вибір конкретної архітектури системи захисту інформації є складною, багатопараметричною, оптимізаційною задачею, яка в значній мірі залежить від системи переваг особи або осіб, що здійснюють вибір [2].

На сьогодні для розв'язання задач прийняття рішень з багатьма критеріями існує багато методів: методи зведення критеріїв до одного (методи головної компоненти, комплексного критерію, справедливого компромісу, Гермейєра, побудови та аналізу множини Еджворта – Парето) та методи дослідження психологічних особливостей особи, що приймає рішення (ОПР) (багатокритеріальна теорія корисності, метод аналізу ієрархій, методи ранжування багатокритеріальних альтернатив) [3].

Для розв'язання задачі вибору оптимальної системи захисту інформації більш доцільним вважається використання методів, що ґрунтуються на дослідженні психологічних особливостей ОПР [3]. З цієї групи найпоширенішим і найпростішим для сприйняття є метод аналізу ієрархій. Але цей метод не дозволяє повністю описати невизначеності системи переважань ОПР. Також його неможливо використовувати у випадку декількох ОПР, що мають конфліктуючі системи переважань. Тому доцільним є удосконалення методу аналізу ієрархій.

**Постановка завдання**

Поставимо завдання розробки та дослідження методу вибору оптимальної системи захисту інформації у випадку декількох ОПР або наявності невизначеностей у системі переважань ОПР. Для цього розглянемо удосконалений метод аналізу ієрархій.

**Удосконалений метод аналізу ієрархій**

Традиційний метод аналізу ієрархій був запропонований Сааті [4]. У методі використовується дерево критеріїв, у якому спільні критерії поділяються на критерії приватного характеру. Для кожної групи критеріїв визначають коефіцієнти важливості. Альтернативи також порівнюються між собою за окремими критеріями. Засобом визначення коефіцієнтів важливості критеріїв та альтернатив є попарне порівняння. Результат порівняння оцінюється за бальною шкалою. На основі таких порівнянь обчислюють

коефіцієнти важливості критеріїв, оцінки альтернатив і знаходять спільну оцінку як зважену суму оцінок критеріїв. Використання бального оцінювання не дозволяє описувати невизначеності системи переважань ОПР або приймати групові рішення [4].

З метою розв'язання поставленого завдання запропонуємо удосконалений метод аналізу ієрархій, якій базується на використанні інтервальних оцінок переважності критеріїв та альтернатив. Удосконалений метод аналізу ієрархій містить такі етапи:

1. Структування задачі у вигляді ієрархічної структури:

- цілі;
- критерії;
- альтернативи.

2. Шляхом опитування ОПР або групи ОПР із використанням інтервальної бальної шкали заповнюють матрицю попарних порівнянь за переважністю для критеріїв. Визначають відносні коефіцієнти значущості критеріїв за такою формулою:

$$\bar{w}_i = n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \bar{q}_{ij}},$$

де  $\bar{w}_i$  – інтервальна оцінка відносного коефіцієнта важливості критерію  $Q_i$ ;  $\bar{q}_{ij}$  – інтервальна бальна оцінка переваги критерію  $Q_i$  над критерієм  $Q_j$ .

3. Шляхом опитування ОПР або групи ОПР із виростанням інтервальної бальної шкали заповнюють матрицю попарних порівнянь для альтернатив за кожним із критеріїв. Визначають відносні коефіцієнти значущості критеріїв за такою формулою:

$$\bar{V}_{jk} = n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \bar{a}_{ij}^k},$$

де  $\bar{V}_{jk}$  – інтервальне значення відносного коефіцієнта значущості альтернативи  $a_j$  за критерієм  $Q_k$ ;  $\bar{a}_{ij}^k$  – інтервальна бальна оцінка переважності альтернативи  $a_i$  над альтернативою  $a_j$  за критерієм  $Q_k$ .

4. Обчислюють кількісний індикатор якості кожної альтернативи за формулою:

$$\bar{Q}^{rn}(a_j) = \sum_{i=1}^N \bar{w}_i \bar{V}_{ji},$$

де  $\bar{Q}^{rn}(a_j)$  – інтервальна глобальна оцінка альтернативи  $a_j$ .

Під час групового прийняття рішення на етапі 2 та 3 кожна ОПР будує матриці попарних порівнянь критеріїв та альтернатив. Після цього обчислюють загальні матриці попарних порівнянь критеріїв та альтернатив за формулами:

$$\bar{q}_{ij} = [q_{1ij}; q_{2ij}] = \left[ \min_g \{q^g_{1ij}\}; \max_g \{q^g_{2ij}\} \right]$$

$$\bar{a}_{ij}^k = [a^k_{1ij}; a^k_{2ij}] = \left[ \min_g \{q^{gk}_{1ij}\}; \max_g \{q^{gk}_{2ij}\} \right]$$

де  $q^g_{1ij}$  та  $q^g_{2ij}$  – нижня та верхня границя інтервальної бальної оцінки переважності критерію  $Q_i$  над критерієм  $Q_j$   $g$ -тої ОПР;  $a^{gk}_{1ij}$  та  $a^{gk}_{2ij}$  – інтервальна бальна оцінка переваги альтернативи  $a_i$  над альтернативою  $a_j$  за критерієм  $Q_k$   $g$ -тої ОПР.

