

УДК 623.746-519

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3\(23\).99-109](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3(23).99-109)**О. О. ГОЛОВІН**, кандидат технічних наук,

старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>**М. В. ЗІРКА**, науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0003-2915-3011>

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

**Н. П. КАДЕТ**, старший викладач<https://orcid.org/0000-0003-2954-6325>

(Національний авіаційний університет, м. Київ)

**Н. М. ФРЕГАН**, старший викладач**В. І. КОЦЮРУБА**, доктор технічних наук,

доцент, професор

<https://orcid.org/0000-0001-6565-9576>

(Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, м. Київ)

## Методика нечіткого оцінювання для систем підтримки прийняття проектних рішень на етапах створення зразків озброєння та військової техніки

У статті приведено розроблену методику нечіткого оцінювання для систем підтримки прийняття рішень в процесі створення зразків озброєння та військової техніки. Практична цінність методики полягає в тому, що на її основі було проведено розробку програмних засобів підтримки вибору рішень. Для досягнення зазначеної мети були використані основні положення методів штучного інтелекту, складних технічних систем, нечіткої логіки та багатопараметричної та багатокритеріальної оптимізації.

**Ключові слова:** інформаційно-аналітична система, трансдисциплінарні онтології, штучний інтелект, нечітке оцінювання, математичні моделі, нечітка логіка.

В статье приведена разработанная методика нечеткого оценивания для систем поддержки принятия решений в процессе создания образцов вооружения и военной техники. Практическая ценность методики состоит в том, что на ее основе было проведено разработку программных средств поддержки выбора решений. Для достижения поставленной цели были использованы основные положения методов искусственного интеллекта, сложных технических систем, нечеткой логики и многопараметрической и многокритериальной оптимизации.

**Ключевые слова:** информационно-аналитическая система, трансдисциплинарные онтологии, искусственный интеллект, нечеткое оценивание, математические модели, нечеткая логика.

### ВСТУП

Аналіз ефективності функціонування системи розроблення та постановки на виробництво озброєння та військової техніки (ОВТ) свідчить про необхідність підвищення рівня автоматизації процесів прийняття рішень під час управління проектами зі створення зразків ОВТ.

Тому найважливішим науковим завданням є створення інформаційно-аналітичної системи (ІАС) з реалізацією функцій систем підтримки прийняття рішень (СППР), в якій буде забезпечено адаптацію проектних рішень до умов зовнішнього і внутрішнього середовищ, що знаходяться в процесі динамічної трансформації і вирішені завдання автоматизації аналітичної обробки даних.

Зазначену ІАС пропонується створювати на основі використання онтологічних засад опрацювання різномірної інформації у вигляді інноваційного комплексу мережевих програмно-інформаційних та методичних засобів інтегрованого використання розподілених інформаційних ресурсів та корпоративних систем знань, які мають значну кількість міждисциплінарних відношень [1-4].

Основою для створення такої системи є забезпечення підтримки прийняття багатокритеріальних рішень за допомогою відповідної СППР, а також вирішення когнітивних метазадач при обробці текстових документів, баз даних та знань: структуризація, аналіз, синтез та вибір, зокрема:

структуризація масивів вхідної інформації;

обробка отриманої структурованої інформації, що включає в себе аналіз і вибір;

синтез на основі вхідної інформації і результатів її обробки вихідних документів.

Реалізація зазначеного завдання потребує підвищення ефективності відповідних методів, інформаційних засобів і технологій, а також заходів і процедур, які впливають на якість підготовки вихідних даних, отримання та обробки нової інформації і аналізу даних, розробки рекомендацій, необхідних для своєчасного прийняття обґрунтованих рішень у процесі створення зразків ОВТ.

У даному контексті важливого значення набуває розробка методів багатокритеріального оцінювання складних об'єктів і альтернатив рішень. Розвитку теорії і методів багатокритеріальних систем підтримки вибору рішень присвячені роботи таких авторів, як О.І. Ларічев [1, 2], А.Н. Катула [3], А.Б. Петровський [4, 5], Н.А. Северцев [3], Е.А. Трахтенгерц [6], А.І. Орлов [7], Є.С. Вентцель [8], R.L. Keeney, H. Raiffa [9], В. Roy [10], T.L. Saaty, K.P. Kearns [11, 12] та інші.

Необхідність врахування невизначеності при вирішенні задач багатокритеріального оцінювання і підтримки вибору альтернатив є обґрунтуванням використання методів і моделей теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Даному напрямку створення методів і моделей підтримки вибору рішень присвячені роботи таких дослідників, як А.Е. Алтунін [13], І.З. Батиршін [14], Л.С. Берштейн [15], А.Н. Борисов [16, 17], С.Я. Коровін [15], О.А. Крумберг [17],

А.Н. Меліхов [15], Д.А. Поспелов [18], М.В. Семухін [13], В.Б. Сілов [16], R. Bellman [19, 20], E. Mamdani [21], M. Sugeno [22], D. Dubuis, H. Prade [23], J.C. Bezdek, J.L. Castro, A. Kaufmann [24], H. Larsen, T. Takagi [25], T. Terano, Y. Tsukamoto, R. Yager [26], L.A. Zadeh [27-29] та інші.

