

# СЕКЦІЯ XV. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ

DOI 10.62731/mcnd-12.04.2024.003

## НЕЧІТКА КОГНІТИВНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ АВІАЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Косогов Олександр Миколайович

ORCID ID: 0000-0001-6691-273X

канд. військ. наук, старший науковий співробітник,  
доцент кафедри аеродинаміки та безпеки польотів  
Національний авіаційний університет, Україна

Для розв'язання широкого кола завдань, пов'язаних із моделюванням погано формалізованих процесів, їх прогнозуванням і підтримкою ухвалення рішень, часто використовують нечіткі когнітивні моделі. Як зазначалося вище, незаперечними їхніми перевагами порівняно з іншими методами є можливість формалізації чисельно невимірюваних чинників, використання неповної, нечіткої і навіть суперечливої інформації.

Під час побудови нечіткої когнітивної моделі (НКМ) об'єкт дослідження зазвичай представляють у вигляді знакового орієнтованого графа. Такою моделлю під час оцінювання комплексної безпеки системи (KBS) може бути прийнято кортеж [1]:

$$KBS = \langle G, QL, E \rangle \quad (1)$$

Тут  $G$  - орієнтований граф, що має одну кореневу вершину і не містить петель і горизонтальних ребер у межах одного рівня ієрархії:

$$G = \langle \{GF\}; \{GDy\} \rangle \quad (2)$$

де  $\{GF_i\}$  - множина вершин графа (чинників або концептів у термінології НКМ);  $\{GD_j\}$  - множина дуг, які з'єднують  $i$ -ту і  $j$ -ту вершини (множина причинно-наслідкових зв'язків між концептами; при цьому дуги розташовано так, що початку дуги відповідає вершина нижнього рівня ієрархії (рангу), а кінцю дуги - вершина рангу, що на одиницю менший);  $GF_0 = K$  - коренева вершина, що відповідає рівню комплексної безпеки загалом (інтегральному критерію безпеки - цільовому концепту);  $QL$  - набір якісних оцінок рівнів кожного чинника в ієрархії;  $E$  - система відношень переваги одних чинників іншим за ступенем їхнього впливу на заданий елемент наступного рівня ієрархії.

При цьому показники рівня безпеки  $K_i$  тісно пов'язані з наслідками від можливої реалізації наявних у системі загроз та заходами, які спрямовані на попередження, запобігання, локалізацію і усунення таких наслідків.

Отриманий результат узгодиться з добре відомим у теорії прийняття рішень фактом [2, 3, 4]: системі спадної переваги альтернатив щонайкраще відповідає система ваг, що знижуються за правилом арифметичної прогресії.

Загрози, що впливають на безпеку системи, являють собою набір неупорядкованих факторів одного рівня ієрархії.

Вплив різних факторів на рівень комплексної безпеки може бути представлений у вигляді орієнтованого графа, що має одну кореневу вершину та не містить петель та горизонтальних ребер в межах одного рівня ієрархії:

$$E = \langle \{F_i\}; \{D_{ij}\} \rangle, \quad (3)$$

де  $\{F_i\}$  – множина факторів (вершин графа);  $\{D_{ij}\}$  – множина дуг, що з'єднують  $i$ -ту й  $j$ -ту вершини;  $F_0 = K$  – коренева вершина, що відповідає рівню комплексної безпеки в цілому (інтегральному показнику безпеки). При цьому дуги розташовані так, що початку дуги відповідає вершина нижнього рівня ієрархії (рангу), а кінцю дуги – вершина рангу, на одиницю меншого.

Прикладом такого графа може служити чотирьохрівневий граф, у якому на нижньому, третьому рівні розташовані негативні фактори  $N_i$ , що впливають на безпеку системи, і  $Z_i$  – фактори, що демпфують, пов'язані із застосуванням превентивних заходів забезпечення безпеки та мають послабити вплив певних загроз (негативних факторів). На рівень вище розташовані загрози безпеці системи  $U_i$ . На першому рівні знаходяться часткові показники безпеки  $K_i$ , а кореневій вершині нульового рівня відповідає комплексний показник безпеки  $K$  (рис.1).

Варто зазначити, що даний зв'язний граф не є деревом, оскільки не виконується вимога відсутності простих циклів [4]. Це обумовлено тим, що фактори, які перебувають на нижньому рівні ієрархії, можуть одночасно впливати на декілька факторів вищого рівня.

