

УДК 004.622

Каліновський Дмитро Олександрович

<https://orcid.org/0000-0003-3184-6458>

Самокіш Артем Валерійович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0003-1924-9351>

Шаповалов Олександр Васильович (кандидат технічних наук)

<https://orcid.org/0000-0002-9744-9431>

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ПОВІТРЯНОЇ ОБСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛОГІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ НА ОСНОВІ ДРАСТИЧНОЇ СУМИ

Оцінка повітряної обстановки відображає склад, стан і характер дій повітряних суден і засобів інфраструктури в заданому районі. Результати оцінки обстановки, яка складається в районі відповідальності залежить від автоматизованої системи управління та оператора який її використовує для прийняття низки рішень: аналізу повітряної обстановки; визначення типу ситуації яка склалася та варіанти її розвитку. Враховуючи необхідність приймати рішення на основі інформаційної моделі яка використовується, виникає необхідність, звернути увагу на ряд факторів нестохастичної природи, які виникають через нечіткість мети бойових дій та різноманітність варіантів застосування засобів повітряного нападу. Крім того, слід виділити різні категорії та способи подання інформації яка використовується. Враховуючи вищесказане сформовано ієрархічну нечітку продукційну модель з використанням алгоритму Сугено та драстичної суми на етапі агрегування. Запропонована модель дозволяє формалізувати процес оцінки повітряної обстановки, що характеризується перш за все неповнотою інформації в умовах невизначеності, враховуючи вихідні дані прогнозування. які характеризуються невизначеністю та неповнотою інформації.

Ключові слова: модель, продукційна модель, оцінка обстановки, формалізація, логічне виведення.

Вступ

На теперішній час велика частина управлінських рішень залишається частково неформалізованою. Це спричинено недосконалістю апарату формалізації [1, 2], який не призначений для опису і врахування усіх особливостей процесу управління. Вирішення зазначеної задачі оцінки обстановки може бути досягнуто, за рахунок врахування сукупності емпіричних знань людини, що отримані на основі різноманітної інформації, власного досвіду, та її інтелектуальних можливостей.

Розробка і використання методів формалізації знань, які враховують особливості повітряних операцій а саме: високу динамічність бойових дій та значну невизначеність умов як бойової так і повітряної обстановки, приводить до значного ускладнення своєчасного і обґрунтованого прийняття управлінського рішення. Додатковим обмеженням, що над територією, над якою, ведуться бойові дії закривають повітряний простір. Зокрема в даний час повітряний простір над Україною закритий і кожен літак або засіб повітряного нападу (ЗПН), який виявлено під час вильоту або пуску розцінюється, як ціль, яка повинна бути знищена.

Аналіз ведення війни росії з Україною свідчить про широке використання:

безпілотні літальні апарати (Shahid-136, Mohager-6);

ракети класу “Поверхня-Поверхня” (“Калібр”, “Іскандер-М”);

ракети класу “Повітря-Поверхня” (Х-101, Х-47 “Кінджал”);

стратегічна та тактична авіація (Ту-160, Ту-95МС, Ту-22М3, Су-34, Су-35С, Су-30СМ, Су-25). Перераховані ЗПН можна класифікувати відповідно до:

способу польоту (балістичні, аеродинамічні);

способом управління (пілотовані, безпілотні);

місця базування (повітряного, морського та наземного);

цільового призначення (розвідувальні, ударні, РЕБ, багатоцільові);

рівня розв’язуваних задач (тактичні, стратегічні).

Враховуючи дану класифікацію необхідність приймати рішення, вносить ряд факторів нестохастичної природи, які виникають через нечіткість мети бойових дій та різноманітність варіантів застосування ЗПН, а саме:

множину маршрутів польоту;

множину цілей, які визначені для ураження;

множину типів авіаційного озброєння;

множину напрямків удару та інші.

Метою статті є розробка структури ієрархічної нечіткої продукційної моделі з використанням логічного виведення на основі драстичної суми.

Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи системного аналізу та синтезу.

Результати

Використовуючи систему нечіткого виведення сформуємо послідовність логічного виведення для вирішення задачі оцінки обстановки для розподілу засобів ППО, які протиставляються засобам повітряного нападу (ЗПН).