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 вибору рішень необхідно створення методів нечіткого оцінювання [30 – 33], що повинні задовольняти наступному комплексу вимог: можливість формування узагальненого показника оцінки та вибору рішень на основі зміни наборів часткових показників з урахуванням складної багаторівневої структури оцінювання; можливість агрегування показників (як кількісних, так і якісних) оцінки та вибору рішень, що розрізняються по вимірвальним шкалам, діапазонами значень; врахування сумісності і різної значимості часткових показників в узагальненій оцінці рішень; врахування різних стратегій оцінювання рішень; гнучке налаштування (адаптація) оціночних моделей при додаванні або виключенні показників і зміні їх параметрів (сумісності та значущості показників); забезпечення можливості реалізації в рамках єдиної моделі: по перше, прямого завдання оцінювання (згортки) узагальненого показника на основі часткових показників; по-друге, зворотної задачі оцінювання (розгортки) часткових показників при заданому значенні узагальненого показника; по-третє, спільного виконання прямої і зворотної задач; оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень.

Метою цієї роботи є розробка методики нечіткого оцінювання для вирішення наступних завдань:

- оцінки альтернатив рішень;
- 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).

Для розробки методики нечіткого оцінювання в СППР необхідно провести формалізацію процесу нечіткого оцінювання. Зазначене можливо провести за допомогою розробки моделі нечіткого оцінювання.

У загальному вигляді задача побудови нечітких оціночних моделей для підтримки вибору рішень ставиться таким чином. Нехай є безліч 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.

Вся безліч показників розбивається за рівнями ієрархії. На кожному рівні ієрархії показники утворюють підмножини, кожна 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 у формалізованому вигляді може бути представлена таким чином:

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

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; забезпечує можливість нечіткого представлення показників і відношень сумісності між ними, які можуть реалізувати різноманітний 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 програмної реалізації.

Методика нечіткого оцінювання для СППР рішень складається з наступних основних етапів.

Етап 1. Побудова нечіткої оціночної моделі.

Етап 2. Визначення ступенів сумісності показників, що агрегуються.

Етап 3. Обґрунтування набору операцій згорток для агрегування показників.

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

Етап 5. Завдання 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.

Розглянемо детальніше етапи запропонованої методики нечіткого 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 ваги показників на кожному рівні ієрархії моделі;

по-третє, задання нечітких відносин сумісності між показниками на кожному рівні ієрархії моделі.

Для створення ієрархічної структури показників оцінки необхідно вирішити наступні завдання:

показники кожного рівня ієрархії групуються за підмножинами:

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

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  $p_{q,i}^{(j)}$  на  $j$ -му рівні ієрархії моделі встановлюється відповідність з підмножиною показників  $P_s^{(j+1)}$  ( $j+1$ )-го рівня

$$p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow P_s^{(j+1)} = \{p_{s,1}^{(j+1)}, \dots, p_{s,m}^{(j+1)}, \dots, p_{s,n}^{(j+1)}\}, \quad (2)$$

$$j = 1, \dots, J-1; s = 1, \dots, S; q = 1, \dots, Q; m = 1, \dots, n_s,$$

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 (ваги) усіх показників на кожному рівні ієрархії моделі:

$$p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow w_{q,i}^{(j)}, j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q; i = 1, \dots, n_q, \quad (3)$$

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

Важливий момент 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:

