

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ПЕРЕХВАТУ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ

У статті пропонується підхід щодо формалізації знань про процес визначення параметрів запланованого перехвату повітряних цілей за допомогою евристичних методів, які є найкращими з точки зору врахування практики, досвіду, інтуїції, знань осіб, що приймають рішення, при наведенні винищувачів на повітряні цілі, та шукають рішення усередині деякого підпростору можливих рішень. Запропонована математична модель дозволяє формалізувати фактори, що враховуються при наведенні винищувачів, у вигляді лінгвістичних і інтервально-оцінюваних параметрів для кожного варіанту, які дозволяють врахувати невизначеність. Вихідними даними методу є рекомендація відносно доцільного методу наведення, півсфери атаки винищувача при наведенні. Прийняття рішень про застосування доцільного методу наведення можливе тільки після аналізу умов ведення бойових дій, тактичного положення винищувача на момент виявлення повітряних цілей з урахуванням динамічних характеристик кожного методу наведення. Виявлено, що автоматизація інформаційної підготовки, формування різноманітних варіантів застосування параметрів запланованого перехвату, можливе за рахунок реалізації відповідної системи підтримки прийняття рішень. Обґрунтовано, що в якості математичної моделі визначення параметрів перехвату доцільна логіко-лінгвістична продукційна ієрархічна модель.

Ключові слова: параметри запланованого перехвату; особа, що приймає рішення; нечітка логічна система; прийняття рішень; знання; формалізація знань; метод наведення

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні загрози українській державності з боку РФ вимагають пошуку адекватної відповіді на щоденні виклики. Це можливо завдяки осмисленню сутності сучасних збройних зіткнень, аналізу, вивченню та узагальненню світового досвіду протистояння воєнній загрозі [1-3]. Система управління бригадою тактичної авіації має особливі властивості, які пов'язані з умовами ведення збройної боротьби у повітрі. Так обстановка, на яку має реагувати система управління, характеризується малими значеннями часу зміни ситуацій. Організаційно-технічну основу управління військами становить система управління. Управління винищувальною авіацією по часу і змісту заходів, що виконуються, розділяється на управління в ході підготовки бойових дій і управління при наведенні винищувачів на повітряні цілі (ПЦ). Найважливішою задачею при призначенні впливів винищувачів по повітряних цілях є визначення параметрів запланованого перехвату (ПЗП).

Повітряні бої характеризуються швидкою зміною бойової обстановки, маневреною, заводною, вогневою протидією повітряних цілей противника при виконанні завдань у всьому діапазоні висот. Процес визначення параметрів запланованого перехоплення - відповідальний та важливий етап при плануванні процесу наведення

винищувачів. Формування, обговорення і прийняття на даному етапі рішень відбувається на професійній мові. Прийняття рішень про застосування доцільного методу наведення можливе тільки після аналізу умов ведення бойових дій, тактичного положення винищувачів на момент виявлення повітряних цілей з урахуванням динамічних характеристик кожного методу наведення.

Так, під методом наведення будемо розуміти диференційні і кінцеві відношення між координатами, лінійними і кутовими швидкостями чи іншими кінематичними параметрами польоту винищувача і цілі, що визначають відносні рухи винищувача в процесі виконання наведення.

Автоматизація інформаційної підготовки, формування різноманітних варіантів застосування параметрів запланованого перехвату, можлива за рахунок реалізації відповідної системи підтримки прийняття рішень. Завдяки включенню методів інженерії знань в теорію управління і прийняття рішень суттєво розширились можливості застосування теорії управління в різноманітних предметних областях людської діяльності.

Розвиток методів представлення знань засновано на використанні моделей, які пристосовані до природної мови особи, яка приймає рішення (ОПР), та моделюють суб'єктивні методи перетворення інформації.

