

7.3 Методика оцінювання ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення аналізу радіоелектронної обстановки угруповання військ (сил)

Вступ

У процесі управлінської діяльності центральне місце займають питання розробки і прийняття управлінських рішень, які в сучасних умовах неможливі без ефективної інформаційно-аналітичної підтримки [317].

Основою управління є рішення керівника (начальника), яке представляє собою певний порядок і способи виконання поставлених завдань. Підготовка та прийняття рішень є однією з найважливіших функцій керівника (начальника) по управлінню об'єктом управління, в нашому випадку силами та засобами радіоелектронної розвідки, що функціонують в інтересах угруповання військ (сил) [317].

Тому обґрунтованість і своєчасність рішення керівника становлять найважливіше завдання відповідних посадових осіб та аналітичних підрозділів зі радіоелектронної розвідки.

Великий вплив на ефективність виконання цього складного завдання посадовими особам методи прийняття рішення, вдосконалення яких здійснюється на основі комплексної автоматизації та інформатизації [317]. Інформаційно-управляючою є система, що складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності, що реалізує інформаційні технології виконання встановлених функцій. Таким чином, створення і впровадження в практику роботи сучасних керівників нових вискоефективних автоматизованих систем та інформаційних технологій підтримки та прийняття рішень є одним з найважливіших напрямів удосконалення управління.

В даний час активно розвиваються програмні системи підтримки прийняття рішень, що дозволять підвищити ефективність інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності службових осіб центрів радіоелектронної розвідки.

Серед факторів, які стимулюють розвиток цього класу програмних систем, можна відмітити підвищення ролі їх використання для вирішення слабо

структурованих і важко формалізованих завдань в умовах невизначеності, неточності, неповноти і неузгодженості вихідних даних, необхідності врахування різноякісних та динамічно змінних параметрів.

В таких умовах важливого значення набуває розробка методів багатокритеріального оцінювання складних об'єктів і альтернатив прийняття рішень.

Розвитку теорії і методів багатокритеріальних систем підтримки прийняття рішень присвячені роботи таких авторів, як О.І. Ларічев, А.Н. Катула, А.Б. Петровський, Н.А. Северцев, Е.А. Трахтенгер, А.І. Орлов, О.С. Вентцель, R.L. Keeney, H. Raiffa, B. Roy, T.L. Saaty, K.P. Kearns та інші [317–323].

Необхідність врахування невизначеності при вирішенні задач багатокритеріального оцінювання і підтримки вибору альтернатив під час інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності службових осіб є обґрунтуванням використання методів і моделей теорії нечітких множин і нечіткої логіки для підвищення оперативності діяльності службових осіб.

В рамках даного напрямку створення методів і моделей підтримки вибору рішень, присвячені роботи таких дослідників, як А.Е. Алтунін, І.З. Батиршін, Л.С. Берштейн, А.Н. Борисов, С.Я. Коровін, О.А. Крумберг, А.Н. Меліхов, Д.А. Поспелов, М.В. Семухін, В.Б. Сілов, R. Bellman, E. Mamdani, M. Sugeno, D. Dubuis, H. Prade, J.C. Bezdek, J.L. Castro, A. Kaufmann, H. Larsen, T. Takagi, T. Terano, Y. Tsukamoto, R. Yager, L.A. Zadeh та інші [317–323].

Враховуючи зазначене використання теорії нечітких множин та нечіткої логіки для систем підтримки та прийняття рішення є актуальним напрямком подальших наукових досліджень в системах підтримки та прийняття рішень в інтересах роботи посадових осіб.

Проведення аналізу відомих наукових праць [317–341] показав, що вони в переважній більшості засновані на використанні загальнонаукових методів, як системний, порівняльний, структурно-функціональний аналіз, метод експертних оцінок, методологія сценарного аналізу соціально-економічних систем та теоретико-інформаційного підходу.

Спільними обмеженнями існуючих методів багатокритеріального нечіткого оцінювання альтернатив є:

- складність формування багаторівневої структури оцінювання;
- відсутність врахування сумісності нерівномірно значних показників;
- відсутність можливості спільного виконання прямої і зворотної задач оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень.

Для створення програмних засобів підтримки прийняття рішень необхідно створення методів нечіткого оцінювання, що повинні задовольняти наступному комплексу вимог:

- можливість формування узагальненого показника оцінки та вибору рішень на основі наборів часткових показників, що змінюються з урахуванням складної багаторівневої структури оцінювання;

- можливість агрегування різнорідних показників (як кількісних, так і якісних) оцінки та вибору рішень, що розрізняються по вимірювальним шкалами та діапазонами значень;

- врахування сумісності і різної значимості часткових показників в узагальненої оцінки рішень;

- врахування різних стратегій оцінювання рішень;

- гнучке налаштування (адаптація) оціночних моделей при додаванні (виключенні) показників і зміні їх параметрів (сумісності та значущості показників);

- забезпечення можливості реалізації в рамках єдиної моделі: прямого завдання оцінювання (згортки) узагальненого показника на основі часткових показників; зворотної задачі оцінювання (розгортки) часткових показників при заданому значенні узагальненого показника; спільного виконання прямої і зворотної задач оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень.

Зважаючи на зазначене метою зазначеної статті є розробка методики оцінювання ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення з оцінювання радіоелектронної обстановки угруповання військ (сил) з використанням нечіткої логіки для вирішення наступних завдань:

збільшення кількості інформації, що спроможні обробити службові особи;
підвищення достовірності прийняття рішення службовими особами;
оцінки альтернатив рішень в ході інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності службових осіб;

ранжування і порівняльної оцінки множини рішень;

обґрунтування стратегій оцінювань обраних рішень;

визначення значень (діапазонів значень) часткових показників рішень за заданим значенням (діапазонами значень) узагальненого показника;

пошуку рішень (значень або діапазонів значень) часткових показників, що забезпечують необхідні значення або діапазони значень узагальненого показника (з фіксацією і без фіксації значень або діапазонів значень підмножини часткових показників);

пошуку найкращих рішень (значень або діапазонів значень) часткових показників, що забезпечують необхідні значення або діапазони значень узагальненого показника (з фіксацією і без фіксації значень або діапазонів значень підмножини часткових показників).