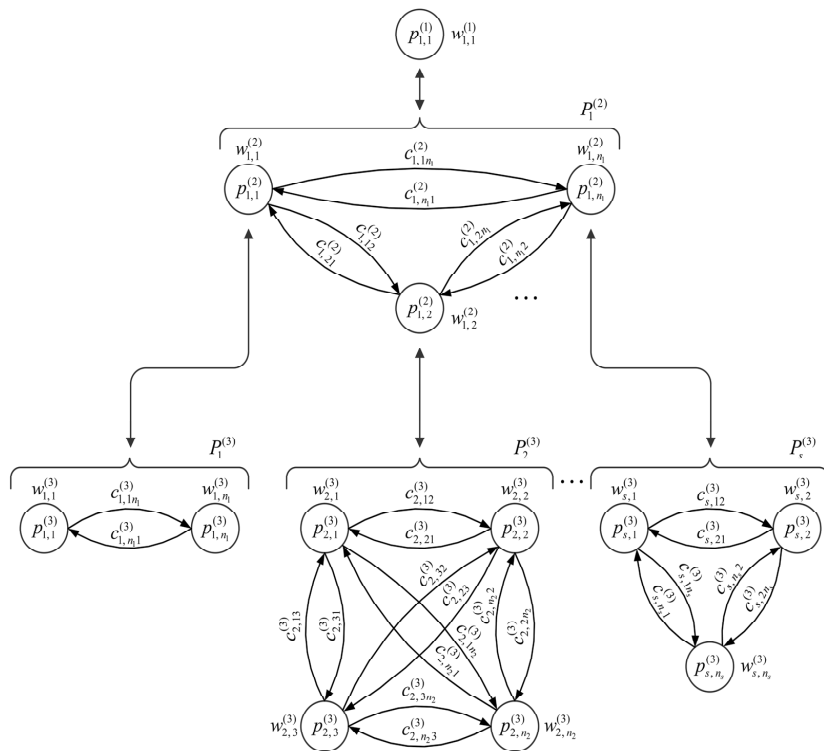


Рис. 1. Фрагмент нечіткої оціночної моделі

$$\tilde{R}_q^{(j)} = \left\{ \left( p_{q,k}^{(j)}, p_{q,l}^{(j)} \right) / c_{q,k}^{(j)} \right\}, \quad (4)$$

$$j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q; k, l \in \{1, \dots, n_q\}$$

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

*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 зіставлені з критеріальними рівнями сумісності, впорядкованими в порядку зростання ступеня сумісності, наприклад, відповідно до шкали Харрінгтона, С = {NC – “низький рівень”, LC – “Рівень нижче середнього”, MC – “Середній рівень”, HC – “Рівень вище середнього”, FC – “Вищий рівень”}:

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

де  $u$  – індекс елемента множини С.

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:

$$\tilde{G}_q^{(j)} = \left( \tilde{P}_q^{(j)}, \tilde{R}_q^{(j)} \right) \quad (5)$$

При цьому, оскільки для всіх підмножин показників нечіткі відносини сумісності задаються аналогічним чином, перейдемо в подальшому до наступного більш наочного позначення і опису нечіткого графа сумісності показників:

$$\tilde{G} = \left( \tilde{P}, \tilde{R} \right) \quad (6)$$

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  $(p_k, p_l)$  співставлена відповідному рівню сумісності  $c_{kl} \in [0,1]$  показників  $p_k$  та  $p_l$ .

Нечітке представлення показників дозволяє використовувати для їх оцінки розвиненого апарата 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.

У випадку, коли складно безпосередньо оцінити ступінь сумісності показників, пропонується спосіб,

заснований на попарному порівнянні всіх показників оцінки і заповненні, так званих, таблиць сполучення між лінгвістичними значеннями цих показників.

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 із вказаним 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.

*Етап 3. Обґрунтування набору операцій для агрегування показників*

У роботах [3-12] сформульовані вимоги до нечітких моделей оцінювання, що розроблюються, а також до методів прямого і зворотного нечіткого оцінювання на їх основі для підтримки вибору рішень. Ці вимоги багато в чому обумовлені вибором операцій згортки і способом їх зіставлення зі ступенем сумісності показників, що агрегуються.

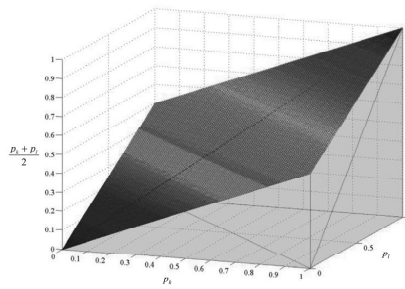
Також, виходячи із сформованих вимог до мінімізації витрат ресурсів і часу для підготовки до проведення оцінки передбачається використання нечітких аналітичних згорток замість FIS-моделей. Це обумовлено, в тому числі, складністю налаштування і використання FIS-моделей як при прямому, так і при зворотному 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  $\theta$ , тим менше ступінь компромісності показників  $p_l$  та  $p_k$ . Значення параметра  $\theta$  будемо обчислювати відповідно до виразу:

$$\theta = \frac{v - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}}, \quad (7)$$

де  $v$  – значення “об’єму” під поверхню 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.

Проведено аналіз найбільш поширених двомісних операцій згортки, які характеризуються зазначеними вище властивостями [10, 12], і для цих операцій визначені значення параметра  $\theta$ . У табл. 1 представлені операції згортки, що задовольняють зазначеним вимогам в порядку зростання значення параметра  $\theta$ .

Рис. 2. Поверхня, що утворена в результаті використання згортки  $\frac{p_k + p_l}{2}$ 

З табл. 1 можна зробити висновок, що для екстремальних стратегій оцінювання значення параметра  $\theta = 0$  відповідає операції згортки  $\min(p_k, p_l)$ ,  $\theta = 1$  – операції згортки  $\max(p_k, p_l)$ . Іншим операціям згортки відповідають значення параметра  $0 < \theta < 1$ . На рис. 2 показаний приклад поверхні, утвореної в результаті застосування операції згортки  $\frac{p_k + p_l}{2}$  для розрахунку значення параметра  $\theta$ .