Знання, які використовуються в процесі прийняття рішення формалізовано у вигляді системи нечітких логічних висловлювань, та описано за допомогою відношень множини лінгвістичних нечітких змінних:

$$\langle \beta, T, X, M \rangle,$$

де β – ім'я змінної (наприклад, “швидкість ЗПН”);

T – базова множина значень її термів – значень, кожне з яких надається за допомогою нечіткої множини (наприклад, “низька”, “середня”, “висока”);

X – носій можливих конкретних значень змінної для всіх термів (наприклад, км/год);

M – семантична процедура надання терму певної нечіткої змінної вигляду $\langle X, \mu_i(X) \rangle$, $\mu_i(X)$ – функція належності i -того терму з множини T .

Для побудови нечітких продукційних моделей з використанням лінгвістичних змінних в системах нечіткого виведення найбільш часто застосовуються наступні алгоритми Мамдані (Mamdani), Сугено (Sugeno), Цукамото (Tsukamoto), Ларсена (Larsen) [3].

Для побудови нечіткої продукційної моделі, використано алгоритм Sugeno в якому вхідним змінним відповідає конкретне значення вихідної змінної.

Етапи розробки і застосування продукційної нечіткої моделі зображено на рисунку 1.

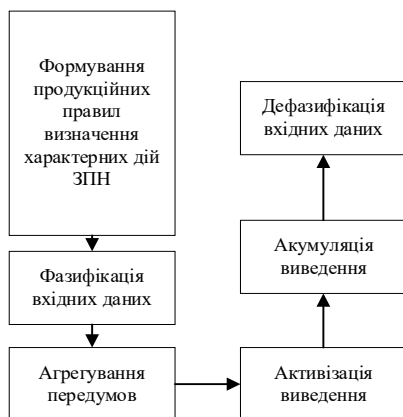


Рисунок 1. Етапи розробки продукційної нечіткої моделі

Побудова нечіткої (ієрархічної) продукційної моделі визначена наступними її компонентами:

1. Вибір способу (схеми) нечіткого виведення заключень. В нечітких продукційних моделях використовуються в основному два способи нечіткого виведення висновків: прямий і зворотний [1].

Прямий спосіб нечіткого виведення, або прямий нечіткий ланцюг міркувань (fuzzy forwardchaining reasoning) ґрунтується на правилі виведення “нечіткий модус поненс” (fuzzy modus ponens), узагальнена схема якого містить такі етапи .

Етап 1. Задання нечіткої імплікації $R: A \rightarrow B$, що визначає нечітке причинно-наслідкове відношення між перед посиленням A та висновком B , яке представляється у вигляді нечіткої імплікації:

$$\text{if } x \in A, \text{ then } y \in B, \quad (1)$$

де x – вхідна змінна, $x \in X$, X – область визначення посилення нечіткого продукційного правила; A – нечітка множина, що визначена на X з функцією належності $\mu_A(x) \in [0,1]$;

y – вихідна змінна, $y \in Y$, Y – область визначення виведення; B – нечітка множина, визначена на Y , з функцією належності $\mu_B(y) \in [0,1]$.

Операція нечіткої імплікації займає центральне (фокусне) місце в нечітких продукційних моделях, визначаючи причинно-наслідкове відношення між посиленнями та виведенням правил.

Етап 2. Задання нечіткого умови (факту):

$$x' \in A', \quad (2)$$

де x' – фактичне значення змінної x ; A' – нечітка множина, що відображає значення x' , визначене на X , з функцією приналежності $\mu_{A'}(x) \in [0,1]$.

Етап 3. Формування виведення:

$$y' \in B', \quad (3)$$

де y' – отримане значення змінної Y ;

B' – нечітка множина, що відображає значення y' , визначене на Y , з функцією приналежності $\mu_{B'}(y) \in [0,1]$.

Зворотний спосіб нечіткого виведення, або зворотний нечіткий ланцюжок міркувань (fuzzy backward-chaining reasoning), ґрунтується на використанні правила виведення нечіткий модус толленс (fuzzy modus tollens).

Етап 1. Задання нечіткої імплікації

$$R: AB \quad (4)$$

є визначальним, як і в разі прямого способу виведення, нечітке причинно-наслідкове відношення між причиною і висновком, який представляється у вигляді нечіткої продукції.