Наприклад, застосування превентивних заходів захисту від однієї загрози може одночасно з ослабленням негативних наслідків цієї загрози посилювати або зменшувати вплив тієї або іншої загрози. Деякі негативні фактори можуть викликати зміну відразу декількох часткових критеріїв безпеки (іноді в протилежному напрямку).

На отриманий граф накладається система відносин переваги одних факторів над іншим за ступенем їхнього впливу на заданий елемент наступного рівня ієрархії:

$$E = \{F_i(e)F_j | e \in (>; \approx)\}, \quad (4)$$

де  $F_i, F_j$  – фактори одного рівня ієрархії;  $>$  – відношення переваги;  $\approx$  – відношення байдужності. Така система може бути отримана способом нестроогого ранжирування.

Приклад накладення системи відносин переваги типу (4)  $E = \{N_1 > N_2; N_2 \in N_3 \approx N_4; N_4 \approx N_5\}$  на фрагмент графа зображений на рис. 1.

Введемо набір якісних оцінок рівнів кожного фактору в ієрархії:

$$L = \begin{cases} \text{дуже низький рівень (ДН);} \\ \text{низький рівень (Н);} \\ \text{середній рівень (С);} \\ \text{високий рівень (В);} \\ \text{дуже високий рівень (ДВ).} \end{cases} \quad (5)$$

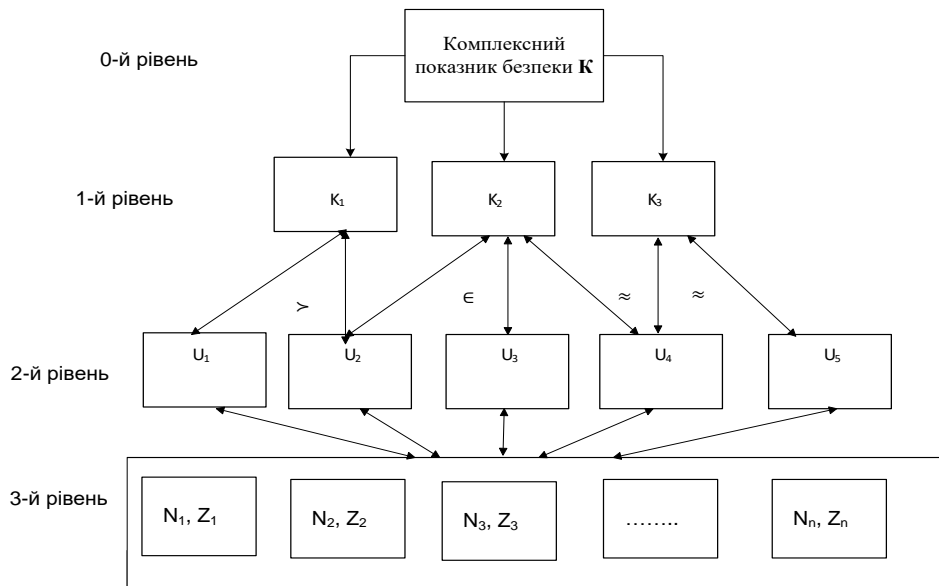


Рис. 1. Граф з системою відносин переваги на одному з рівнів ієрархії

Показник рівня комплексної безпеки визначається агрегуванням значень із всіх рівнів ієрархії факторів на основі якісних даних про рівні факторів і їхніх відносин порядку на одному рівні ієрархії.

Для оцінювання рівня комплексної безпеки необхідно агрегувати дані, зібраних у рамках ієрархії  $G$ . При цьому агрегування відбувається за напрямками дуг графа ієрархії [5].

Агрегуванню має підлягати не окреме значення обраної функції належності в структурі лінгвістичної змінної “Рівень фактору”, а вся функція належності у цілому.