Для розробки методики нечіткого оцінювання діяльності службових осіб необхідно провести формалізацію процесу нечіткого оцінювання процесу інформаційно-аналітичного забезпечення. Зазначене можливо провести за допомогою розробки моделі нечіткого оцінювання.

У загальному вигляді задача побудови нечітких оціночних моделей для підвищення оперативності інформаційно-аналітичного забезпечення ставиться таким чином. Нехай S є множина показників, значення яких відображають результати вимірювання/оцінки відповідних властивостей безлічі складних об'єктів або альтернатив рішень.

Потрібно побудувати нечітку оціночну модель з урахуванням багаторівневої структури оцінювання, різної значимості показників, а також нечітких відносин сумісності між показниками на кожному рівні ієрархії моделі.

Всі множини показників розбивається за рівнями ієрархії. На кожному рівні ієрархії показники утворюють підмножини, кожне з яких відповідає показнику

суміжного з ним більш високого рівня ієрархії. На кожному рівні ієрархії, починаючи з другого, можуть існувати показники, що не утворюють підмножин на більш низькому рівні (“листя”). На першому рівні ієрархії знаходиться підмножина з одного (узагальненого) показника.

Кожному показнику приписується вага. Показники, що належать одній підмножині, утворюють нечітке відношення сумісності.

Зазначена нечітка оціночна модель в формалізованому вигляді може бути представлена таким чином:

$$\begin{cases} P^{(j)} = \{P_1^{(j)}, \dots, P_q^{(j)}, \dots, P_Q^{(j)}\}, j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q; \\ P_q^{(j)} = \{p_{q,1}^{(j)}, \dots, p_{q,i}^{(j)}, \dots, p_{q,n_q}^{(j)}\}, i = 1, \dots, n_q; \\ p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow P_s^{(j+1)} = \{p_{s,1}^{(j+1)}, \dots, p_{s,m}^{(j+1)}, p_{s,n}^{(j+1)}\}, j = 1, \dots, J-1; s = 1, \dots, S, m = 1, \dots, n_s; \\ p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow w_{q,i}^{(j)}, j = 1, \dots, J; \\ \tilde{R}_q^{(j)} = \left\{ \left(\left(p_{q,k}^{(j)}, p_{q,l}^{(j)} \right) / c_{q,l}^{(j)} \right), j = 1, \dots, J; k, l \in \{1, \dots, n_q\} \right\} \end{cases} \quad (1)$$

де J – число рівнів ієрархії моделі; Q – число підмножин показників на j -му рівні ієрархії; S – число підмножин показників на $(j+1)$ рівні ієрархії; n_q – число показників з підмножини $P_q^{(j)}$ j -го рівня ієрархії; n_s – число показників з підмножини $P_s^{(j+1)}$ $(j+1)$ рівня ієрархії віднесеного з i -тим показником $p_{q,i}^{(j)}$ з підмножини $P_q^{(j)}$ j -го рівня ієрархії; $w_{q,i}^{(j)}$ – вага показника $p_{q,i}^{(j)}$; $\tilde{R}_q^{(j)}$ – нечітке відношення сумісності між показниками підмножини $p_{q,k}^{(j)}$ та $p_{q,l}^{(j)}$ з підмножини $P_q^{(j)}$.

На рис. 1 показаний фрагмент нечіткої оціночної моделі запропонованого типу. Зазначена нечітка оціночна модель дозволяє врахувати всі сформовані вимоги, що пред’являються до тих умов оцінки та вибору рішень і характеризуються такими властивостями:

має гнучку ієрархічну структуру показників, що дозволяє звести завдання багатокритеріального оцінювання альтернатив до одного критерію або використовувати для вибору вектор показників, що забезпечує можливість нечіткого представлення показників і відношень сумісності між ними, які можуть реалізувати різноманітний характер взаємозалежностей;

дозволяє реалізувати методи прямого і зворотного нечіткого оцінювання;