Етап 2. Задання нечіткого умови

$$y' \in B'. \quad (5)$$

Етап 3. Формування виведення

$$x' \in A'. \quad (6)$$

Цілі способу зворотного нечіткого висновку є встановлення істинності передумови нечіткої продукції:

$$\mu R(x, y) = \min \{ \mu A(x), \mu B(y) \}. \quad (7)$$

Розглянувши характеристики схем нечіткого виводу для формування висновків

використовується прямий спосіб нечіткого виводу та зв'язка "AND" між функціями приналежності передумов правил.

2. Побудова бази нечітких продукційних правил.

Кожне правило БЗ записується у вигляді "IF ..., then ...": частина "IF" відповідає умові, а частина "then" - висновок. Таким чином, ОПР, розбиває об'єкт на продукційні групи. Подібне розбиття найбільш відповідає об'єкту та процесам, що в ньому протікають.

Так, кожному вхідному значенню представлено лінгвістичну змінну з характерними термами. Це означає, що можна сформулювати БЗ про вплив незалежних координат $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ на значення залежної координати y в вигляді сукупності логічних висловлювань типу:

if $(x_1 = a_{1j1}) \text{ and } (x_2 = a_{2j1}) \text{ and } \dots \text{ and } (x_n = a_{nj1})(F_1)$
or $(x_1 = a_{1j2}) \text{ and } (x_2 = a_{2j2}) \text{ and } \dots \text{ and } (x_n = a_{nj2})(F_2)$
or $(x_1 = a_{1jk}) \text{ and } (x_2 = a_{2jk}) \text{ and } \dots \text{ and } (x_n = a_{njk})(F_3)$,
then $y = d_j, j \in [1, m]$

де F_i – вагові коефіцієнти відповідних правил.

Ці коефіцієнти можуть приймати значення з інтервалу $[0, 1]$. У разі, якщо ці вагові коефіцієнти відсутні, зручно прийняти, що їх значення дорівнює 1.

a_{nj1} – терм, яким оцінюється змінна x_i в строчці з номером jk ;

jk - кількість строк - кон'юнкцій, у котрих вихід оцінюється термом d_j ;

m – кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки вихідного параметру y .

При виборі числа правил необхідно враховувати наступні рекомендації:

число правил збільшується при ущільненні сітки, використовуваної для розбиття простору X входів моделі;

Щільність використовуваної для розбиття сітки слід збільшувати в разі більш рельєфної поверхні відображення X у моделі;

При незмінній щільності сітки (незмінному числі правил) точність моделі може бути підвищена шляхом правильного розміщення опорних точок її поверхні, що задаються правилами. [4].

3. Процедура введення нечіткості (fuzzification).

Для побудови функції приналежності будемо використовувати трапецеподібну форму, рис. 2.

Де перший інтервал ad – описує допустимі значення і визначається шляхом обрання граничних значень показника, наприклад по даним стандартів, керівних документів або за допомогою експертів. За межами інтервалу допустимих значень, показник можемо вважати рівним нулю.

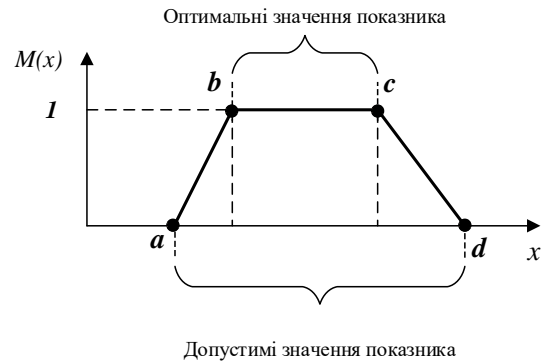


Рисунок 2. Інтервали показників трапецеподібної функції приналежності

Другий інтервал bc – інтервал оптимальних значень. В цьому інтервалі значення оцінки показника найвища. Другий інтервал обирається таким же способом як і перший, проте в цьому випадку значення, які в нього входять максимально описують область значення, є оптимальними або досягнуті за допомогою консенсусу при оцінці експертів. Аналітично можемо записати (8):

$$M(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b < x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x < a, x > d. \end{cases} \quad (8)$$

При побудові нечіткої ієрархічної продукційної моделі процедури фазифікації (fuzzification) та дефазифікації (defuzzification) для проміжних змінних не проводяться, оскільки результат логічного виводу в вигляді нечіткої множини напряму передається по ієрархії на наступний рівень нечіткого логічного виводу. Фазифікація вважається виконаною, якщо знайдено ступеня істинності $\mu A(x)$ всіх елементарних логічних висловлювань виду $\beta \in a'$, що входять в антецеденти нечітких продукційних правил, де a' - деякий терм з відомою функцією приналежності $\mu A(x)$, a - чітке чисельне значення, що належить універсуму лінгвістичної змінної β .

