

МЕТОД ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ МОДИФІКОВАНОГО МЕТОДУ TOPSIS

У статті виділені специфічні особливості задач вибору раціонального складу складної системи, зокрема системи інформаційної безпеки, що дозволяють ідентифікувати їх як завдання багатокритеріального аналізу і прийняття рішень в нечіткому середовищі. Запропоновано узагальнену концептуальну модель прийняття рішень в задачах вибору альтернативних варіантів складу системи, а також модифікацію методу TOPSIS. Ця модифікація полягає в інтегруванні до алгоритму прийняття рішень додаткової компоненти, яка забезпечує розрахунок на основі методу аналізу ієрархій коефіцієнтів компетенції експертів, а також зведення ієрархічної структури критеріїв вибору, що характеризує альтернативи, до одноступінчастої ієрархії

Ключові слова: управління, складна система, прийняття рішень, нечітке середовище, інтелектуальні технології, багатокритеріальна оптимізація

Вступ

В умовах ведення гібридної війни Російської Федерації проти України виникають особливості функціонування складних систем військового призначення (ССВП), які не притаманні завданням мирного часу та традиційним формам і способам збройної боротьби, особливо на етапах підготовки та початку війни, коли реальні наміри і дії противника приховуються або проводяться демонстративно під виглядом інших заходів.

Особливості умов застосування воєнної сили у гібридній війні, високій динамізм змін обстановки вимагає від ССВП відповідної адаптації, проведення необхідних системних заходів стосовно удосконалення функціоналу, взаємодії та структури для ефективного управління підпорядкованими силами і засобами в умовах збройної агресії.

Зазначене вище обумовлює актуальність наукових досліджень стосовно вирішення завдання обґрунтування раціонального складу та структури органів військового управління шляхом розробки та впровадження сучасних підходів для прийняття відповідних рішень.

Постановка проблеми. Проведений аналіз [1; 2; 5-8] свідчить, саме за таких умов функціонування ССВП застосування методів та алгоритмів багатокритеріального оцінювання дає змогу отримувати кращі результати на відміну від інших підходів. При цьому основним об'єктом дослідження є альтернативні варіанти структури органів військового управління.

Зменшення рівня невизначеності при обґрунтуванні раціональної структури органів військового управління досягається шляхом комплексного застосування процедур синтезу та аналізу, генерування одночасно кількох

альтернативних варіантів комплекту, а також розробки механізмів їх коригування.

На теперішній час загальний підхід до обґрунтування структури ССВП здійснюється з недотриманням базових принципів системного підходу: не виконується принцип багатоальтернативності прийняття управлінських рішень (відповідні органи обмежуються розробкою тільки одного варіанта комплекту), формування управлінських рішень не базується на результатах оцінювання та аналізу ефективності функціонування системи, в якій зазначений ССВП є підсистемою нижчого рівня, в механізмі реалізації запропонованих рішень відсутні процедури їх корекції.

Питанням дослідження складних систем приділяється достатньо уваги [1-6], при цьому найбільш системно результати викладені у [7], де визначено, що специфічними особливостями завдання визначення раціонального складу складної системи військового призначення є:

неповнота й невизначеність вихідної інформації при функціонуванні системи в різних умовах обстановки;

багатокритеріальність завдання, що пов'язано з необхідністю врахування великої кількості часткових показників;

наявність кількісних і якісних показників, які необхідно враховувати;

неможливість застосування класичних методів оптимізації.

Враховуючи викладене, пошук шляхів визначення комплекту ССВП є актуальним науковим і практичним завданням.

Метою статті є викладення методу ранжирування альтернатив складу системи на основі оцінок експертів з урахуванням їх компетентності та подальшого вибору раціонального варіанта складу системи.

Викладення основного матеріалу

Нехай відомі такі компоненти складної системи :

1. $X = x_i, i = \overline{1, n}$ – множина альтернатив складу системи;
2. $K = \{K_j, j = \overline{1, m}\}$ – множина загальних критеріїв ефективності системи;
3. $K_j = \{K_{jt}, t = \overline{1, s_j}\}$ – множина часткових критеріїв;
4. $E = \{e_l, l = \overline{1, g}\}$ – множина експертів;
5. $w_j, j = \overline{1, m}$ – коефіцієнти відносної важливості критеріїв ($K = \{K_j, j = \overline{1, m}\}$);
6. $w_{jt}, t = \overline{1, s_j}, j = \overline{1, m}$ – коефіцієнти відносної важливості часткових критеріїв ($K_j = \{K_{jt}, t = \overline{1, s_j}\}$);
7. $v_l, l = \overline{1, g}$ – коефіцієнти компетентності експертів.