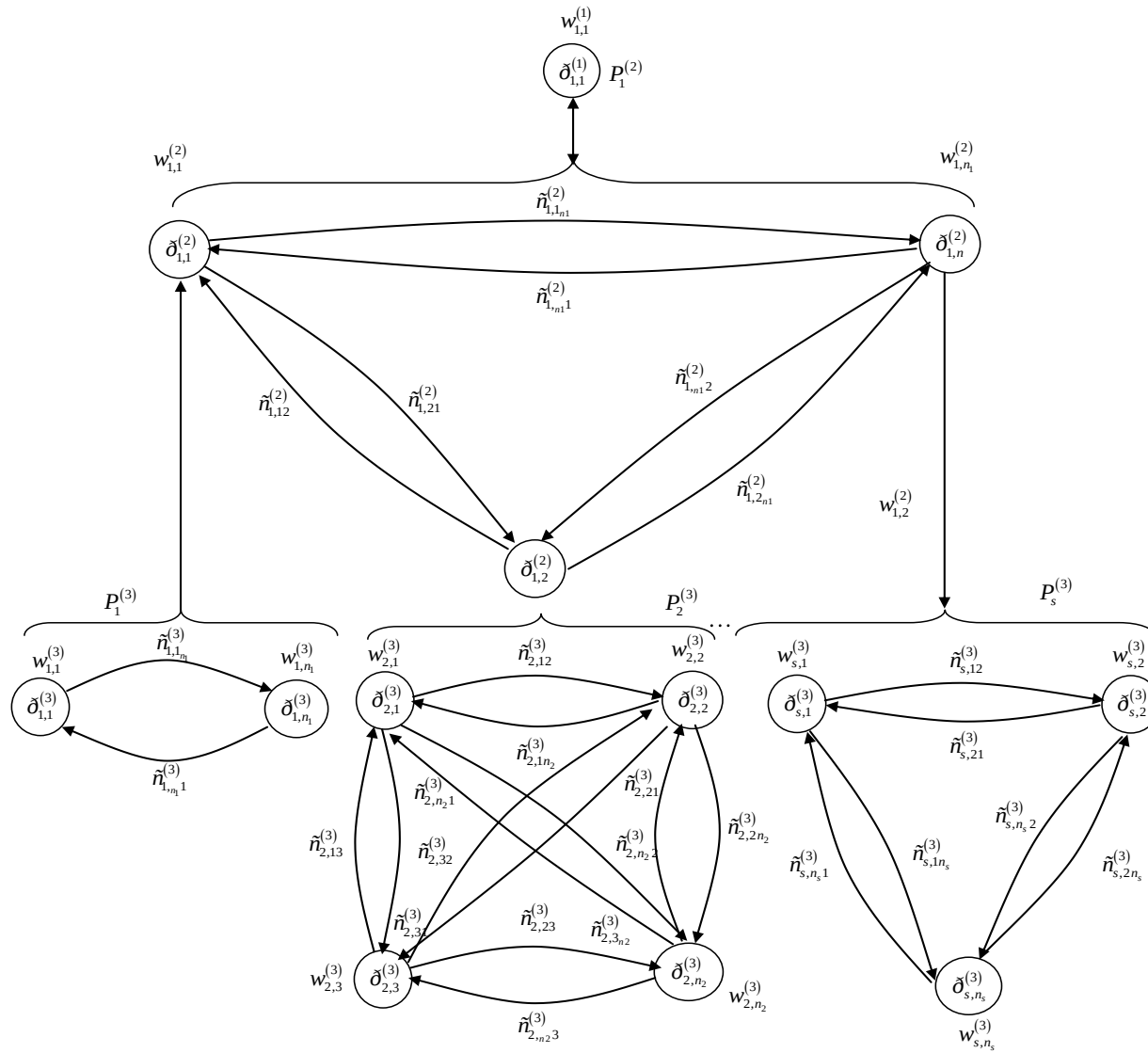


Рис. 1 Фрагмент нечіткої оціночної моделі

враховує різну значимість окремих показників за рахунок використання ваги показника;

містить необхідний набір засобів формалізації для забезпечення програмної реалізації.

Методика нечіткого оцінювання діяльності службових осіб інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності службових осіб, складається з наступних основних етапів (рис. 2).

Початковим етапом є введення вихідних даних, а саме показників оцінки, які розроблені в [317, 342]

Етап 1. Побудова нечіткої оціночної моделі.

Етап 2. Визначення ступенів сумісності показників інформаційно-аналітичного забезпечення, що агрегуються.

Етап 3. Обґрунтування набору операцій згортки для агрегування показників інформаційно-аналітичного забезпечення.

Етап 4. Співставлення ступенів сумісності показників, що агрегуються з операціями їх згортки.

Етап 5. Задання стратегії оцінювання.

Етап 6. Розбиття нечіткого відношення сумісності на класи сумісності і вибір відповідних їм операцій згортки.

Етап 7. Модифікація нечіткого відношення сумісності.

Етап 8. Формування структури згортки показників нечіткої оціночної моделі.

Етап 9. Завдання зважених значень показників і нечітке оцінювання альтернатив.

Етап 10. Розробка рекомендацій щодо підвищення оперативності інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності службових осіб та визначення раціонального порядку їх роботи.

Розглянемо докладно етапи запропонованої методики оцінювання.

Етап 1. Побудова нечіткої оціночної моделі.

Для побудови нечіткої оціночної моделі пропонується наступний спосіб, що включає в себе: по-перше, створення ієрархічної структури показників оцінки; по-друге, визначення ваг показників на кожному рівні ієрархії моделі; по-третє, задання нечітких відносин сумісності між показниками на кожному рівні ієрархії моделі.



Рис. 2 Алгоритм реалізації методики нечіткого оцінювання діяльності службових осіб

Для створення ієрархічної структури показників оцінки необхідно вирішити наступні завдання:

показники кожного рівня ієрархії групуються по підмножинам:

$$P^{(j)} = \{P_1^{(j)}, \dots, P_q^{(j)}, \dots, P_Q^{(j)}\}, j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q,$$

де $P_q^{(j)}$ – q -та підмножина показників на j -му рівні ієрархії моделі;

Q – число підмножин показників на j -му рівні ієрархії;

для кожного показника $p_q^{(j)}$ j -му рівні ієрархії моделі встановлюється відповідність з підмножиною показників $P_s^{(j+1)}$ $(j+1)$ -го рівня

$$p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow P_s^{(j+1)} = \{p_{s,1}^{(j+1)}, \dots, p_{s,m}^{(j+1)}, \dots, p_{s,n}^{(j+1)}\}, \\ j = 1, \dots, J-1; s = 1, \dots, S; q = 1, \dots, Q; m = 1, \dots, n_s,$$

де J – число рівнів ієрархії моделі; Q – число підмножин показників на j -му рівні ієрархії; S – кількість підмножин показників на $(j+1)$ -му рівні ієрархії; n_q – число показників з підмножини $P_q^{(j)}$ j -го рівня ієрархії; n_s – число показників із підмножини $P_s^{(j+1)}$ $(j+1)$ -го рівня ієрархії, співвіднесеного з i -тим показником $p_{q,i}^{(j)}$ з підмножини $P_q^{(j)}$ j -го рівня ієрархії моделі; $p_{q,i}^{(j)}$ – i -тий показник з підмножини $P_q^{(j)}$ j -го рівня ієрархії моделі.

Для створення ієрархічної структури показників можуть бути використані відомі підходи і методи аналізу складних систем, включаючи методи експертного оцінювання. Варто відзначити, що відомі підходи також можуть бути використані і для визначення значущості (ваг) усіх показників на кожному рівні ієрархії моделі:

$$p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow w_{q,i}^{(j)}, j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q; i = 1, \dots, n_q,$$

де $w_{q,i}^{(j)}$ – вага показника $p_{q,i}^{(j)}$.