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.

Решта операцій згортки задовольняють всім висунутим вимогам і складають набір операцій для зіставлення зі ступенями сумісної вартості показників (табл. 2). На рис. 3 показані поверхні, утворені в результаті застосування цих згорток.

*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

Таблиця 1 – Операції згортки, які доцільно використовувати [10, 12]

№ з/п	Операція згортки показників $p_k$ та $p_l$	Значення параметра $\theta$	№ з/п	Операція згортки показників $p_k$ та $p_l$	Значення параметра $\theta$
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			

Таблиця 2 - Обґрунтований набір операцій згортки

№ з/п	Операція згортки показників $p_k$ та $p_l$	Значення параметра $\theta$
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

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:

$$\text{med}(p_k, p_l; \alpha), k, l \in \{1, \dots, n\}, \alpha \in [0, 1] \quad (8)$$

Причому, значення параметра  $\theta$  можуть використовувати ступені сумісності показників, що агрегуються,  $p_k$  та  $p_l$ . Для ілюстрації зазначеного на рис. 4 представлена залежність  $\theta$  від  $\alpha$ .

Також значення параметра  $\alpha$  операції згортки  $\text{med}(p_l, p_k, \alpha)$  можуть бути зіставлені з критеріальними рівнями сумісності показників. У табл. 3 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 порядку огляду ступенів сумісності показників, що обумовлює порядок агрегування показників в моделі.

Можуть бути задані дві основні стратегії нечіткого оцінювання: від найменш сумісних показників до найбільш сумісних показників;

від найбільш сумісних показників до найменш сумісних показників.