Вирішення завдання припускає виконання такої послідовності дій.

Крок 1. Для здійснення багатокритеріальної оптимізації завдань ІБ на базі методу TOPSIS необхідно насамперед позбутися від ієрархічної структурованості критеріїв (рис. 1). З цією метою на основі методу аналізу ієрархій (МАІ) Сааті за допомогою коефіцієнтів відносної важливості критеріїв і часткових критеріїв визначаються ваги [9,10], з якими останні ввійдуть у розрахунок інтегрального критерію К. У формалізованому вигляді

добуток w_j , де $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ та w_{jt} , де $\sum_{t=1}^{s_j} w_{jt} = 1$ визначається w_{jt} – вага часткового критерію w_{jt}^K в розрахунку інтегрального критерію $K = \{k_j, j = \overline{1, m}\}$, тобто $w_{jt}^K = w_{jt} \cdot w_j$.

В результаті двоступінчаста ієрархічна структура критеріїв вибору К, що характеризує альтернативи, зводиться до одноступінчастої ієрархії (рис. 2).

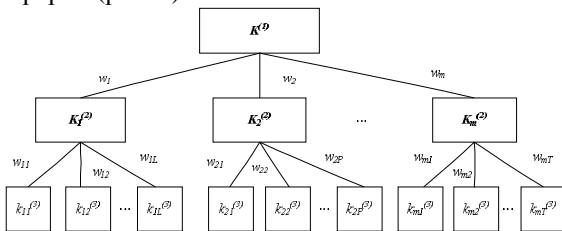


Рис. 1. Ієрархічна структурованість критеріїв вибору, що характеризують альтернативи

У подальших кроках для спрощення індексів усі часткові критерії об'єднуються в єдиній множині G.

$$G = \{k_{jt}, j = \overline{1, m}, t = \overline{1, s_j}\} = \{k_z, z = \overline{1, Z}\}, z = s_{j-1} + t, j = \overline{1, m}, t = \overline{1, s_j}, s_0 = 0,$$

де Z – загальне число часткових критеріїв, що характеризують альтернативи, тобто $Z = \sum_{j=1}^m s_j$.

У такому випадку. $w_z = w_{jt}$.

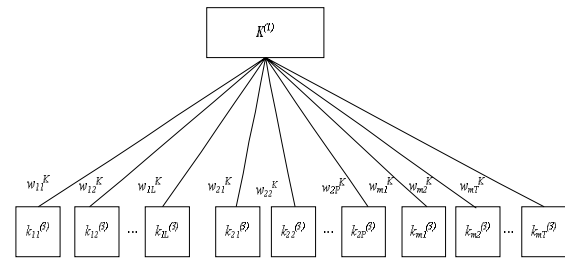


Рис. 2. Зведення критерію К до одноступінчастої ієрархії

Крок 2. Ступені належності (відповідності) альтернатив частковим критеріям оцінюються лінгвістичними значеннями (рис.3) і виражаються нечіткими трапецієподібними числами $R^l = (r_{iz}^l) = (a_{iz}^l, b_{iz}^l, c_{iz}^l, d_{iz}^l)$. Так, наприклад, якщо ступінь задоволення (належності) альтернативи x_i частковому критерію k_z експертом оцінена значенням “добре”, то це виражається як $r_{iz}^l = (7,8,8,9)$, а якщо експертом дана оцінка “дуже добре”, то $r_{iz}^l = (8,9,10,10)$ і т.ін. У результаті експертної оцінки ступенів належності альтернатив частковим критеріям отримуємо матрицю:

$$R^l = [r_{iz}^l], l = \overline{1, g} \leftrightarrow \{a_{iz}^l, b_{iz}^l, c_{iz}^l, d_{iz}^l\}, l = \overline{1, g}$$