4. Процедура агрегування (agregation) ступеню істинності пре посилок по кожному з нечітких продукційних правил. Розглянуті етапи нечіткого виведення можуть бути реалізовані таким чином: для визначення результату нечіткої кон'юнкції або зв'язки "and"; для визначення результату нечіткої диз'юнкції або зв'язки "or". В нашому випадку використано драстичну суму (2)

$$\mu(A \cup B) = \begin{cases} \mu(B), & \text{if } \mu(A) = 0 \\ \mu(A), & \text{if } \mu(B) = 0 \\ 1, & \text{in other cases} \end{cases}, \quad (9)$$

де $\mu(A), \mu(B)$ – функції належності нечітких

висловлювань А та В відповідно. Ті правила, ступінь істинності умов яких відмінна від нуля, вважають активними й використовуємо для подальших розрахунків. Етап агрегування вважається закінченим, коли будуть знайдені всі значення для кожного з правил, що входять в базу правил системи нечіткого виведення.

5. Процедура активізації (activation) заключаєть кожного з нечітких продукційних правил.

В алгоритмі Сугено активізація під заключень правил нечіткої продукції проводиться в два етапи. На першому етапі, ступінь істинності з виведення нечітких продукційних правил, що ставлять у відповідність вихідної змінної дійсні числа, знаходяться, як алгебраїчний добуток вагового коефіцієнта і ступеня істинності антецедента даного нечіткого продукційного правила.

6. Процедура акумулювання (accumulation) активізованих заключень усіх нечітких продукційних правил для кожної вихідної змінної. Результат акумуляції для кожної вихідної лінгвістичної змінної визначається, як об'єднання нечітких множин всіх під заключень нечіткої бази правил щодо відповідної лінгвістичної змінної.

7. Процедура приведення до чіткості (defuzzification) для кожної акумульованої вихідної змінної.

Дефазифікація в алгоритмі Сугено виконана наступним чином. Для кожної лінгвістичної

змінної здійснюється перехід від дискретної множини чітких значень $\{w_1...w_n\}$ до єдиного чіткого значення згідно дискретного аналогу методу центру тяжіння [5]:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}, \quad (10)$$

де n – кількість правил нечіткої продукції, в заключеннях якої фігурує дана лінгвістична змінна. найкращим методом дефазифікації при побудові прикладних нечітких систем є метод центру тяжіння [6].

Для побудови ієрархічної нечіткої продукційної моделі необхідно виконати підбір та специфікацію вхідних та вихідних змінних, що відповідають відповідному способу (схеми) нечіткого виводу. У переважній більшості прикладних задач масмо справу з неточними вихідними даними прогнозування які характеризуються невизначеністю та неповнотою інформації [2, 7-9].

Обговорення

У відповідності до вхідних факторів побудована модель, рис.3.