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

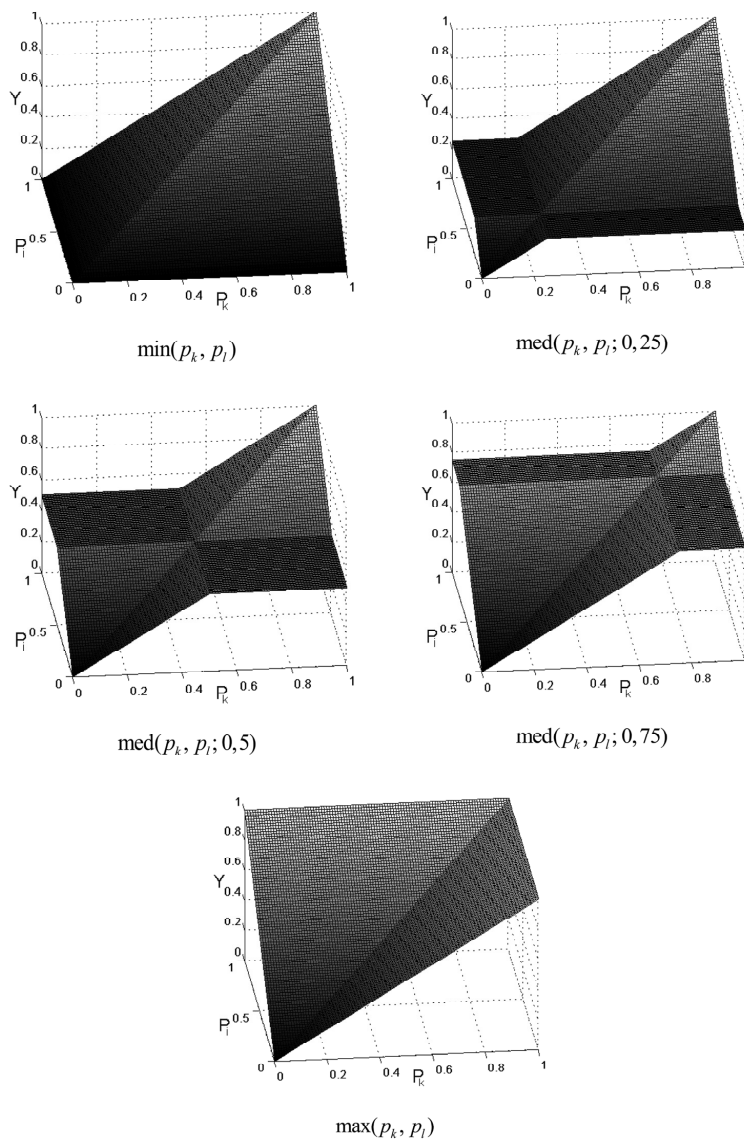


Рис. 3. Приклади обґрунтованих операцій згортки показників  $p_l$  та  $p_k$

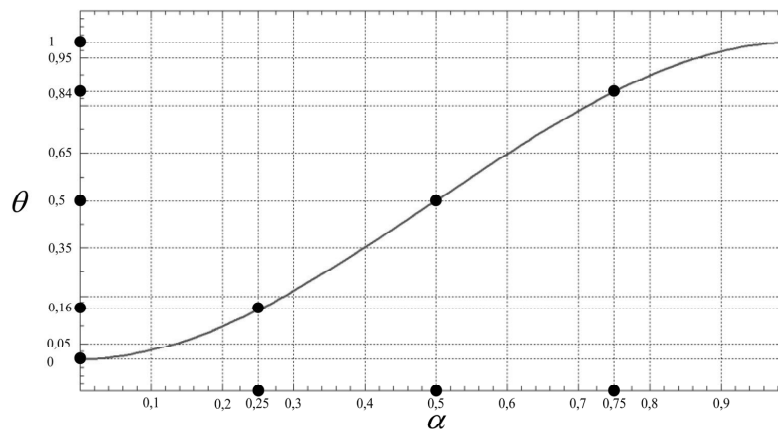


Рис. 4. Графік залежності  $\theta$  від  $\alpha$  для операції згортки  $\text{med}(p_l, p_k, \alpha)$

Таблиця 3 - 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

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. 5 показано, що нечітке відношення сумісності  $\tilde{R}$  щодо критеріального рівня NC – “Відсутність сумісності” може бути розділене на два класи 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  $p_2$  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 зміну ступенів (рівнів) сумісності показників з урахуванням нового агрегованого показника  $p_{1,2}$ , вага якого буде рівна сумі ваги агрегованих показників (рис. 6).

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:

$$h^*(p_1, \dots, p_n) = h_u(h_y(\dots(h_t(p_1, p_2), \dots), p_{n-1})p_n) \quad (9)$$

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.

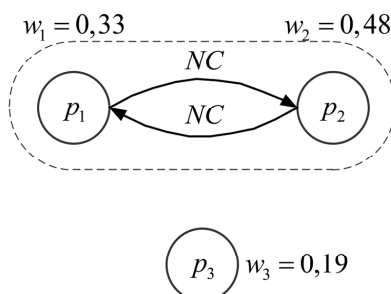


Рис. 5. Класи сумісності нечіткого відношення сумісності

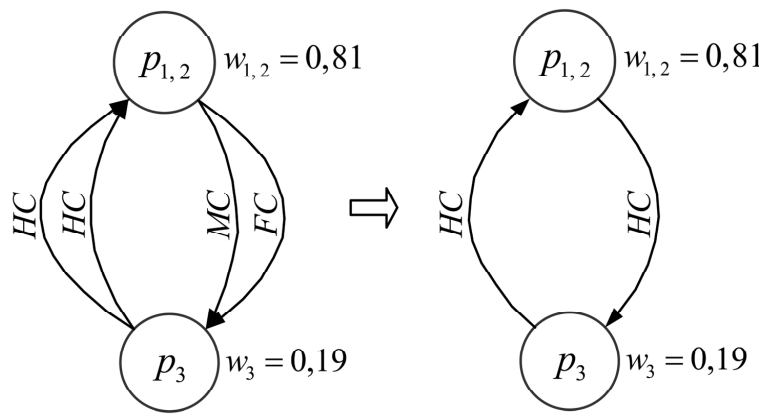


Рис. 6. Приклад модифікації нечіткого відношення сумісності

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 зворотне, будемо використовувати чіткі значення показників. Безпосередньо перед початком прямого нечіткого оцінювання потрібно врахувати різну значимість показників. Процедура обліку значимості показників виконується перед згортою для кожної пари показників  $p_k$  та  $p_l$  у відповідності з наступними виразами:

$$p'_k = p_k + (p_k - p_l) \cdot (w_k - \max(w_k, w_l)),$$

$$p'_l = p_l + (p_l - p_k) \cdot (w_l - \max(w_k, w_l)).$$
(10)

У разі рівного розподілу ваги, 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.

**ВИСНОВКИ**

Наукова новизна зазначеного дослідження полягає в наступному.

1. Запропоновано нечіткі оціночні моделі, що входять до складу запропонованої методики для створення програмних засобів підтримки вибору рішень, враховують ієрархічну структуру, взаємну сумісність і різну значимість оцінюваних показників.

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. Практична цінність запропонованої методики полягає в тому, що на її основі було проведено розробку програмних засобів підтримки вибору рішень в процесі створення зразків ОВТ, що включають в себе модулі: візуального редактора; конструювання процесів оцінки і вибору рішень; побудови і настройки нечіткої оціночної моделі (формування ієрархічної структури показників

оцінки, завдання ваг і нечітких відносин сумісності між показниками); вибору і зіставлення операцій згортки показників ступенів сумісності показників; прямого і зворотного нечіткого оцінювання (завдання значень показників, завдання стратегії оцінювання, розбиття нечіткого відношення сумісності на класи сумісності, модифікації нечіткого відношення сумісності, побудови і обходу дерев рішень).