Особливий інтерес представляє задання нечітких відносин сумісності між показниками, так як в подальшому саме ці нечіткі відносини визначають операції згортки показників в нечіткій оціночній моделі. Ці нечіткі відношення задаються між показниками з підмножин $P_q^{(j)}$ на кожному рівні ієрархії моделі:

$$\tilde{R}_q^{(j)} = \left\{ \left(p_{q,k}^{(j)}, p_{q,l}^{(j)} \right) / c_{q,kl}^{(j)} \right\} \\ j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q; k, l \in \{1, \dots, n_q\},$$

де $\tilde{R}_q^{(j)}$ – нечітке відношення сумісності між показниками підмножини $P_q^{(j)}$; $c_{q,kl}^{(j)}$ – ступінь сумісності показників $p_{q,k}^{(j)}$ та $p_{q,l}^{(j)}$.

Залежно від особливостей розв'язуваної задачі оцінки, сумісність може трактуватися як кореляція, взаємовплив часткових показників, одночасна досяжність значень співставляємих часткових показників.

Також, на зазначеному етапі відбувається оцінка адекватності інформації, що надходить та визначається її користь.

Етап 2. Визначення ступенів сумісності показників, що агрегуються.

Для визначення ступенів сумісності часткових показників можуть використовуватися як прямі, так і непрямі методи. При використанні прямих способів значення ступенів сумісності $c_{q,kl}^{(j)} \in [0,1]$ показників $p_{q,k}^{(j)}$ та $p_{q,l}^{(j)}$ ($k, l = 1, \dots, n$, де n – число показників) в нечіткому відношенні сумісності $\tilde{R}_q^{(j)} = \left\{ \left(p_{q,k}^{(j)}, p_{q,l}^{(j)} \right) / c_{q,kl}^{(j)} \right\}$ можуть бути задані безпосередньо самими експертами або отримані в результаті експериментів. Непрямі методи використовуються якщо складно безпосередньо оцінити ступінь сумісності показників.

Крім того, значення $c_{q,kl}^{(j)}$ можуть бути співставлені з критеріальними рівнями сумісності, впорядкованими в порядку зростання ступеня сумісності, наприклад, відповідно до шкали Харрінгтона, $C = \{NC - \text{“низький рівень”}, LC - \text{“Рівень нижче середнього”}, MC - \text{“Середній рівень”}, HC - \text{“Рівень вище середнього”}, FC - \text{“Високий рівень”}\}$:

$$c_{k,l} \leftrightarrow c_u \in C = \{NC, LC, MC, HC, FC\}, k, l = 1, \dots, n,$$

де u – індекс елемента множини C .

Нечіткі відношення сумісності між показниками з підмножин $P_q^{(j)}$ зручно представити у вигляді нечітких орієнтованих графів $\tilde{G}_q^{(j)}$ з нечіткими вершинами і нечіткими дугами:

$$\tilde{G}_q^{(j)} = \left(\tilde{P}_q^{(j)}, \tilde{R}_q^{(j)} \right)$$

При цьому, так як для всіх підмножин показників нечіткі відносини сумісності задаються аналогічним чином, то перейдемо в подальшому до наступного більш наочному позначенню і опису нечіткого графа сумісності показників:

$$\tilde{G} = (\tilde{P}, \tilde{R})$$

де $\tilde{P} = \{p_i / \mu_p(p_i)\}$ – нечітка множина показників (вершин) $p_i \in P$, $i \in \{1, \dots, n\}$; $\mu_p(p_i) \in [0, 1]$ – ступінь належності до базової множини для показника p_i ; $\tilde{R} = \{((p_k, p_l) / c_{kl})\}$, $k, l = 1, \dots, n$, – нечітка множина орієнтованих дуг, причому кожна дуга (p_k, p_l) співставлень відповідному рівню сумісності $c_{kl} \in [0, 1]$ показників p_k та p_l .

Нечітке представлення показників дозволяє використовувати для їх оцінки розвинений апарат теорії нечітких множин і чисел. Представлення ж ступеню сумісності між показниками на основі нечітких відносин сумісності дозволяє застосовувати для їх аналізу підходи і методи теорії нечітких відносин. Для випадку, коли складно безпосередньо оцінити ступень сумісності показників, пропонується спосіб, заснований на попарному порівнянні всіх показників оцінки і заповненні, так званих, таблиць сполучення між лінгвістичними значеннями цих показників (таблиця 1).

Число рядків і стовпців в таблицях сполучуваності для кожної пари показників відповідають лінгвістичним градаціям їх оцінок. На перетині рядка та стовпця ставиться символ «+», якщо можливо відповідне поєднання значень для показників, сумісних з вказаною ступенем. В іншому випадку ставиться символ «-». Частка символів «+» в таблиці визначає ступінь сумісності одного показника з іншим.

У разі великої кількості показників для більш точного визначення ступеня їх сумісності, слід збільшити число градацій на лінгвістичних шкалах.

Для оцінки сумісності n показників експертом заповнюються $\frac{n!}{(n-2)!}$ таблиць сполучення.

Таблиця 1 – Приклад таблиці сполучення

Середній рівень	Оперативність					
Достовірність		Дуже погано	Погано	Середньо	Добре	Відмінно
	Дуже погано	+	+	+	+	+
	Погано	+	+	+	+	-
	Середньо	+	+	+	-	-
	Добре	+	+	-	-	-
	Відмінно	+	-	-	-	-
Рівень вище середнього	Достовірність					
Оперативність		Дуже погано	Погано	Середньо	Добре	Відмінно
	Дуже погано	+	+	+	+	+
	Погано	+	+	+	+	+
	Середньо	+	+	+	+	+
	Добре	+	+	+	+	-
	Відмінно	+	+	+	-	-

Етап 3. Обґрунтування набору операцій для агрегування показників.

У роботах [317–328] сформульовані вимоги до розроблюваних нечітких моделей оцінювання, що розроблюються, а також до методів прямого і зворотного нечіткого оцінювання на їх основі для підтримки та прийняття рішень. Ці вимоги багато в чому обумовлені вибором операцій згортки і способом їх зіставлення зі ступенем сумісності показників, що агрегуються.

Також, виходячи з сформованих вимог до мінімізації витрат ресурсів і часу для підготовки до проведення оцінки передбачається використання нечітких аналітичних згорток замість FIS (Fuzzy Interface System)-моделей. Це обумовлено, в тому числі, складністю налаштування і використання FIS-моделей як при прямому, так і при зворотному нечіткому оцінюванні альтернатив.