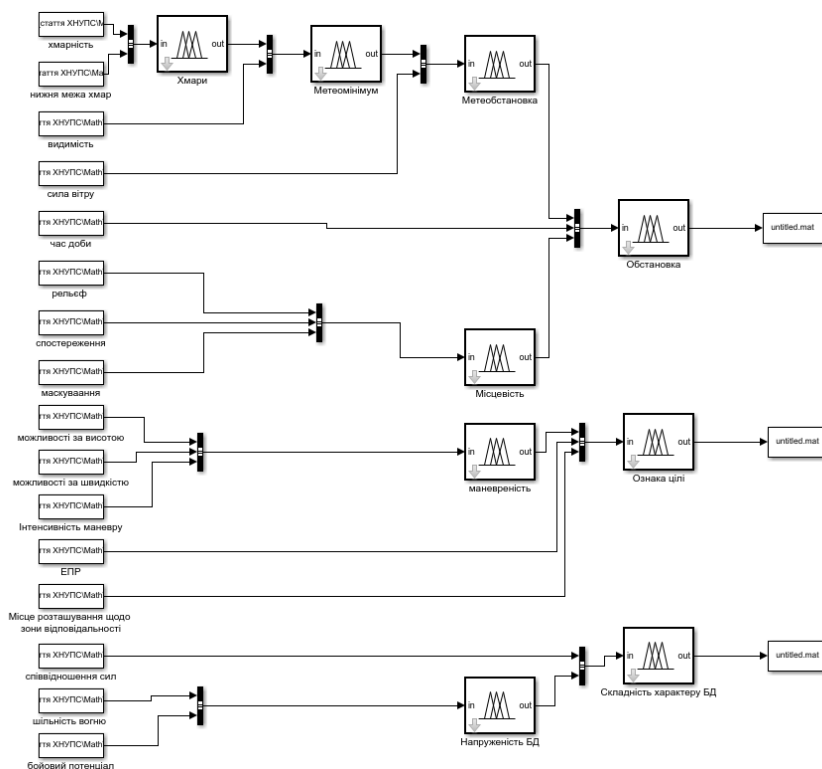


Рисунок 3. Структура ієрархічної нечіткої продукційної моделі (варіант)

Аналізуючи предметну область, фактори, структуру процесу прийняття рішень та

концептуальну модель, процесу оцінки обстановки при прийнятті рішення на розподіл активних

вогневих засобів ви-значено структуру ієрархічного нечіткого логічного виведення, щодо оцінки обстановки. Сформовано вхідні дані, що впливають на оцінку обстановки та вихідні змінні, які необхідні для подальшого процесу прийняття рішення. Специфікація наведена в табл.1.

Таблиця 1

Варіант елементів ієрархічної нечіткої
продукційної моделі

Змінна	Фактори	Змінні	Фактори
x1	Хмарність	x10	Щільність вогню
x2	Нижня границя хмар	x11	Бойовий потенціал
x3	Видимість	x12	Можливості за висотою
x4	Сила вітру	x13	Можливості за швидкістю
x5	Час доби	x14	Інтенсивність маневру
x6	Рельєф	x15	ЕПР
x7	Спостереження	x16	Місце розташування відносно зони відповідальності
x8	Маскування	уп	Проміжні результати
x9	Співвідношення сил	fn	Нечітке логічне виведення

Висновки

У результаті проведених досліджень було побудовано ієрархічну нечітку продукційну модель, яка дозволяє формалізувати процес оцінки повітряної обстановки в умовах невизначеності. Врахувати фактори нестохастичної природи, які виникають через нечіткість мети бойових дій та протидію з боку противника, реалізувати ієрархічний нечіткий логічний вивід при оцінці обстановки.

Запропонований підхід може використовуватись для розробки спеціального програмного забезпечення. Ефективність прийняття рішення за результатами оцінки обстановки можна характеризувати оперативністю та достовірністю.

В подальших дослідженнях пропонується провести дослідження в змінні алгоритму для уточнення розрахунків відносно зміни вхідних факторів та спільного використання різних алгоритмів логічного виведення для оцінки діапазонів значень які співпадають та навпаки відмінні.

Список використаних джерел

1. Дмитрієв О. М. Методи підтримки прийняття рішень при ситуаційному аналізі повітряної обстановки: монографія / О. М. Дмитрієв, І. О. Борозенець, В. С. Мажа-ров, М. Г. Мельничук, М. А. Павленко, О. І. Тимочко, С. Г. Шило, Г. В. Щербак. Кропивницький: ПП "Ексклюзив-Систем", 2021. 271 с.
2. Полонський, Ю. І., Борозенець, І. О., Шило, С. Г., Литвиненко, М. І. (2016). Формалізований опис процесу відбору інформаційних ознак для формування моделі пові-тряної обстановки. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, (2), 115-117.
3. Пегат А. Нечітке моделювання і управління/ Пегат А.; пер. с англ. А. Г. Подвесовского, Ю. В. Тюменцева. – М. : БІНОМ. Лабораторія знань, 2013. – 798 с.
4. Ротштейн А. П. Вплив методів дефазифікації на швидкість настройки нечіткої моделі / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба // Кібернетика і системний аналіз. – 2002. – №5. – С. 169 – 176.
5. Яхьяева Г. Є. Основи теорії нечітких множин / Г. Э. Яхьяева. – М.: ІНТУІТ, 2016. – 187 с.
6. Кононюк А. Е. Дискретно-неперервна математика. Кн.2. Множини. Ч.2. Нечіткі / Кононюк А. Е. – К.: "Освіта України", 2012. – 452 с.
7. Ткаченко В. І. Теорія прийняття рішень органами військового управління: монографія / В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов та ін. // За ред. В.І. Ткаченка, Є.Б. Смірнова. - Х.: ХУПС, 2008. – 265-276 с.
8. Городнов В. П., Дробаха Г. А., Єрмошин М. О., Смірнов Є. Б., Ткаченко В.І. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне за-безпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку). Монографія. – Харків: ХВУ, 2004.
9. Осієвський С.В., Каліновський Д.О. Аналіз методів та моделей прийняття рішення з використанням категорій та способів врахування вхідної інформації. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2022. №2 (54). С. 74-77. URL: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-51-2> (дата звернення 12.12.2022).