Моделі представлення знань діляться на два типи: логічні та евристичні [2]. Логічні моделі дозволяють представити знання про задачі логіко-аналітичного, розрахункового та пошукового характеру. Однак ряд істотних недоліків (немає строгої процедури підбора аксіом для організації логічного виводу; не завжди є можливість одержання результату рішення; наявність невизначеності вихідної інформації не дозволяє організувати логічний вивід на формалізованих структурах знань) обмежують їхнє застосування для представлення процесу виробки рекомендацій. Евристичні моделі (мережні, фреймові та продукційні) мають більше різноманітний набір засобів, що передають специфічні особливості проблемної області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення ефективності застосування авіації при використанні нових інформаційних технологій є достатньо поширеною науковою проблематикою, яку розглядає ряд вітчизняних та зарубіжних науковців. Найбільше практичне застосування при формалізації процесів прийняття рішень в умовах невизначеності знайшли системи, засновані на нечіткій логіці, продукційних і нейронних моделях знань [3]. Штучні нейронні мережі мають обмеження в можливостях по одержанню пояснень про процес виробки рішень, апарат формалізації є громіздким і модифікувати його важко [4]. Для природного опису логіки поведінки найбільше підходять продукційні моделі знань [1,3]. Основним їхнім недоліком є розростання системи продукцій при описі складних динамічних систем. У процесі пошуку найкращого рішення використовуються якісні елементи: поняття і відносини з нечіткими межами, висловлювання з багатозначною шкалою істинності [5-9]. Побудова моделей прийняття рішень для завдань, що мають нечіткий словесний опис, можлива завдяки введенню понять нечіткої множини та лінгвістичної змінної (ЛЗ) [4-12].

Таким чином, при вдосконаленні існуючого та розробці перспективного спеціального математичного та програмного забезпечення комплексів засобів автоматизації пунктів управління Повітряних Сил тактичного рівня доцільним є застосування когнітивних методів автоматизації процесів визначення параметрів запланованого перехвату винищувачами ПЦ противника, що припускає використання інтелектуальних інформаційних технологій, які засновані на інженерії знань, та дозволяють розширити склад задач, які вирішуються автоматизовано у процесі прийняття рішень [1].

Мета статті. Розробка математичної моделі визначення параметрів запланованого перехвату винищувачами повітряних цілей в умовах невизначеності при неоднорідній і нечіткій вхідній інформації, яка відповідає логіки міркувань офіцерів бойового управління та враховує ієрархічні зв'язки між властивостями параметрів, які визначаються.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для задач, які не піддаються строгої формалізації і мають логіко-аналітичний характер, у тому числі виробці рекомендацій по визначенню параметрів перехвату, використовується нечітка логіка як засіб моделювання невизначеності природної мови [2]. В зв'язку з тим, що вирішення задачі автоматизованої виробки рекомендацій по визначенню параметрів перехвату принципово неможливо без залучення кількісної і якісної інформації, то пропонується введення понять нечіткої множини та лінгвістичної змінної [1,4]. Штучне введення однозначності означає огрубіння вихідних даних і може сприяти одержанню нехай чіткого, але невірному результату, явно суперечному здоровому глузду. У цьому зв'язку використовуємо лінгвістичні моделі для перетворення даних, представлених у лінгвістичній формі спеціальною мовою представлення знань.

Отже, визначимо в якості базової математичної моделі процесу визначення ПЗП в умовах нестохастичної невизначеності при неоднорідній і нечіткій вхідній інформації логіко-лінгвістичну продукційну модель, що відображає динамічні зв'язки між змінними слабоформалізованого процесу [5].

Проаналізуємо існуючі підходи опису процесу прийняття рішень у складних ситуаціях [6]. У класичній теорії елемент структури, що виконує елементарне завдання, не має право приймати рішення. Теорія поведінки виявляє зацікавленість до елементів структури, що мають неформальну організацію. У системно-орієнтованих підходах відсутнє чітке виділення елементів структури.

Для опису процесу негайного прийняття та виконання рішення при неясності щодо наслідків різних альтернативних дій найбільш доцільний ієрархічний підхід, суть якого полягає у визначенні сімейства проблем, їх вирішення послідовним шляхом так, що рішення будь-якої проблеми із цієї послідовності визначає і фіксує параметри в наступній проблемі, так що остання стає повністю визначеною і можна приступитися до її рішення.

Таким чином, в якості математичної моделі визначення параметрів перехвату визначена логіко-лінгвістична продукційна ієрархічна модель. Логіко-лінгвістична продукційна модель обумовлена наступними аксіомами.