При оцінці і виборі альтернатив рішень особа, що приймає рішення може керуватися різними стратегіями, екстремальними варіантами яких є: досягнення найнижчого значення з усіх показників або досягнення максимального значення хоча б по одному з показників. Для двомісного випадку цим екстремальним стратегіям відповідають такі операції згортки показників p_k та p_l : $\min(p_k, p_l)$ та

$\max(p_k, p_l)$. Для визначення ступеня компромісності двомісних операцій згортки пропонується використовувати параметр $\theta \in [0,1]$. При цьому, чим менше значення параметра θ , тим менше ступінь компромісності показників p_l та p_k . Значення параметра θ будемо обчислювати відповідно до виразу:

$$\theta = \frac{v - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}}.$$

де v – значення “об’єму” під поверхнею функції, утвореної в результаті застосування відповідної операції згортки; а $v_{\min}$ та $v_{\max}$ – в результаті операцій $\min(p_k, p_l)$ та $\max(p_k, p_l)$, відповідно.

Проведений аналіз найбільш поширених двомісних операцій згортки, які мають зазначеними вище властивостями [318–323, 333], і для цих операцій визначені значення параметра θ . У таблиці 2 представлені операції згортки, що задовольняють зазначеним вимогам в порядку зростання значення параметра θ .

З таблиці 2 можна зробити висновок, що для екстремальних стратегій оцінювання значення параметра $\theta=0$ відповідає операції згортки $\min(p_k, p_l)$, $\theta=1$ – операції згортки $\max(p_k, p_l)$. Іншими операціями згортки відповідають значення параметра $0 < \theta < 1$.

При побудові моделей оцінки можуть зустрічатися ситуації, коли для декількох (більше двох) показників ступеня їх сумісності (або критеріальних рівнів їх сумісності) збігаються.

Для отримання узагальненої оцінки потрібно послідовно попарно згорнути ці показники з використанням однієї і тієї ж операції. У цьому випадку на результат оцінки впливає наявність властивості асоціативності операції, що застосовується. Відповідно необхідно врахувати вимогу властивості асоціативності для операцій згортки.

Подальший же аналіз використання асоціативних операцій згортки дозволяє зробити висновок про недоцільність використання операції $\frac{p_k p_l}{1 - p_k - p_l + 2 p_k p_l}$ □ для запропонованої моделі через істотне збільшення невизначеності при зворотному нечіткому оцінюванні.

Таблиця 2 – Операції згортки які доцільно використовувати

№ з/п	Операція згортки показників p_k та p_l	Значення параметра θ	№ з/п	Операція згортки показників p_k та p_l	Значення параметра θ
1	$\min(p_k, p_l)$	0,0	8	$\frac{p_k + p_l - p_k p_l}{1 + p_k + p_l - 2 p_k p_l}$	0,5
2	$\text{med}(p_k, p_l; 0,25)$	0,16	9	$\frac{\max(x, y)}{1 + x - y }$	0,5
3	$\frac{2 p_k p_l}{p_k + p_l}$	0,23	10	$\frac{p_k p_l}{1 - p_k - p_l + 2 p_k p_l}$	0,5
4	$\sqrt{p_k p_l}$	0,33	11	$1 - \sqrt{(1 - p_k)(1 - p_l)}$	0,67
5	$\text{med}(p_k, p_l; 0,5)$	0,5	12	$\text{med}(p_k, p_l; 0,75)$	0,84
6	$\frac{\min(p_k, p_l)}{1 - p_k - p_l }$	0,5	13	$\max(p_k, p_l)$	1,0
7	$\frac{p_k + p_l}{2}$	0,5			

Решта операції згортки задовольняють всім висунутим вимогам і складають набір операцій для зіставлення зі ступенями сумісного вартості показників (таблиця 3).

Таблиця 3 – Обґрунтований набір операцій згортки

№ з/п	Операція згортки показників p_k та p_l	Значення параметра θ
1	$\min(p_k, p_l)$	0,0
2	$\text{med}(p_k, p_l; 0,25)$	0,16
3	$\text{med}(p_k, p_l; 0,5)$	0,5
4	$\text{med}(p_k, p_l; 0,75)$	0,84
5	$\max(p_k, p_l)$	1,0

Етап 4. Зіставлення ступенів сумісності показників, що агрегуються з операціями їх згортки.

Можна відзначити, що три операції з відібраних на попередньому етапі операцій згортки є, по суті, варіантами однієї і тієї ж параметризованої операції med з різними значеннями параметра. Ця особливість використовується для

запропонованого способу зіставлення ступенів сумісності показників з операціями їх згортки.

Для зіставлення ступенів сумісності показників, що агрегуються з операціями згортки, як правило, використовуються прямі способи безпосереднього встановлення експертом такої відповідності.

Однак з обґрунтованого на попередньому етапі набору операцій можна зробити висновок, що вся безліч компромісних стратегій забезпечує параметризоване сімейство операцій згорток типу:

$$\text{med}(p_k, p_l; \alpha), k, l \in \{1, \dots, n\}, \alpha \in [0, 1]$$

Причому, значення параметра θ можуть використовувати ступені сумісності показників, що агрегуються p_k та p_l . Для ілюстрації зазначеного на рис. 3 представлена залежність θ від α . Також значення параметра α операції згортки $\text{med}(p_l, p_k, \alpha)$ можуть бути зіставлені з критеріальним рівнями сумісності показників. У таблиці 4 наведено приклад такого зіставлення.

Етап 5. Визначення стратегії оцінювання.

Стратегія оцінювання визначається виходячи з переваг особи, що приймає рішення, а також особливостей об'єктів оцінки і полягає в завданні: по-перше, порядку огляду ступенів сумісності показників, що обумовлює порядок агрегування показників в моделі; по-друге, процедури перерахунку ступенів сумісності показників при їх послідовній згортці.

Можуть бути задані дві основні стратегії нечіткого оцінювання:

від найменш сумісних показників до найбільш сумісних показників;

від найбільш сумісних показників до найменш сумісних показників.