Сформуємо лінгвістичну змінну “Рівень фактору” з терм-множиною значень  $L$  вигляду (4). Як сімейство функцій належності може виступати стандартний п’ятирівневий 01-класифікатор, де функції належності - трапецієподібні нечіткі числа [5]:

$$DN = \mu_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 0,15 \\ 10(0,25 - x), & 0,15 \leq x < 0,25, \\ 0, & 0,25 \leq x < 1 \end{cases} \quad (6)$$

$$H = \mu_2(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 0,15 \\ 10(x - 0,15), & 0,15 \leq x < 0,25 \\ 1, & 0,25 \leq x < 0,35 \\ 10(0,45 - x), & 0,35 \leq x < 0,45 \\ 0, & 0,45 \leq x < 1 \end{cases} \quad (7)$$

$$C = \mu_3(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 0,35 \\ 10(x - 0,35), & 0,35 \leq x < 0,45 \\ 1, & 0,45 \leq x < 0,55 \\ 10(0,65 - x), & 0,55 \leq x < 0,65 \\ 0, & 0,65 \leq x < 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$B = \mu_4(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 0,55 \\ 10(x - 0,55), & 0,55 \leq x < 0,65 \\ 1, & 0,65 \leq x < 0,75 \\ 10(0,85 - x), & 0,75 \leq x < 0,85 \\ 0, & 0,85 \leq x < 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$ДВ = \mu_5(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 0,75 \\ 10(x - 0,75), & 0,75 \leq x < 0,85, \\ 0, & 0,85 \leq x < 1 \end{cases} \quad (10)$$

де  $x$  – 01-носій (відрізок  $[0, 1]$  дійсної осі).

Стандартний класифікатор здійснює проєкцію нечіткого лінгвістичного опису на 01-носій, при цьому робить це несуперечливим способом, симетрично розташовуючи вузол класифікації (0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9) [74].

У цих вузлах значення відповідної функції належності дорівнює одиниці, а всіх інших функцій – нулю. Непевність експерта в класифікації зменшується (збільшується) лінійно з віддаленням від вузла (з наближенням до вузла, відповідно). При цьому сума функцій належності у всіх точках носія дорівнює одиниці.

Побудований класифікатор є різновидом так званої “сірої” шкали Поспелова [75], що являє собою полярну (опозиційну) шкалу, у якій перехід від властивості А+ до властивості А- відбувається поступово.

Подібні шкали задовольняють умовам взаємної компенсації між властивостями А+ і А- (чим більшою мірою проявляється А+, тим у меншому ступені проявляється А-, і навпаки).

Таким чином, здійснюється перехід від якісного опису рівня параметра до стандартного кількісного вигляду відповідної функції належності (нечітке трапецієподібне число) [76].

Нехай за кожним показником ( $F_1 \dots F_n$ ) на обраному підрівні ієрархії G відомі лінгвістичні оцінки  $L = (L_1 \dots L_n)$ , а також визначена система ваг Фішберна  $P = (p_1 \dots p_n)$  на основі наведеної вище системи переваг E. Тоді показник підрівня F характеризується своєю лінгвістичною оцінкою, обумовленою функцією належності на 01-носії.

У подібних випадках для агрегування зазвичай застосовується OWA-оператор Ягера [77], причому вагами в згортці виступають згадані вище коефіцієнти Фішберна.

Разом з тим, адитивна згортка та осереднення для оцінки рівня безпеки системи неприйнятні, тому необхідно використати мультиплікативну згортку для обчислення інтегральних критеріїв [78]:

$$\mu(x) = \prod_{i=1}^n \mu_j^{p_j}(x), \quad (3.8)$$

де

$$\mu_j(x) = \begin{cases} (3), \text{ якщо } L_j = (\text{ДН}) \\ (4), \text{ якщо } L_j = (\text{Н}) \\ (5), \text{ якщо } L_j = (\text{С}) \\ (6), \text{ якщо } L_j = (\text{В}) \\ (7), \text{ якщо } L_j = (\text{ДВ}) \end{cases} \quad (3.9)$$

Отриману функцію необхідно розпізнати, щоб виробити судження про якісний рівень показника F. Для цього необхідно співвіднести отриману функцію  $\mu(x)$  і функції  $\mu_j(x)$  відповідно (6) – (10).

Якщо  $(\forall x \in [0, 1]) \sup \min (\mu_*(x), \mu_j(x)) = 0$ , то рівень показника F\* однозначно не розпізнається як рівень, якому відповідає і-та “еталонна” функція належності. Повне розпізнавання настає, якщо виконується умова

$$(\forall x \in [0, 1]) ; \min (\mu_*(x), \mu_j(x)) = \mu_j(x). \quad (3.10)$$

У всіх проміжних випадках необхідно задатися мірою рівня розпізнавання, тобто ввести так званий індекс подібності (ІП) [78]. Для цього потрібно визначити поняття відстані між двома нечіткими числами  $A$  і  $B$ .