1. Задано наступні множини:

$$\text{множина вхідних впливів } X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*), \\ x_i^* \in [x_i^-, \overline{x_i}];$$

множина станів $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, що представляють собою лінгвістичні змінні, які характеризуються наборами $(x_i, S(x_i), X_i, G_i, M_i)$, $i = \overline{1, n}$ (x - назва лінгвістичної змінної, $S(x)$ -

терм-множина змінної x , елементи якої $\alpha_j, j = \overline{1, n}$ - суть найменування нечітких змінних $\langle \alpha, X, \tilde{C}(\alpha) \rangle$ як лінгвістичних значень лінгвістичної змінної, де X - область визначення нечіткої змінної, $\tilde{C}(\alpha) = \{ \mu_{\tilde{C}(\alpha)}(x) / x \}, x \in X$, $\mu_{\tilde{C}(\alpha)}(x)$ - значення функції приналежності; G - синтаксичне правило, що породжує найменування змінної $\alpha \in S(x)$; M - синтаксичне правило, що ставить у відповідність кожної змінної $\alpha \in S(x)$ нечітку множину $\tilde{C}(\alpha)$;

множина вихідних значень $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, які також представляють собою лінгвістичні змінні, що характеризуються наборами $(y_k, S(y_k), Y_k, G_k, M_k), k = \overline{1, m}$, причому $S(y)$ - терм-множина змінної y , елементи якої $d_z, z = \overline{1, m}$ - суть найменування нечіткої змінної $\langle d, Y, \tilde{C}(d) \rangle$ як лінгвістичних значень лінгвістичної змінної, де Y - область визначення нечіткої змінної, $\tilde{C}(d) = \{ \mu_{\tilde{C}(d)}(y) / y \}, y \in Y, \mu_{\tilde{C}(d)}(y)$ - значення функції приналежності.

2. Задано відображення виходу $R: x(t) \rightarrow d$, що визначає вихідну величину $y = d_z, z = \overline{1, m}$. Відображення R визначається множиною наборів правил $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, таких що

$$R: \left\{ \begin{array}{l} \text{IF } x_1 = \alpha_1^1 \text{ AND } x_2 = \alpha_2^1 \dots [\text{AND } x_k = \alpha_k^1] \dots x_n = \alpha_n^1 \\ \text{THEN } y_1 = d_1, \\ \text{IF } x_1 = \alpha_1^2 \text{ AND } x_2 = \alpha_2^2 \dots [\text{AND } x_k = \alpha_k^2] \dots x_n = \alpha_n^2 \\ \text{THEN } y_2 = d_2, \\ \dots \dots \dots \\ \text{IF } x_1 = \alpha_1^m \text{ AND } x_2 = \alpha_2^m \dots [\text{AND } x_k = \alpha_k^m] \dots x_n = \alpha_n^m \\ \text{THEN } y_m = d_m. \end{array} \right.$$

де k_i - кількість правил у наборі $r_i, i = \overline{1, n}$ (елементи у квадратних дужках є необов'язковими).

Кількість правил набору перебуває в діапазоні $0 < k_i \leq \prod_{i=1}^n \text{card}(S(x_i))$, де $\text{card}(S(x_i))$ -

потужність терм-множини змінної $x_i, i = \overline{1, n}$. Виходячи з того, що будь-яка ієрархічно організована структура заснована на класифікаційних ознаках побудови дерева ієрархії для відображення взаємозв'язку частково

впорядкованих множин, то в якості основа дерева використовується ієрархія задач, розв'язуваних при виробі рекомендацій по визначенню параметрів перехвату $L = \{L_0, L_1, \dots, L_m\}$.

Кожний рівень ієрархії визначає своя підмножина системи $L_r = \{l_1^r, \dots, l_k^r\}$ (рис. 1).