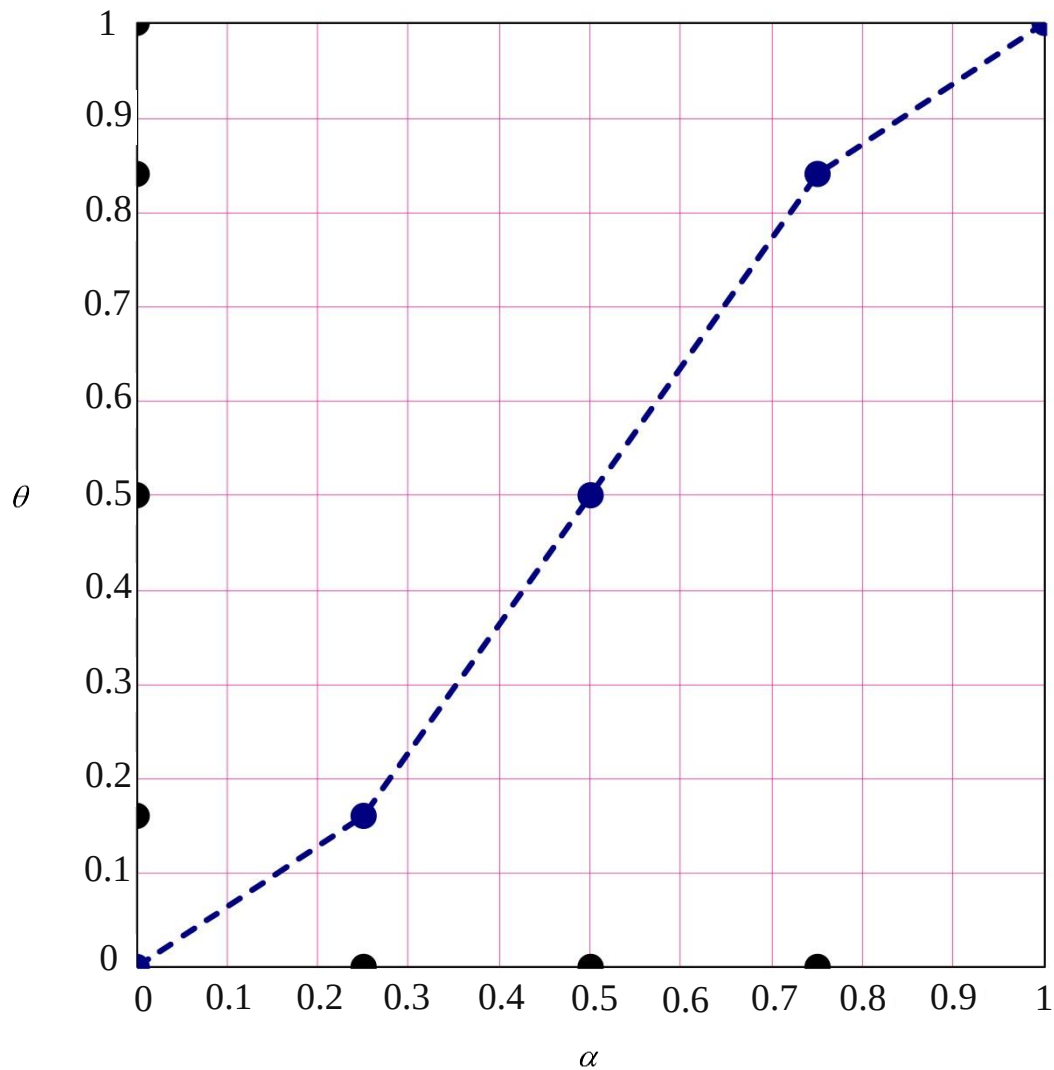


Рис. 3 – Графік залежності θ від α для операції згортки $\text{med}(p_l, p_k, \alpha)$

Таблиця 4 – Зіставлення значень параметра операції згортки $\text{med}(p_l, p_k, \alpha)$ з критеріальними рівнями сумісності показників

№ з/п	Операція згортки показників p_k та p_l	Критеріальні рівні сумісності показників p_l и p_k	
		Позначення	Опис
1	$\text{med}(p_k, p_l; 0, 0)$	NC	Низький рівень
2	$\text{med}(p_k, p_l; 0, 25)$	LC	Рівень нижче середнього
3	$\text{med}(p_k, p_l; 0, 5)$	MC	Середній рівень
4	$\text{med}(p_k, p_l; 0, 75)$	HC	Рівень вище середнього
5	$\text{med}(p_k, p_l; 1, 0)$	FC	Високий рівень

Причому, стратегія оцінювання може задаватися як для всієї моделі, так і окремо для кожної з підмножин показників.

Етап 6. Розбиття нечіткого відношення сумісності на класи сумісності та вибір відповідних їм операцій згортки.

Розглянемо випадок стратегії оцінювання від найменш сумісних показників до найбільш сумісних показників. Нечітке відношення сумісності показників може бути розбите на так звані класи сумісності щодо критеріальних рівнів сумісності. На рис. 4 та рис. 5 показано, що нечітке відношення сумісності $\tilde{R}$ щодо критеріального рівня NC – “Відсутність сумісності” може бути розділене два класи сумісності.