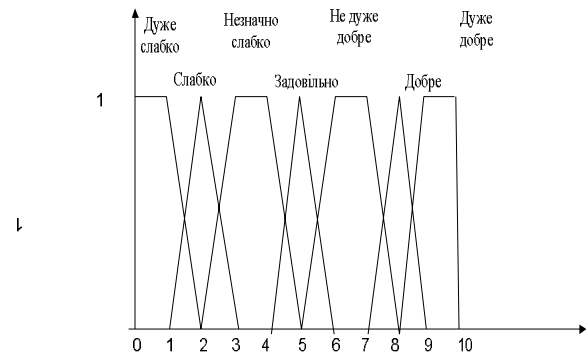


Рис.3. Ступені належності (відповідності) альтернатив частковим критеріям

Крок 3. Цей крок припускає попередній розрахунок коефіцієнтів компетентності експертів $v_l, l = \overline{1, g}$. З цією метою авторами застосована модифікація методу, що полягає в інтегруванні до алгоритму додаткового кроку, який припускає розрахунок коефіцієнтів компетентності експертів, що беруть участь у процедурі оцінювання альтернатив.

З урахуванням коефіцієнтів компетентності експертів $v_l, l = \overline{1, g}$ формується матриця

$$R^l = [r_{iz}^l], l = \overline{1, g} \leftrightarrow \{a_{iz}^{v_l}, b_{iz}^{v_l}, c_{iz}^{v_l}, d_{iz}^{v_l}\}, l = \overline{1, g}$$

Елементами цієї матриці є трапецієподібні числа, які виражають ступінь задоволення альтернативи x_i частковим критеріям k_z : з урахуванням компетентності експертів і розраховуються в такий спосіб:

$$a_{iz}^{v_l} = a_{iz}^l \cdot v_l; \quad b_{iz}^{v_l} = b_{iz}^l \cdot v_l; \quad c_{iz}^{v_l} = c_{iz}^l \cdot v_l; \quad d_{iz}^{v_l} = d_{iz}^l \cdot v_l. \quad (3)$$

Крок 4. Визначається єдина – агрегована матриця:

$$R^l = [r_{iz}^l], l = \overline{1, g} \leftrightarrow \{a_{iz}^{v_l}, b_{iz}^{v_l}, c_{iz}^{v_l}, d_{iz}^{v_l}\},$$

$$l = \overline{1, g} \rightarrow R = [r_{iz}] \leftrightarrow \{a_{iz}, b_{iz}, c_{iz}, d_{iz}\}.$$

Елементи цієї матриці визначаються в такий спосіб:

$$a_{iz} = \{\min a_{iz}^{v_l}; l = \overline{1, g}\};$$

$$b_{iz} = \frac{1}{g} \sum_{l=1}^g b_{iz}^{v_l};$$

$$c_{iz} = \frac{1}{g} \sum_{l=1}^g c_{iz}^{v_l};$$

$$d_{iz} = \{\max d_{iz}^{v_l}; l = \overline{1, g}\}; \quad (4)$$

Елементи матриці множаться на ваги часткових критеріїв. У результаті цієї операції отримується зважена нечітка матриця:

$$a_{iz}^w = a_{iz} \cdot w_z; \quad b_{iz}^w = b_{iz} \cdot w_z; \quad c_{iz}^w = c_{iz} \cdot w_z; \quad d_{iz}^w = d_{iz} \cdot w_z. \quad (5)$$

Крок 6. Матриця (5) нормалізується. Для цього застосовується метод Hsu і Sehn [11], на основі якого визначаються $d_z^+ = \max d_{iz}^w, i = \overline{1, n}$. Далі на основі виразу

$$R_z^N = [r_{iz}^N] \leftrightarrow \{a_{iz}^N, b_{iz}^N, c_{iz}^N, d_{iz}^N\} \leftrightarrow \left\{ \frac{a_{iz}^w}{d_z^+}, \frac{b_{iz}^w}{d_z^+}, \frac{c_{iz}^w}{d_z^+} \right\},$$

визначаються елементи нормалізованої матриці прийняття рішень.