MODEL OF AIR SITUATION ASSESSMENT USING LOGICAL OUTPUT ON THE BASIS OF A DRASTIC SUM

Dmitryi Kalinovskiy

<https://orcid.org/0000-0003-3184-6458>

Artem Samokish (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0003-1924-9351>

Shapovalov Oleksandr (candidate of Technical Sciences)

<https://orcid.org/0000-0002-9744-9431>

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

The assessment of the air situation reflects the composition, condition and nature of actions of aircraft and infrastructure facilities in a given area. The results of the assessment of the situation in the area of responsibility depends on the automated control system and the operator who uses it to make a number of decisions: analysis of the air situation; determination of the type of situation that has developed and options for its development. Taking into account the need to make decisions based on the information model used, it is necessary to pay attention to a number of factors of a non-stochastic nature that arise due to the vagueness of the purpose of hostilities and the variety of options for the use of air attack means. In addition, different categories and methods of presenting the information used should be distinguished. Taking into account the above, a hierarchical fuzzy production model was formed using the Sugeno algorithm and a drastic sum at the aggregation stage. The proposed model makes it possible to formalize the process of assessing the air situation, which is characterized primarily by the incompleteness of information in conditions of uncertainty, taking into account the initial forecasting data, which are characterized by uncertainty and incomplete information.

Keywords: model, production model, assessment of the situation, formalization, logical deduction.

References

1. Dmitriev O. M. Decision support methods for situational analysis of the air situation: monograph / O. M. Dmitriev, I. O. Borozenets, V. S. Mazharov, M. G. Melnychuk, M. A. Pavlenko, O. I. Tymochko, S. G. Shilo, G. V. Shcherbak. Kropyvnytskyi: PP "Exclusive-System", 2021. 271 p.
2. Polonsky, Yu. I., Borozenets, I. O., Shilo, S. G., Lytvynenko, M. I. (2016). A formalized description of the process of selecting information features for the formation of an air environment model. Collection of scientific works of Kharkiv Air Force University, (2), 115-117.
3. Pegat A. Fuzzy modeling and management/ Pegat A.; trans. with English A. G. Podvesovskoro, Yu. V. Tyumentseva. – M.: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2013. – 798 p.
4. Rotshtein A.P., Influence of defuzzification methods on the speed of fuzzy model setup / A.P. Rotshtein, S.D. Shtovba // Cybernetics and system analysis. – 2002. – No. 5. – P. 169 – 176.
5. Yaheva G. E. Foundations of the theory of fuzzy sets / G. E. Yaheva. – M.: INTUIT, 2016. – 187 p
6. Kononyuk A. E. Discrete-continuous mathematics. Book 2. Plurals Part 2. Unclear / A. E. Kononyuk – K.: "Education of Ukraine", 2012. – 452 p.
7. Tkachenko V.I. The theory of decision-making by military administration bodies: a monograph / V.I. Tkachenko, E.B. Smirnov et al. // Edited by V.I. Tkachenko, E.B. Smirnova. – X.: HUPS, 2008. – 265-276 p
8. Gorodnov V.P., Drobakha G.A., Yermoshin M.O., Smirnov E.B., Tkachenko V.I. Modeling of combat actions of air defense troops (forces) and information support of their management processes (theory, practice, history of development). Monograph. – Kharkiv: KhVU, 2004.
9. Osievskiy S.V., Kalinovskiy D.O. Analysis of decision-making methods and models using categories and ways of taking into account input information. Information technology and computer engineering. 2022. No. 2 (54). P. 74-77. URL: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-51-2> (accessed 12/12/2022).