Арифметичні операції над інтервальними оцінками виконуються за такими формулами: [5]:

$$a + b = c = [c_1; c_2] = [a_1 + b_1; a_2 + b_2]$$

$$a \times b = c = [c_1; c_2] = [\min\{a_i \times b_j\}; \max\{a_i \times b_j\}]$$

$$\sqrt[n]{a} = c = [c_1; c_2] = [\min\{\sqrt[n]{a_i}\}; \max\{\sqrt[n]{a_i}\}]$$

$$\frac{1}{a} = c = [c_1; c_2] = \left[ \min\left\{\frac{1}{a_i}\right\}; \max\left\{\frac{1}{a_i}\right\} \right]$$

де  $a = [a_1; a_2]$  та  $b = [b_1; b_2]$  – інтервальні числа.

Експериментальні дослідження запропонованого методу проведемо на прикладі розв'язання багатокритеріальної задачі вибору оптимальної системи захисту за різних умов. У першому випадку задача характеризується невизначеностями в системі переваги однієї ОНР, в іншому – наявністю двох ОНР із суперечливими системами переваг.

### Експериментальні дослідження

Розглянемо загальну умову задачі вибору оптимальної системи захисту інформації:

Потрібно вибрати СЗІ, яка відповідала б таким вимогам: максимальний ступінь захисту, невисока ціна, зручність у обслуговуванні.

Наявні три альтернативи:

$a_1$  – ступінь захисту – надзвичайно високий, дуже дорога СЗІ, дуже складна в обслуговуванні;

$a_2$  – ступінь захисту – високий, дорога СЗІ, складна в обслуговуванні;

$a_3$  – ступінь захисту – помірно високий, недорога СЗІ, нескладна в обслуговуванні.

Щоб розв'язати багатокритеріальну задачу ПР, треба визначити  $a_{opt} \in \{a_1, a_2, a_3\}$ .

Задачі вибору оптимальної СЗІ характеризується такими критеріями:

$Q_1$  – ступінь захисту;

$Q_2$  – ціна;

$Q_3$  – складність у обслуговуванні.

Для попарних порівнянь критеріїв та альтернатив використаємо таку шкалу відносної значущості:

#### Шкала відносної значущості

Інтенсивність відносної значущості	Визначення
1	рівна значущість
3	помірна перевага
5	істотна перевага
7	сильна перевага
9	дуже сильна перевага
2, 4, 6, 8	проміжні значення

*Перший випадок* – одна ОНР з невизначеностями в системі переважань.

З використанням інтервальних оцінок було побудовано матрицю попарних порівнянь для критеріїв, на основі якої за допомогою запропонованих формул обчислено відносні коефіцієнти значущості критеріїв. Результати обчислень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

## Матриця попарних порівнянь для критеріїв

	Q <sub>1</sub> (ст. захисту)	Q <sub>2</sub> (ціна)	Q <sub>3</sub> (скл. обслуг.)	Власний вектор
Q <sub>1</sub> (ст. захисту)	1	[2; 4]	[5; 6]	[2,16; 2,88]
Q <sub>2</sub> (ціна)	$\frac{1}{[2;4]}$	1	[3; 4]	[0,91; 1,26]
Q <sub>3</sub> (скл. обслуг.)	$\frac{1}{[5;6]}$	$\frac{1}{[3;4]}$	1	[0,35; 0,4]

Елементи власного вектора обчислюються як корінь степеня N із добутку елементів відповідного рядка матриці, їх значення – це ВКВК відповідних критеріїв.

Побудуємо шляхом опитування ОПР матриці попарних порівнянь для альтернатив за кожним критерієм і за допомогою запропонованих формул визначимо відповідні інтервальні оцінки коефіцієнтів значущості альтернатив. Результати наведено в табл. 2 – 3.

Таблиця 2

Матриця попарних порівнянь для альтернатив за критеріями Q<sub>1</sub> та Q<sub>2</sub>

Q <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	Власний вектор	Q <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	Власний вектор
a <sub>1</sub>	1	[3; 4]	[4; 5]	[2,29; 2,7]	a <sub>1</sub>	1	$\frac{1}{[3;4]}$	$\frac{1}{[7;8]}$	[0,31; 0,36]
a <sub>2</sub>	$\frac{1}{[3;4]}$	1	[2; 3]	[0,79; 1]	a <sub>2</sub>	[3; 4]	1	$\frac{1}{[4;5]}$	[0,84; 1]
a <sub>3</sub>	$\frac{1}{[4;5]}$	$\frac{1}{[2;3]}$	1	[0,4; 0,5]	a <sub>3</sub>	[7; 8]	[4; 5]	1	[3,04; 3,42]