Крок 7. На основі зважених значень визначається ідеальне позитивне (найкраще) рішення (ІПР) X^+ . З цією метою для кожного $k_z, (z = \overline{1, z})$ відбираються

$$d_z^+ = \{\max d_{iz}^N; i = \overline{1, n}\} \quad (7)$$

формується матриця

$$X^+ = [d_z^+] = [(d_1^+, d_1^+, d_1^+, d_1^+), \dots, (d_z^+, d_z^+, d_z^+, d_z^+)] \quad (8)$$

Відповідно до виразу (6) $d_z^+ = 1$ для $\forall z$ тобто всі елементи матриці X^+ дорівнюють одиниці.

Крок 8. Обчислюється ідеальне негативне (найгірше) рішення (ІНР) X^- . З цією метою для кожного $k_z z = \overline{1, z}$ відбираються

$$a_{iz}^- = \{\min a_{iz}^N; i = \overline{1, n}\} \quad (9)$$

і формується наступна матриця:

$$X^- = [a_z^-] = [(a_1^-, a_1^-, a_1^-, a_1^-), \dots, (a_z^-, a_z^-, a_z^-, a_z^-)] \quad (10)$$

Крок 9. З використанням формули (2) за індивідуальним значенням кожного часткового критерію розраховується відстань альтернатив до ІПР:

$$D_z^+(x_i, X^+) = \sqrt{\frac{\frac{1}{4}((a_{iz}^N - d_z^+)^2 + (b_{iz}^N - d_z^+)^2 + (c_{iz}^N - d_z^+)^2 + (d_{iz}^N - d_z^+)^2)}{(d_{iz}^N - d_z^+)^2}} \quad (11)$$

На основі отриманих результатів формується вектор $[D^+] = [D_1^+, \dots, D_z^+]$

Крок 10. За індивідуальним значенням кожного часткового критерію розраховується відстань альтернатив до ІНР:

$$D_z^-(x_i, X^-) = \sqrt{\frac{\frac{1}{4}((a_{iz}^N - a_z^-)^2 + (b_{iz}^N - a_z^-)^2 + (c_{iz}^N - a_z^-)^2 + (d_{iz}^N - a_z^-)^2)}{(d_{iz}^N - a_z^-)^2}} \quad (12)$$

На основі отриманих результатів формується вектор $[D^-] = [D_1^-, \dots, D_z^-]$

Крок 11. Визначається відстань кожної з альтернатив до ІПР:

$$D^+(x_i) = \sqrt{\sum_{z=1}^z (D_z^+(x_i, X^+))^2}. \quad (13)$$

Крок 12. Визначається відстань кожної з альтернатив до ІНР:

$$D^-(x_i) = \sqrt{\sum_{z=1}^z (D_z^-(x_i, X^-))^2}. \quad (14)$$

Крок 13. Розраховується інтегральний показник (коефіцієнт близькості) для кожної порівнюваної альтернативи як відношення обчисленого для неї відстані від ідеально найгіршого рішення до суми відстаней до найкращого й найгіршого рішень:

$$D(x_i) = D^+(x_i) + D^-(x_i)$$

$$\varphi(x_i) = \frac{D^-(x_i)}{D(x_i)}$$

У відповідності до значення коефіцієнта близькості $\varphi(x_i)$ є можливість ранжирування альтернатив. Так, чим ближче до одиниці значення коефіцієнта близькості $\varphi(x_i)$, тим переважніше порівнювана альтернатива. Найбільше значення інтегрального показника $\varphi(x_i)$ визначає найкращу альтернативу, тобто оптимальне рішення. Найменше значення $\varphi(x_i)$ відповідає найгіршій альтернативі.

Висновки

Запропоновано метод прийняття управлінських рішень щодо визначення структури складної системи з використанням багатокритеріальної оптимізації на базі методу TOPSIS. Використання методу TOPSIS у завданнях прийняття управлінських рішень дозволяє підвищити їх адекватність за рахунок пріоритизації за ступенем близькості до ідеального рішення, забезпечує об'єктивність і транспарентність прийнятих управлінських рішень і надає можливості для розширення сфер застосування методів багатокритеріальної оптимізації. Застосована модифікація методу TOPSIS, що полягає в зведенні двоступінчастої ієрархії показників ефективності функціонування системи до одноступінчастої, а також інтегруванні в алгоритм додаткового кроку, що припускає розрахунок і введення коефіцієнтів компетентності експертів, які беруть участь у процедурі оцінки альтернатив.