**СПИСОК ПОСИЛАНЬ**

1. Ларичев О. И., Петровский А. Б. Системы поддержки выбора решений: современное состояние и перспективы развития. Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ, 1987. Т. 21, 323 с.
2. Ларичев О. И., Мошквич Е. М. Качественные методы принятия решений. М.: Наука, 1996. 401 с.
3. Кагулев А. Н., Северцев Н. А. Математические методы в системах поддержки выбора решений: учеб. пособие. М: Высшая школа, 2005. 311 с.
4. Петровский А. Б. Компьютерная поддержка принятия решений: современное состояние и перспективы развития. Системные исследования. Методологические проблемы: ежегодник; под ред.: Д. М. Гвишиани, В. Н. Садовского. 1995–1996. М.: Эдиториал УРСС. № 24. С. 146–178.
5. Петровский А. Б. Теория принятия решений. М.: Академия, 2009. 398 с.
6. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. 468 с.
7. Орлов А. И. Теория принятия решений. Учебное пособие. М.: Март, 2004. 656 с.
8. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. М.: Наука, 1988. 208 с.
9. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.
10. Roy, B. Multicriteria methodology for decision aiding. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996. 223 p.
11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

12. Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, 1980. 287 p.
13. Алтунин А. Е., Семухин М. В. *Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях*. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2000. 352 с.
14. *Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта* / Аверкин А. Н. и др.; под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.
15. Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я. *Ситуационные советующие системы с нечёткой логикой*. М.: Наука, 1990. 440 с.
16. *Обработка нечеткой информации в системах принятия решений* / Борисов А. Н. и др. 1989. 304 с.
17. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. *Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования*. Рига: Зинатне, 1990. 184 с.
18. Поспелов Д. А. *Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта*. М.: Наука, Физ. мат. лит., 1986. 312 с.
19. Беллман Р., Заде Л. *Принятие решений в расплывчатых условиях*. Вопросы анализа и процедуры принятия решений: сб. переводов; под ред. И. Ф. Шахнова. М.: Мир, 1976. С. 172–215.
20. Bellman, R. E. and Zadeh, L. A. *Decision-making in fuzzy environment*. *Management Science*. Vol.17. No.4. 1970. Pp. 141–164.
21. Mamdani, E. H. and Assilian, S. *An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller*. *Int. J. of Man-Machine Studies*. Vol. 7. No. 1. 1975. P. 1–13.
22. Sugeno, M. *Industrial applications of fuzzy control*. Elsevier Science Pub. Co., 1985. 269 p.
23. Дюбуа Д., Прад А. *Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике*. М.: Радио и связь, 1990. 288 с.
24. Кофман А., Хил Алуха Х. *Введение теории нечетких множеств в управлении предприятиями*. Минск: Вышэйшая школа, 1992. 224 с.
25. Takagi, T. and Sugeno, M. *Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control*. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. Vol. 15. No 1. 1985. Pp. 116–132.
26. Ягер Р. *Множества уровня для оценки принадлежности нечетких подмножеств. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения; пер. с англ.; под ред. Р. Р. Ягера*. М.: Радио и связь, 1986. С. 71–78.
27. Заде Л. *Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений*. М.: Мир, 1976. 165 с.
28. Заде Л. *Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. Математика сегодня*. М.: Знание, 1974. С. 5–49.
29. Zadeh, L. A. *Fuzzy sets*. *Information and Control*. Vol. 8. 1965. Pp. 338–353.
30. Стрижак О. Є. *Засоби онтологічної інтеграції і супроводу розподілених просторових та семантичних інформаційних ресурсів. Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. пр.; редкол. : О. С. Волошкіна, О. М. Трофимчук (голов. ред.)* [та ін.]. Київський нац. ун-т буд-ва і архітектури, Ін-т телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ. 2013. Вип. 12. С. 166-177.
31. Стрижак А. Е. *Онтологические аспекты трансдисциплинарной интеграции информационных ресурсов. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. 2014. № 65. С. 211-223.
32. Стрижак О. Є., Горбурюков В. В., Франчук О. В., Попова М. А. *Онтологія задачі вибору та її застосування при аналізі лімнологічних систем. Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. пр.; редкол. : О. С. Волошкіна, О. М. Трофимчук (голов. ред.)* [та ін.]. Київський нац. ун-т буд-ва і архітектури, Ін-т телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ. Київ, 2014. Вип. 15. С. 172-183.
33. Головін О. О., Стрижак О. Є. *Окремі технологічні аспекти впровадження принципів мережецентричності в перспективні знання – орієнтовані інформаційно-аналітичні системи управління розвитком озброєння та військової техніки. Озброєння та військова техніка. Київ: ЦНДІ ОБТ ЗС України. 2018. Вип. 4(20). С. 19 – 25.*