Таблиця 3

Матриця попарних порівнянь для альтернатив за критеріями Q<sub>3</sub>

Q <sub>3</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	Власний вектор
a <sub>1</sub>	1	$\frac{1}{[3;4]}$	$\frac{1}{[6;8]}$	[0,32; 0,38]
a <sub>2</sub>	[3; 4]	1	$\frac{1}{[3;4]}$	[0,91; 1,1]
a <sub>3</sub>	[6; 8]	[3; 4]	1	[2,62; 3,17]

Обчислимо глобальний критерій для кожної альтернативи:

$$Q^{2n}(a_1) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{1i} = [5,34; 8,36],$$

$$Q^{2n}(a_2) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{2i} = [2,78; 4,58],$$

$$Q^{2n}(a_3) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{3i} = [4,55; 7,01].$$

Найкращою вважається альтернатива з максимальними значеннями нижньої та верхньої границі  $Q^{пл}$ , тобто в нашому випадку  $a_{opt} = a_1$ .

Другий випадок – дві ОПР із суперечливими системами переваг.

У табл. 4 наведені матриці парних порівнянь для першої та другої ОПР.

Таблиця 4

Матриця парних порівнянь для критеріїв для першої та другої ОПР

Перша ОПР	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Друга ОПР	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
Q <sub>1</sub>	1	[4; 4,5]	[5; 6]	Q <sub>1</sub>	1	[0,39; 4]	[4; 5]
Q <sub>2</sub>	[0,25; 0,5]	1	[1,37; 1,5]	Q <sub>2</sub>	[2; 3]	1	[2,5; 2,67]
Q <sub>3</sub>	[0,33; 0,5]	[0,33; 0,5]	1	Q <sub>3</sub>	[0,4; 0,66]	[0,4; 0,66]	1

Таблиця 5

Узгоджена матриця парних порівнянь для критеріїв

	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Власний вектор
Q <sub>1</sub>	1	[3,90; 4,50]	[4; 6]	[2,5; 3,00]
Q <sub>2</sub>	[0,25; 3]	1	[1,37; 2,67]	[0,70; 2]
Q <sub>3</sub>	[0,33; 66]	[0,33; 66]	1	[0,31; 0,48]

Матриці парних порівнянь альтернатив для двох ОПР є узгодженими та збігаються з матрицями з табл. 2 – 3 для попередньої задачі. Обчислимо глобальний критерій для кожної альтернативи:

$$Q^{2л}(a_1) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{1i} = [6,0412; 9,0024],$$

$$Q^{2л}(a_2) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{2i} = [2,8451; 5,528],$$

$$Q^{2л}(a_3) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{3i} = [4,962; 9,8616].$$

Найкращою вважається альтернатива з максимальними значеннями нижньої та верхньої границі  $Q^{пл}$ , але в цьому разі такої альтернативи немає, оскільки нижня границя оцінки  $a_3$  менша за нижню границю оцінки  $a_1$ , і водночас верхня границя оцінки  $a_3$  більша за верхню границю оцінки  $a_1$ . Тобто альтернативи  $a_1$  та  $a_3$  є незрівнянними. Альтернатива  $a_2$  є гіршою за  $a_1$  та  $a_3$ . Тому кінцевою відповіддю будуть дві потенційно оптимальні альтернативи. Для визначення найбільш оптимальної з цих двох альтернатив необхідно подальше дослідження систем переважань ОПР, можливо з використанням інших методів, або проведення переговорів між ОПР з метою зменшення конфліктності систем переважань шляхом певних компромісів.

### Висновки

Запропоновано та проведено експериментальні дослідження удосконаленого методу аналізу ієрархій, що ґрунтуються на інтервальному оцінюванні переваг критеріїв та альтернатив, які продемонстрували можливість розв'язання задач вибору оптимальних систем захисту інформації при існуванні невизначеностей у системах переваг ОПР і при прийнятті групових рішень. Причому, якщо об'єктивно на основі наявної інформації неможливо визначити одну оптимальну альтернативу, метод дозволяє скорочувати множину початкових альтернатив і в результаті відповіді отримувати підмножину потенційно

оптимальних і непорівнюваних альтернатив.

Подальші дослідження пов'язуємо з використанням апарату теорії нечітких множин для оцінювання переваг критеріїв та альтернатив.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты / В. В. Домарев – К.: ООО "ТИД "ДС", 2002. – 688 с.
2. Титоренко Г. А. Информационные технологии управления: учебное пособие для вузов / под ред. проф. Г. А. Титоренко. – 2-е изд., доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 439 с.
3. Курчиков Л. Н. Неопределенность и определенность / Л. Н. Курчиков – М., 1972. – 432 с.
4. Таха Хемди Введение в исследование операций / Таха Хемди – [7-е изд.]. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2005. – 902 с.
5. Аленфельд Г. Введение в интервальные вычисления / Г. Аленфельд, Ю. Херцбергер – М: Мир, 1987, – 360 с.

**Куземко Сергій Михайлович** – к. т. н., доцент кафедри обчислювальної техніки, kuzemko@yandex.ru.

**Мельничук Володимир Миколайович** – студент.  
Вінницький національний технічний університет.