Переваги запропонованого підходу до багатокритеріальної оптимізації на базі модифікованого методу TOPSIS для підтримки прийняття рішень зводяться до такого:

- відсутність необхідності в складанні бази нечітких правил;
- математична обґрунтованість і відносна простота розрахунків інтегральних показників, що дозволяють здійснити ранжирування альтернативних рішень, здійснювати подальший аналіз і вибір остаточного варіанта рішення;
- відсутність обмежень на кількість альтернатив і критеріїв, що характеризують об'єкт дослідження;
- урахування в алгоритмі прийняття рішень компетентності експертів, що беруть участь у процедурі прийняття рішень;
- урахування ієрархічної структурованості критеріїв, що описують альтернативи;
- можливість пріоритизації альтернатив за ступенем їх близькості до ідеального рішення.

Литература

1. Романченко, І. С. Використання таксономічних методів при проведенні досліджень у війсьній справі [Текст] / І. С. Романченко, О. М. Загорка // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2007. – № 3 (41). – С. 5–16.
2. Загорка, О. М. Елементи дослідження складних систем військового призначення [Текст] / О. М. Загорка, С. П. Мосов, А. І. Сбитнев, П. І. Стужук. – К.: НАОУ, 2005. – 100 с.
3. Корнеєнко, В. П. Методи оптимізації: учебник [Текст] / В. П. Корнеєнко. – М.: Высш. шк., 2007. – 664 с.
4. Ahmadi, H. Ranking the micro level critical factors of electronic medical records adoption using TOPSIS method [Text] / H. Ahmadi, M. S. Rad, M. Nilashi, O. Ibrahim, A. Almaee // Health Informatics – An International Journal. – 2013. – Vol. 2. – № 4, November. – P. 19–32.
5. Saelee, S. Biomass type selection for boilers using TOPSIS multi-criteria model [Text] / S. Saelee, B. Paweewan, R. Tongpool, T. Witoon, J. Takada, K. Manusboonpurmpool // International Journal of Environmental Science and Development. – 2014, April. – Vol. 5. – № 2. – P. 181–186.
6. Baležentis, A. Multimoora-FG: a multi-objective decision making method for linguistic reasoning with an application to personnel selection [Text] / A. Baležentis, T. Baležentis, W. K. M. Brauers // Informatica. – 2012. – Vol. 23. – № 2. – P. 173–190.
7. Потьомкін, М. М. Методика визначення раціонального складу складної системи військового призначення на основі модифікованого методу ELECTRE [Текст] / М. М. Потьомкін // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2008. – № 3 (45). – С. 62–68.
8. Косєвцов В. О., Телелим В. М., Лобанов А. А. До питання оцінювання ефективності функціонування системи забезпечення військової безпеки держави // Наука і оборона. – 2010. – № 3. – С. 8–12.
9. Косоєв О. М. Методичний підхід до розрахунку показників ефективності функціонування системи інформаційної безпеки Головного управління розвідки Міністерства оборони України / О. М. Косоєв, А. О. Сірик, Д. В. Косаренко // Зб. наук. праць. – К.: – НДІ ГУР МО України, 2015. – Вип. 41. – С. 51–60.
10. Романченко І. С. Метод TOPSIS-ядро та його використання для багатокритеріального порівняння альтернатив / І. С. Романченко, М. М. Потьомкін // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 1 (138). – С. 103 – 106.
11. Hsu, H. M. Fuzzy credibility relation method for multiple criteria decision-making problems [Text] / H. M. Hsu, C. T. Chen // Information Sciences. – 1997. – Vol. 96, Issue 1–2. – P. 79–91. doi: 10.1016/s0020-0255(96)00153-

МЕТОД ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА TOPSIS

Александр Николаевич Косогов
Воинская часть А1906, Киев, Украина

В статье выделены специфические особенности задач выбора рационального состава сложной системы, в частности системы информационной безопасности, позволяющие идентифицировать их как задачи многокритериального анализа и принятия решений в нечеткой среде. Предложена обобщенная концептуальная модель принятия решений в задачах выбора альтернативных вариантов состава системы, а также модификацию метода TOPSIS. Эта модификация заключается в интегрировании с алгоритмом принятия решений дополнительной компоненты, которая обеспечивает расчет на основе метода анализа иерархий коэффициентов компетенции экспертов, а также сведения иерархической структуры критериев выбора, характеризующий альтернативы, к одноступенчатой иерархии

Ключевые слова: управление, сложная система, принятия решений, нечеткая среда, интеллектуальные технологии, многокритериальная оптимизация.