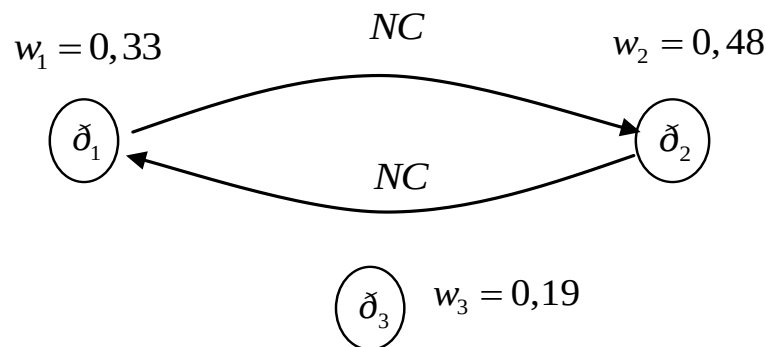


Рис. 4 – Класи сумісності нечіткого відношення сумісності

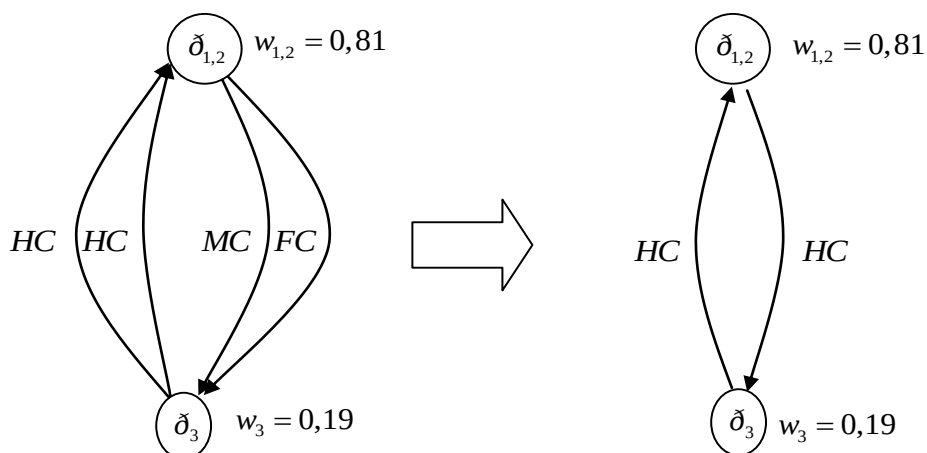


Рис. 5 – Приклад модифікації нечіткого відношення сумісності

Для агрегування показників всередині одного класу сумісності показників використовується одна і та ж операція, відповідна заданому критеріальному рівню. І порядок згортки показників всередині одного класу не важливий. Для розглянутого випадку показники p_1 та p_2 , що агрегуються з використанням операції $\text{med}(p_1, p_2; 0, 0)$ або операції $\text{min}(p_1, p_2)$.

Етап 7. Модифікація нечіткого відношення сумісності.

Після згортки показників потрібно виконати модифікацію нечіткого відношення сумісності і зміна ступенів (рівнів) сумісності показників з урахуванням нового агрегованого показника $p_{1,2}$ вага якого буде рівна сумі ваг агрегованих показників (рис. 5).

Етап 8. Формування структури згортки показників.

Етапи 6 і 7 повторюються на всіх рівнях ієрархії нечіткої оціночної моделі, починаючи з нижнього, а на кожному рівні ієрархії - для всіх підмножин показників. В результаті формується структура згортки показників в наступному вигляді:

$$h^*(p_1, \dots, p_n) = h_u(h_y(\dots(h_t(p_1, p_2), \dots), p_{n-1})p_n)$$

де t, y, u – індекси операції згортки, що відповідає різним рівням узгодженості показників.

Етап 9. Задання зважених значень показників і нечітке оцінювання альтернатив.

На даному етапі для кожної з оцінюваних альтернатив $A = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_m\}$ задаються значення всіх показників $\{p_1, \dots, p_i, \dots, p_n\}$ нижнього рівня ієрархії моделі.

Нечітке значення показника p_i альтернативи a_i в загальному випадку може бути представлено у вигляді нечіткої множини (числа) $p_i = \{p_i / \mu_{\tilde{p}_i}(p_i)\}$ даного на $p_i \in [0, 1]$ значеннями функції належності $\mu_{\tilde{p}_i}(p_i) \in [0, 1]$. В окремому випадку значення показника p_i альтернативи a_i може бути представлено чітким значенням $p_i(a_j) \in [0, 1]$. Надалі, якщо не обумовлено зворотнє, будемо використовувати чіткі значення показників. Безпосередньо перед початком прямого нечіткого оцінювання потрібно врахувати різну значимість показників. Процедура обліку

значимості показників виконується перед згортокою для кожної пари показників p_k та p_l у відповідності з наступними виразами:

$$\begin{aligned} p'_k &= p_k + (p_k - p_l) \cdot (w_k - \max(w_k, w_l)), \\ p'_l &= p_l + (p_l - p_k) \cdot (w_l - \max(w_k, w_l)). \end{aligned}$$

У разі рівного розподілу ваг, оцінки за показниками не змінюються. Якщо вага одного показника менше ваги іншого, то відбувається коригування значення показника з меншою вагою, з урахуванням різниці між значеннями і вагами показників.

Етап 10. Розробка рекомендацій щодо підвищення оперативності інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності службових осіб та визначення раціонального порядку їх роботи.

При вирішенні будь-якої задачі, в тому числі виконання заходів організації менеджменту, головним критерієм ефективності роботи є здатність виконати поставлені завдання за встановлений час.

При плануванні заходів менеджменту керівник і посадові особи керуються певними правилами, застосовують різні прийоми і способи, які взаємопов'язані між собою і характеризуються відносно чіткою постановкою вирішуваних завдань або виконуваних робіт; регламентацією часу виконання робіт; можливістю залучення конкретного складу виконавців; впорядкованістю робіт щодо послідовності проведення. Ухвалення рішення на використання сил і засобів в ході організації (планування) менеджменту може здійснюватися на основі суб'єктивного (інтуїтивного, неформального) підходу або в результаті використання спеціального математичного апарату, що описує закономірності розвитку тієї або іншої ситуації [317].

Одним із шляхів вирішення даної задачі є підвищення оперативності роботи посадових осіб в прийнятому циклі управління [317].

До показників оперативності відносяться [317, 342]: математичне очікування часу управління M_T ; ймовірність завершення циклу управління в заданий час P_y . При цьому в якості математичного очікування часу управління

приймається тривалість критичного шляху в прийнятому циклі T_k , а ймовірність завершення циклу управління в заданий час визначається за формулою [317]

$$P_y = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi \left(\frac{T_{dir} - T_k}{\sigma_y} \right) \right], \quad (2)$$

де T_{dir} – директивний час закінчення циклу управління; Φ – приведена функція Лапласа; σ_y – середньоквадратичне відхилення часу виконання робіт посадовими особами організації.

Цільова функція вибору раціонального порядку роботи посадових осіб має вигляд [343].

$$U = \min \{M_T\}, \text{ при } S = \text{const}, M_{\dot{O}} < T_{i\dot{O}}, \quad (3)$$

де S – склад сил та засобів; $T_{i\dot{O}}$ – час від отримання завдання до готовності до його виконання.