Тоді під логіко-лінгвістичною ієрархічною продукційною моделлю будемо розуміти логіко-лінгвістичну продукційну модель, що має вигляд

$$\bigcup_{j=1}^{m_i} \text{conseq} R_{i-1, j}^k = \text{antec} R_i^k, \quad (1)$$

$$\text{де } R_1: \bigcup_{j=1}^{m_{n0}} L_{0, j} \rightarrow L_1, \quad L_0 = \{l_1^0, l_2^0, \dots, l_{k_0}^0\};$$

$$R_2: \bigcup_{j=1}^{m_{n1}} L_{1, j} \rightarrow L_2, \quad L_1 = \{l_1^1, l_2^1, \dots, l_{k_1}^1\};$$

.....

$$R_M: \bigcup_{j=1}^{m_{nm-1}} L_{m-1, j} \rightarrow L_m, \quad L_m = \{l_1^m, l_2^m, \dots, l_{k_n}^m\};$$

l_{ij}^k - лінгвістичні змінні.

Динаміку процесу визначення параметрів перехвату опишемо за допомогою взаємозалежних таблиць лінгвістичних правил, що зв'язують поточні й майбутні стани процесу, який описується [1]

$$Y = R(X_{k-1}, X_k), \quad (2)$$

де X_{k-1}, X_k - стани системи; R - відношення зв'язку; k - крок дискретизації моделі.

Приклад такого відображення представлений у табл. 1.

Таблиця 1
Таблиця лінгвістичних правил слабоформалізованого процесу $Y = X_{k-1} \circ X_k$

$X_{k-1} \setminus X_k$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZE
NS	NB	NB	NS	ZE	PS
ZE	NB	NB	ZE	PB	PB
PS	NS	ZE	PS	PB	PB
PB	ZE	PS	PB	PB	PB

За допомогою таблиць лінгвістичних правил описується база знань об'єкта. Вершини дерева ієрархічної системи - таблиці лінгвістичних правил, а дуги - метаправила, на підставі яких відбувається вибір потрібної таблиці у випадку зміни поточної мети.