METHOD OF SELECTING THE RATIONAL COMPOSITION OF COMPLEX SYSTEMS ON THE BASIS OF THE MODIFIED METHOD OF TOPSIS

Oleksandr M. Kosogov

Military unit A1906, Kyiv, Ukraine

The article highlights specific features of the problems of choosing the rational composition of a complex system, in particular, the information security system, which makes it possible to identify them as tasks of multi-criteria analysis and decision-making in a fuzzy environment. A generalized conceptual model of decision making is proposed in the problems of selecting alternative variants of the system composition, as well as modification of the TOPSIS method. This modification consists in integrating with the decision algorithm of an additional component that provides calculation based on the method of analyzing hierarchies of expert competence coefficients, as well as information on the hierarchical structure of selection criteria that characterizes alternatives to a single-stage hierarchy

Keywords: management, complex system, decision-making, fuzzy environment, intelligent technologies, multi-criteria optimization

References

- Romanchenko, I. S.** Використання таксономічних метоів при проведенні досліджень у війсьній справі [Text] / I. S. Romanchenko, M. Zagorka // Zb. sciences. pr. ЦНДІ ЗС України. - К., 2007. - No. 3 (41). - P. 5-16.
- Zagorka, O.M.** Elements of the attachment of the folding systems of the Visek confession. [Text] / OM Zagorka, SP Mosov, A.I. Sbitnev, P.I. Stuzuk. - K.: NAUU, 2005. - 100 with.
- Korneenko, V.P.** Methods of optimization: textbook [Text] / VP Korneenko. - M.: Higher education. shk., 2007. - 664 p.
- Ahmadi, H.** Rading, M. Nilashi, O. Ibrahim, A. Almaee // Health Informatics - An International Journal. - 2013. - Vol. 2. - No. 4, November. - R. 19-32.
- Saelee, S.** Biomass type selection for boilers using the TOPSIS multi-criteria model [S.T.] / S. Saelee, B. Paweevan, R. Tongpool, T. Witoon, J. Takada, K. Manusboonpurmpool // International Journal of Environmental Science and Development. - 2014, April. - Vol. 5. - No. 2. - P. 181-186.
- Baležentis, A.** Multimoora-FG: a multi-objective decision making method for linguistic reasoning with an application for personnel selection [Text] / A. Baležentis, T. Baležentis, W. K. M. Brauers // Informatica. - 2012. - Vol. 23. - No. 2. - P. 173-190.
- Potjomkin, M.M.** Technique of the designation of a rational warehouse for the folding systems of the Visek confession on the basis of the modified ELECTRE method [Text] / M.M. Potjomkin // Zb. sciences. pr. ЦНДІ ЗС України. - К., 2008. - No. 3 (45). - P. 62-68.
- Koshetsov V.O.,** Telelim V.M., Lobanov A.A. Prior to the pittance otsinyuvannya efektyvnosti functitsovanuvannya sistemi zabezpechennia voynoi bezpeki power, // Science and Defense. - 2010. - No. 3. - P. 8-12.
- Kosogov O.M.** Methodical pidhid before rozravnku pokaznikiv efektyvnosti functiionuvannya sistemi informatsiynoi bezpeki Holovnoho upravlinnia rozvidki Ministry of Defense of Ukraine / O.M. Kosogov, A.O. Sirik, D.V. Kosarenko // 36. sciences. prac. - K.: - НДІ ГУР МО України, 2015. - Vip. 41. - P. 51-60.
- Romanchenko I.S.** The TOPSIS-core method is that of yoga vicarities for bagatocriterial alternative portfolios / I.S. Romanchenko, M.M. Potomkin // System of information boxes: zbirnik naukovyih prac. - X.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. - Vip. 1 (138). - P. 103 - 106
- Hsu, H. M.** Fuzzy, H. Hsu, C. T. Chen // Information Sciences. - 1997. - Vol. 96, Issue 1-2. - P. 79-91. doi: 10.1016 / s0020-0255 (96) 00153-