## REFERENCES

1. Larichev, O. I. and Petrovskiy, A. B. (1987), “Sistemy podderzhki vybora resheniy: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya” [Decision Support Systems: Current State and Development Prospects]. *VINITI*, M. V. 21, 323 p.
2. Larichev, O. I. and Moshkevich, Ye. M. (1996), “Kachestvennyye metody prinyatiya resheniy” [Qualitative decision making methods]. *Nauka*, M. 401 p.
3. Katulev, A. N. and Severtsev, N. A. (2005), “Matematicheskiye metody v sistemakh podderzhki vybora resheniy: ucheb. Posobiye” [Mathematical methods in decision support systems]. M. 311 p.
4. Petrovskiy, A. B. “Komp’yuternaya podderzhka prinyatiya resheniy: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya. Sistemnyye issledovaniya. Metodologicheskiye problemy” [Computer decision support: current state and development prospects]. Editorial URSS, M. № 24. 1995-1996. Pp. 146-178.
5. Petrovskiy, A. B. (2009), “Teoriya prinyatiya resheniy” [Decision theory]. *Publ. Akademiya*, M. 398 p.
6. Trakhtengerts, E. A. (1998), “Komp’yuternaya podderzhka prinyatiya resheniy” [Computer decision support]. *SINTEG*, M. 468 p.
7. Orlov, A. I. (2004), “Teoriya prinyatiya resheniy” [Decision making theory. Tutorial]. M. 656 p.
8. Venttsel’, Ye. S. (1988), “Issledovaniye operatsiy: zadachi, printsipy, metodologiya. 2-ye izd.” [Operations Research: Tasks, Principles, Methodology]. M. 208 p.
9. Kini, R. L. and Rayfa, K. H. (1981), “Prinyatiye resheniy pri mnogikh kriteriyakh: predpochteniya i

- zameshcheniya" [Decision making under many criteria: preferences and substitutions]. M. 560 p.
10. Roy, B. (1996), "Multicriteria methodology for decision aiding". Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, 223 p.
  11. Saati, T. (1993), "Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy" [Making decisions. Hierarchy analysis method]. M., 278 p.
  12. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, 1980. 287 p.
  13. Altunin, A. Ye. and Semukhin, M. V. (2000), "Modeli i algoritmy prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyakh" [Decision Models and Algorithms in Fuzzy Conditions]. Publ. Tyumen State Univ. Tyumen, 352 p.
  14. Averkin, A. N., etc. (1986), "Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta" pod. red. D. A. Pospelova" [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models, ed. D. A. Pospelov]. Nauka, M. 312 p.
  15. Melikhov, A. N., Bernshteyn, L. S. and Korovin, S. Ya. (1990), "Situatsionnyye sovetuyushchiye sistemy s nehotkoy logikoy" [Fuzzy Situational Advisory Systems]. Nauka, M. 440 p.
  16. Borisov, A. N. etc. (1989), "Obrabotka nechetkoy informatsii v sistemakh prinyatiya resheniy" [Making decisions based on fuzzy models: examples of use]. 304 p.
  17. Borisov, A. N., Krumberg, O. A. and Fedorov, I. P. (1990), "Prinyatiye resheniy na osnove nechetkikh modeley: Primery ispol'zovaniya" [Making decisions based on fuzzy models: examples of use]. Riga. 184 p.
  18. Pospelov, D. A. (1986), "Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta" [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models]. M. 312 p.
  19. Bellman, R. and Zade, L. (1976), "Prinyatiye resheniy v rasplyvchatykh usloviyakh" [Decision Making in Vague Conditions], Voprosy analiza i protsedury prinyatiya resheniy: sb. perevodov – Analysis Questions and Decision Procedures: Coll. Translation, ed. I. F. Shakhnova]. M. Pp. 172–215.
  20. Bellman, R. E. and Zadeh, L. A. Decision-making in fuzzy environment. Management Science. Vol. 17. No.4. 1970. Pp. 141–164.
  21. Mamdani, E. H. and Assilian, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. Int. J. of Man-Machine Studies. Vol. 7. No. 1. 1975. P. 1–13.
  22. Sugeno, M. Industrial applications of fuzzy control. Elsevier Science Pub. Co., 1985. 269 p.
  23. Dyubua, D. and Prad, A. (1990), "Teoriya vozmozhnostey. Prilozheniya k predstavleniyu znaniy v informatike" [Theory of Opportunities. Applications to there presentation of knowledge in computer science]. M. 288 p.
  24. Kofman, A. and Khil Alukha Kh. (1992), "Vvedeniye teorii nechetkikh mnozhestv v upravlenii predpriyatiyami" [Introduction of the theory of fuzzy sets in enterprise management]. M. 224 p.
  25. Takagi, T. and Sugeno, M. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Vol. 15. No 1. 1985. Pp. 116–132.
  26. Yager, R. (1986), "Mnozhestva urovnya dlya otsenki prinadlezhnosti nechetkikh podmnozhestv" [Level sets for assessing the belonging of fuzzy subsets, Fuzzy sets and the theory of possibilities]. M. Pp. 71–78.
  27. Zade, L. (1976), "Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i yego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy" [The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions]. M. 165 p.
  28. Zade, L. (1974), "Osnovy novoho podkhoda k analyzu slozhnykh system y protsessov prinyatiya resheniy" [Basics of a new approach to the analysis of complex systems and decision-making processes]. M. Pp. 5–49.
  29. Zadeh, L. A. Fuzzy sets. Information and Control. Vol. 8. 1965. Pp. 338–353.
  30. Stryzhak, O. E. (2013), "Zasobi ontologichnoyi integratsiyi i suprovodu rozpodilennykh prostorovih ta semantichnih informatsiynih resursiv" [Means of ontological integration and maintenance of distributed spatial and semantic information resources], Ecological safety and nature management: Coll. of scientific researches of Kyiv Nat. Univ. of Civil Engineering and Architecture and Inst. of Telecommunications and Global Information Space of the Nat. Acad. of Sciences of Ukraine. No. 12. Pp. 166-177.
  31. Stryzhak, O. E. (2014), "Ontologicheskie aspektyi transdisciplinarnoy integratsii informatsionnykh resursov" [Ontological aspects of the transdisciplinary integration of information resources], Otkryitiye informatsonnyie i kompyuternyie integrirovannyye tehnologii. No. 65. Pp. 211-223.
  32. Strizhak, O. E., Goriterkov, V.V., Franchuk, O. V. and Popov, M. (2014), "Ontolohiia zadachi vyboru ta yii zastosuvannia pry analizi limnologichnykh system" [Ontology of the choice problem and its application in the analysis of limnological systems], Ecological safety and nature management: Coll. of scientific researches of Kyiv Nat. Univ. of Civil Engineering and Architecture and Inst. of Telecommunications and Global Information Space of the Nat. Acad. of Sciences of Ukraine. No. 15, pp. 172-183.
  33. Holovin, O. O. and Stryzhak, O. E. (2018), "Okremi tehnologichni aspekti vprovadzhennya printsipiv merezhentsentrchnosti v perspektivni znannya-orientovani informatsiyno-analitichni sistemi upravlinnya rozvitkom ozbroennya ta viyskovoyi tehniki" [Separate technological aspects of the introduction of the principles of network centricity into perspective knowledge-oriented information and analytical systems for the management of the development of armaments and military equipment], Weapons and military equipment, K., Central Scientific Research Inst. of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. No. 4(20). Pp. 19 – 25.