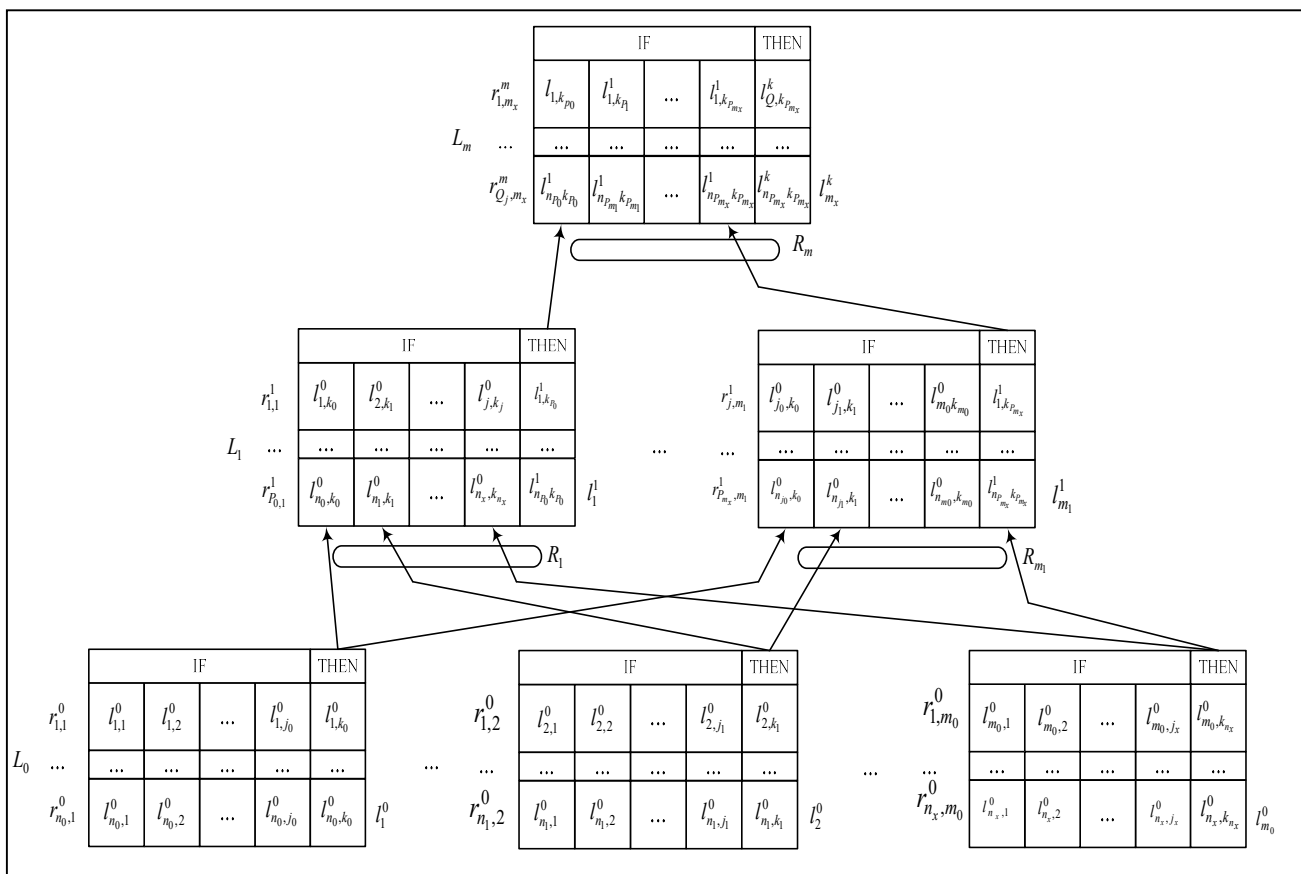


Рис 1. Логіко-лінгвістична ієрархічна продукційна модель визначення параметрів перехвату

Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, в якості математичного апарату обробки інформації при визначенні параметрів запланованого перехвату при неоднорідній і нечіткій вхідній інформації запропонована логіко-лінгвістична продукційна ієрархічна модель, що дозволяє моделювати невизначеності природної мови, враховувати ієрархічні зв'язки між властивостями параметрів та відповідає логіці

міркувань офіцерів бойового управління, яка відрізняється від існуючих:

- формалізацією опису знань про процеси визначення параметрів перехоплення при невизначеній інформації про повітряну обстановку і дії повітряних цілей противника;
- введенням ієрархічних взаємозв'язків між інформаційними об'єктами, заснованих на класифікаційних ознаках, у логіко-лінгвістичній продукційній моделі представлення знань.

Література

1. Камінський В.В. Аналіз застосування безпілотних літальних апаратів в сучасних збройних конфліктах та АТО на Сході України / В.В. Камінський, В.В. Тюрін, О.А. Корщев, Н.О. Королюк // Наука і оборона. – 2017. – № 3(4). – С.4-8. 2. Степанов Г.С. Погляди щодо проблемних питань застосування Повітряних Сил в протиповітряній обороні / Г.С. Степанов, В.В. Камінський, М.А. Павленко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2018. – №1(30). – С. 18-23. 3. Камінський В.В. Борьба з повітряним тероризмом має починатися з землі / В.В. Камінський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 1(14). – С. 16-23. 4. Олизаренко С.А. Нечеткие множества типа 2. Терминология и представление / С.А. Олизаренко, Е.В. Брежнев, А.В. Перепелица // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 8(89). – С. 131–140. 5. Олизаренко С.А. Интервальные нечеткие множества типа 2. Терминология, представление, операции / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС,

2011. – Вип. 2(92). – С. 39 – 45. 6. Королюк Н.О. Обгрунтування сучасного підходу щодо автоматизації процесів прийняття рішень по управлінню авіацією / Н.О. Королюк, О.В.Першин, Т.О. Грідньова, С.О. Шевченко // Збірник наукових праць. - 2019. - №1(59). – С.32-39. 7. Saaty, T. “Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks [on line]”. European Journal of Operational Research, vol. 199, is. 3, 2009, p. 867–872. 8. Королюк Н.О. Процедура формалізації даних, які використовуються при описі процесу управління рухом повітряних об'єктів / Н.О. Королюк, Р.В. Корольов, О.А. Корщев // Збірник наукових праць ХНУПС. – 2017. – № 4(53). – С.103-106. 9. Korolyuk, N. “An approach to prediction of the telecommunication network quality parameters under the conditions of non-stochastic uncertainty”, Telecommunications and Radio Engineering, Issue 11. Volume 76, 2017. Pages 1027-1032. 10. Королюк Н.О. Удосконалення програмного забезпечення комплексів засобів автоматизації при розпізнаванні типу повітряного об'єкта / Н.О.Королюк, В.В. Синявський,