За таку величину може виступати лінійна (хемінгова) відстань:

$$\rho(A, B) = \int_0^1 |\mu_A(x) - \mu_B(x)| dx \quad (3.11)$$

або квадратична (евклідова) відстань:

$$\rho(A, B) = \int_0^1 \sqrt{(\mu_A(x) - \mu_B(x))^2} dx. \quad (3.12)$$

Для визначення індексу подібності необхідно обчислити відстань у точках, для яких виконується нерівність:

$$\mu(x) < \mu_j(x) \quad (3.13)$$

З метою підвищення точності розрахунків перейдемо до відносної відстані:

$$\tilde{\rho} = \frac{\rho}{M} \quad (3.14)$$

де  $M$  – “потужність” еталонного нечіткого числа, яка дорівнює площині фігури, що описується її функцією належності. У нашому випадку це площина трапеції.

Для того щоб уникнути лінгвістичної невідповідності (чим вище ступінь близькості, тим більше повинен бути ІП) і з огляду на, що  $\rho(A, B) \leq 1$  за ІП можна прийняти величину [79]

$$IP = 1 - \rho(A, B) \quad (3.15)$$

Отже, ІП, змінюючись у діапазоні від 0 до 1, буде характеризувати близькість знайденої мультиплікативної згортки до тієї або іншої еталонної функції належності виду (3.3) – (3.7).

Таким чином, пройшовши послідовно знизу нагору за всіма рівнями ієрархії  $G$  і застосовуючи співвідношення (3.1) – (3.15), можливо шляхом комплексного агрегування даних не тільки виробити судження про якісний рівень показника на кожному щаблі ієрархії (до  $F_0 = K$ ), але й оцінити ступінь обґрунтованості даного судження за допомогою ІП [80, 81].

Якщо крім якісних значень показників є кількісні дані, то найпростішим способом для їхнього спільного урахування при комплексній оцінці є загрублення отриманих кількісних оцінок до якісного їхнього опису та подальшому переходу до викладеного вище методичного підходу.

Таким чином, запропонований методичний підхід до моделювання процесу оцінки ІБ може бути застосований для оцінювання комплексної безпеки різних систем. При цьому елементи, що характеризують систему, утворюють ієрархію, а фактори одного підрівня ієрархії перебувають у відносинах переваги/байдужності один до одного. За інтегрований критерій при оцінці безпеки використовується мультиплікативна згортка.

Застосування методу нестрогого ранжирування дає змогу визначити ваги Фишберна для факторів одного рівня ієрархії й отримати узагальнення даних ваг на загальний випадок переваги/байдужності факторів по відношенню один до одного.

Методичний підхід може бути використаний для побудови показника рівня комплексної безпеки на базі агрегування значень із всіх рівнів ієрархії факторів на основі якісних даних про рівні факторів і їхніх відносин порядку на одному рівні

ієрархії.

### Список використаних джерел:

1. Косоков О.М. Методичний підхід до формалізації зміни рівня інформаційної безпеки системи / О.М.Косоков // Системи озброєння і військова техніка : науковий журнал. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – №3 (47). – С.76 – 78.
2. Косоков О.М., Сірик А.О. Моделювання процесу оцінювання інформаційної безпеки на основі експертних висновків / Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – Науковий журнал. – К. : НУОУ імені Івана Черняхівського, 2016. – № 2 (26). – С. 39–43.
3. Попов Г. А. Экономическая кибернетика. / Г.А.Попов.– Астрахань: З “ЦНТЭП”– 2002. – 96 с.
4. Трухаев Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. - М.: Наука, 1981. - 144 с.
5. Литвак Б. М. Экспертна інформація: методи одержання й аналізу. - М.: Радіо й зв'язок, 1982. - 92 с.
6. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. - М.: Наука, 1978. - 155 с.
7. Рыжов А. П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. - М.: Диалог-мгу, 1998. - 102 с.
8. Недосекин А. О. Нечеткий финансовый менеджмент. - М.: Аудит і фінансовий аналіз, 2003. - 76 с.
9. Kaufmann A., Gupta M. Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications. - Van Nostrand Reinhold, 1991. - 161 p.
10. Поспелов Д. С. “Сірі” і/або “чорно-білі” [шкали] // Прикладна ергономіка. Спец. вып. «Рефлексивні процеси». - 1994. - № 1. - С. 15-21.
11. Недосекин А. О. Нечеткі парні порівняння // Аудит і фінансовий аналіз. - 2003. - № 5. - С. 53.