**Відомості про авторів:****Головін Олексій Олександрович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
начальник науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,  
м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

e-mail: a\_a\_golovin@ukr.net

**Зірка Марія Василівна** науковий співробітник науково-дослідного відділу, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-2915-3011>

e-mail: mariia-soroka@ukr.net

**Кадет Наталія Павлівна**, старший викладач кафедри прикладної інформатики Національного авіаційного університету

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-2954-6325>

e-mail: kadet-nata@ukr.net

**Фреган Наталія Миколаївна**

старший викладач кафедри іноземних мов Навчально-наукового центру іноземних мов Національного університету оборони України ім. І. Черняхівського

м. Київ, Україна

e-mail: natkiev@ukr.net

**Коцюрuba Володимир Іванович**

доктор технічних наук, доцент, професор, Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-6565-9576>

e-mail: kotcuru@ukr.net

**Information about the authors:****Oleksii Holovin**

Candidate of Technical Sciences

Senior Research

Chief of the Directorate for Scientific Research of Armament and Military Equipment of the Air Force of Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

e-mail: a\_a\_golovin@ukr.net

**Zirka Mariia Vasylivna**

researcher of the Central research institute of armament and military equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv.

<https://orcid.org/0000-0003-2915-3011>

e-mail: mariia-soroka@ukr.net

**Kadet Nataliia Pavlivna**

Senior lecturer of National Aviation University, Kyiv

<https://orcid.org/0000-0003-2954-6325>

e-mail: kadet-nata@ukr.net

**Fregan Nataliia Mykolaevna**

Senior lecturer of the department of National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv

e-mail: natkiev@ukr.net

**Kotsiuruba Volodymyr**

Doctor of Technical Sciences, Senior Research

Department of Operative and Combat Support

Ivan Chernyakhovsky National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6565-9576>

e-mail: kotcuru@ukr.net

Стаття надійшла до редколегії 24.07.2019 р.

**Рецензент М. І. Луханін**, д-р техн. наук, професор  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

<https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>

**Рецензент О. О. Расстригін**, д-р техн. наук, професор  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

<https://orcid.org/0000-0002-1482-6111>