Д.О. Хаустов // Системи озброєння і військової техніки. – 2017. – № 1(49). – С. 67-80. **11. Тимочко О.І.** Метод оцінки ступеня небезпеки нештатних ситуацій у повітряному просторі / О.І. Тимочко, П.П. Зуєв // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 1(26). – С. 49-53. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров, А.В. Мишин, Б.Н. Судаков. – Х.: ХУВС, 2011. – 355 с. **12. Ротштейн О.П.** Діагностика на базі нечітких відношень в умовах невизначеності: моногр. / О.П. Ротштейн, Г. Б. Ракитянська. – Вінниця: Універсум, 2006 – 275 с. **13. Korolyuk, N.** (2014), “Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace”, Automatic Control and Computer Sciences, Vol. 49, pp.16-25. **14. Alimpiev, A.** (2017), “Selecting a model of unmanned aerial vehicle to accept it for military purposes with regard to expert data” P.Berdnik, N.Korolyuk, O.Korshets, M. Pavlenko, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774. - №1/ 9 (85 pp 53-60. **15. Hagrass, H.** Introduction to Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers – Towards Better Uncertainty Handling in Real World Applications / Hani Hagrass, Christian Wagner // IEEE eNewsletter. Systems, Man and Cybernetics Society. –

Issue 27. –June 2009. **16. Mendel, J.** Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple / J.M. Mendel, R.I. John, Feilong Liu // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – December 2006. – Vol. 14, no. 6. – P. 808-821. **17. Пермяков О.Ю.** Інформаційно – телекомунікаційні технології і сучасна збройна боротьба / О.Ю. Пермяков, Н.О. Королюк // Науково-технічна конференція молодих учених «Актуальні проблеми інформаційних технологій» (20-21 листопада 2018 року). - Київ: НУОУ, 2018. - С. 5-6. **18. Mendel, J.** Standard Background Material About Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems / J.M. Mendel, H. Hagrass, R.I. John // IEEE CIS Standards Committee [Електронний ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://ieee-cis.org/technical/standards/>. **19. Wu, H.** Uncertainty Bounds and Their Use in the Design of Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems / H. Wu, J.M. Mendel // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – October 2002. – Vol. 10, no. 5. – P. 622-639. **20. Wu, D.** Enhanced Karnik-Mendel Algorithms / D. Wu, J.M. Mendel // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – August 2009. – Vol. 17, no. 4. – P. 923-934. **21. Mendel, J.** On centroid calculations for Type-2 Fuzzy Sets / J.M. Mendel // Appl. Comput. Math. – 2011. – V.10, no.1, Special Issue. – P. 88-96.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПЕРЕХВАТА ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ

Наталья Александровна Королюк (кандидат технических наук, доцент)

Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени И. Кожедуба, Харьков

В статье предлагается подход по формализации знаний о процессе определения параметров планируемого перехвата с помощью эвристических методов, которые являются лучшими с точки зрения учета практики, опыта, интуиции, знаний лиц, принимающих решения, при наведении истребителей на воздушные цели, и ищут решения внутри некоторого подпространства возможных решений. Предложенная математическая модель позволяет формализовать факторы, учитываемые при наведении истребителей, в виде лингвистических и интервально-оцениваемых параметров для каждого варианта, которые позволяют учесть неопределённость. Исходными данными метода является рекомендация относительно целесообразного метода наведения, полусферы атаки истребителя при наведении. Принятие решений о применении целесообразного метода наведения возможно только после анализа условий ведения боевых действий, тактического положения истребителя на момент обнаружения воздушных целей с учетом динамических характеристик каждого метода наведения. Выявлено, что автоматизация информационной подготовки, формирования различных вариантов применения параметров запланированного перехвата, возможно за счет реализации соответствующей системы поддержки принятия решения. Обосновано, что в качестве математической модели определения параметров перехвата целесообразна логико-лингвистическая продукционная иерархическая модель

Ключевые слова: параметры запланированного перехвата; лицо, принимающее решение; нечеткая логическая система; принятие решений; знания; формализация знаний; метод наведения

PECULIARITIES OF CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODEL OF DETERMINATION OF PARAMETERS FOR INTERCEPTION OF AIR TARGETS