При сучасному стані засобів автоматизації управління підвищення оперативності в роботі посадових осіб можливо за рахунок визначення раціонального обсягу і послідовності виконання робіт по етапах планування, перерозподілу виконуваних заходів між етапами роботи з орієнтацією на пріоритетну підготовку даних, необхідних для прийняття рішення, що є вихідними для роботи взаємодіючих організацій. Отже доцільного розподілити роботи між виконавцями і призначення обґрунтованих строків їх виконання [317, 342, 343]. Відповідно до складу посадових осіб і даними моделювання роботи розподіляються між посадовими особами. Розподіл обов'язків здійснюється таким чином, щоб забезпечувалося виконання вимог про мінімізації часу управління (вираз (2)), рівномірності завантаження виконавців і своєчасності завершення циклу управління.

Коефіцієнти, що оцінюють завантаження посадових осіб ($\hat{E}_i$), розраховуються за формулою:

$$\hat{E}_i = \frac{t_i}{T_{\max}^n},$$

де t_i – сумарні витрати часу кожної посадової особи; $T_{\max}^n$ – максимальна тривалість виконання усього комплексу робіт посадовими особами.

При відмінності коефіцієнтів завантаження посадових осіб між собою не більше 5% можна вважати, що варіант розподілу робіт між ними є раціональним. В іншому випадку доцільно зробити перерозподіл робіт між посадовими особами.

Імовірність завершення циклу управління у встановлені терміни визначається відповідно до виразу (3). Розподіл обов'язків посадових осіб в кожному циклі управління має бути таким, щоб з ймовірністю $P_y = 0,9$ (Відповідно що ставляться до оцінки надійності систем) математичне очікування часу завершення прийнятих циклів управління не перевершувало заданої величини. При виконанні перерахованих умов порядок роботи може вважатися раціональним і прийнятий за основу в практичній роботі.

Запропоновано методику оцінювання інформаційно-аналітичного забезпечення з використанням нечіткої логіки. Проведено моделювання роботи запропонованої методики в програмному середовищі MathCad 14.

Основними перевагами запропонованої методики оцінки є:

- має гнучку ієрархічну структуру показників, що дозволяє звести завдання багатокритеріального оцінювання альтернатив до одного критерію або використовувати для вибору вектор показників;
- однозначність отриманої оцінки стану інформаційно-аналітичного забезпечення;
- широка сфера використання (системи підтримки та прийняття рішень);
- простота математичних розрахунків;
- можливість адаптації системи показників в ході роботи;
- можливість синтезу оптимальної структури системи підтримки та прийняття рішення.

До недоліків запропонованої методики слід віднести:

- втрата інформативності при оцінюванні стану інформаційно-аналітичного забезпечення за рахунок побудови функції належності. Зазначена втрата

інформативності може бути зменшена за рахунок вибору типу функції належності при практичній реалізація запропонованої методики в системах підтримки та прийняття рішень. Вибір типу функції належності залежить від обчислювальних ресурсів конкретного електронно-обчислювального засобу.

- менша точність оцінювання по окремо взятому параметру оцінки стану інформаційно-аналітичного забезпечення;

- менша точність оцінювання у порівнянні з іншими методами оцінки.

Зазначена методика дозволить:

- провести оцінку стану інформаційно-аналітичного забезпечення;

- визначити ефективні заходи для підвищення ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення;

- підвищити швидкість оцінки стану інформаційно-аналітичного забезпечення;

- зменшити використання обчислювальних ресурсів систем підтримки та прийняття рішень.

- виробити заходи, що спрямовані на підвищення ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення.

За результатами проведеного аналізу ефективності запропонованої методики видно, що її обчислювальна складність на 10-15 % менше, у порівнянні з методиками, що використовуються для оцінки ефективності прийнятих рішень, які представлені в таблиці 5.

Зазначене дослідження є подальшим розвитком досліджень проведеними авторами, що спрямовані на розробку методологічних засад підвищення ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення, що опубліковані вже раніше [342, 343].

Напрямки подальших досліджень слід спрямувати на зменшення обчислювальних витрат при обробці різнотипних даних в системах спеціального призначення.

Висновки

Наукова новизна зазначеної методики оцінювання інформаційно-аналітичного забезпечення з використанням нечіткої логіки полягає в наступному.

1. Запропоновано нечіткі оціночні моделі для створення програмних засобів підтримки вибору рішень, які характеризуються наступними особливостями:

- мають гнучку ієрархічну структуру показників, що дозволяє звести завдання багатокритеріального оцінювання альтернатив до одного критерію або використовувати для вибору вектор показників;

- забезпечують можливість нечіткого представлення показників і відношення сумісності між ними, які можуть реалізувати різний характер взаємозалежностей;

- дозволяють реалізувати методи прямого і зворотного нечіткого оцінювання;

- враховують різну значимість окремих показників за рахунок використання ваги показника;

- містять необхідний набір засобів формалізації для забезпечення їх програмної реалізації.

2. Розроблено методику нечіткого оцінювання, орієнтовану на програмну реалізацію розширених можливостей запропонованих нечітких оціночних моделей з урахуванням різного характеру агрегування і взаємовпливу показників, що оцінюються, вибору операцій згортки і стратегій оцінювання.

3. Для реалізації створеної методики нечіткого оцінювання:

- по-перше, запропонований спосіб побудови нечітких оціночних моделей;

- по-друге, розроблений спосіб визначення ступенів сумісності показників нечітких оціночних моделей, що агрегуються;

- по-третє, виконано обґрунтування операцій згортки і запропонований спосіб їх зіставлення з ступенями сумісності показників, що агрегуються для їх нечіткого оцінювання.

4. Практична цінність запропонованої методики полягає в тому, що на її основі було проведено розробку практичних рекомендації щодо підвищення рівня оперативності інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності службових осіб.

Аналіз ефективності запропонованої методики показав, що її обчислювальна складність на 10-15 % менше, у порівнянні з методиками, що використовуються для оцінки ефективності прийнятих рішень з питань аналізу радіоелектронної обстановки.