Natalia Korolyuk (Candidate of Technical Sciences, associate professor)

Kharkiv national Air Forces University named after I. Kozhedub, Kharkiv, Ukraine

The article proposes an approach to formalize knowledge about the process of determining the parameters of the planned interception using heuristic methods, which are the best in terms of practice, experience, intuition, knowledge of decision makers when aiming fighters at air targets, and looking for solutions within some subspace of possible solutions. The proposed mathematical model allows to formalize the factors that are taken into account when guiding fighters, in the form of linguistic and interval-estimated parameters for each option, which allow to take into account the uncertainty. The initial data of the method is a recommendation regarding the appropriate method of guidance, the hemisphere of the attack of the fighter during guidance. Decisions on the application of the appropriate method of guidance is possible only after the

analysis of the conditions of hostilities, the tactical position of the fighter at the time of detection of air targets, taking into account the dynamic characteristics of each method of guidance. It is revealed that automation of information preparation, formation of various variants of application of parameters of the planned interception, is possible at the expense of realization of the corresponding system of support of decision-making. It is substantiated that a logical-linguistic production hierarchical model is expedient as a mathematical model for determining the parameters of interception..

Keywords: parameters of planned interception; decision maker; fuzzy logical system; decision making; knowledge; knowledge formalization; guidance method

References

- Kaminskiy, V.V.**, Analysis of application of UAF in modern armed conflicts on East of Ukraine / V.V. Kaminskiy, V.V. Turin, // Science and defense. - 2017. - № 3 (4). - P.4-8. **2. Stepanov, G.S.**, Kaminsky, V.V., Pavlenko, M.A. (2018), "Take a look at the problematic power supply of the Reconciled Forces in the prototype defense", [Pohlyady odnosytel'no problemnykh voprosam! Zastosuvannya Povitryanykh Syl v protipovitryaniy oboroni], Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, No. 1(30), pp.18-23. **3. Kaminsky, V.V.**, (2014), "The fight against air terrorism must begin with land", [Borotba z povitryanim terorizmom mac pochinatsya z zemli], Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, No. 1(14), pp. 16-23. **4. Olizarenko, S.A.**, Brezhnev, Ye.V., Perepelitsa, A.V. (2010), "Nechetkiye mnozhestva tipa 2. Terminologiya i predstavleniye" [Nechitki mnozhyny typu 2. Terminologiya i uyavlennya], Systems for processing information, VIP. 8(89). pp. 131–140. **5. Olizarenko, S.A.**, Perepelitsa, A.V., Kapranov, V.A. (2011), "Interval fuzzy sets of type 2. Terminology, representation, operations" [Interval'nyye nechetkiye mnozhestva tipa 2. Terminologiya, predstavleniye, operatsii], Systems for processing information, VIP. 2 (92), pp. 39 - 45. **6. Korolyuk, N.**, Pershin, A. (2019), "Ground of modern method in relation to the avtomatic processes of making decision for by the aviation's" [Osнова suchasnoho metodu shchodo avtomatychnykh protsesiv pryynyattya rishennyi aviatsiyeyu], Collection of scientific works, №1 (59), pp. 32-39. **7. Saaty, T.**, (2009), "Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks [on line]", European Journal of Operational Research, vol. 199, is. 3, pp. 867–872. **8. Korolyuk, N.O.**, Korolov, R.V. and Korshets, O.A., (2017), "Procedura formalizacii danih, yaki vikoristovuyut'sya pri opisi procesu upravlinnya ruhom povitryanih ob'ektiv", [Procedure for formalizing data used in describing the process of controlling the movement of air objects], Communication, radio engineering, acoustics and navigation. pp. 103-106. **9. Korolyuk, N.**, (2017), "An approach to prediction of the telecommunication network quality parameters under the conditions of non-stochastic uncertainty", Telecommunications and Radio Engineering, Issue 11. Volume 76, pp. 1027-1032. **10. Korolyuk, N.O.**, Sinyavsky, V.V. and Haustov, D.O. (2017), "Udoskonalennya programnogo zabezpechennya kompleksiv zasobiv avtomatizacii pri rozpiznavanni tipu povitryanogo ob'ekta", [Improvement of software of complexes of automation means when recognizing the type of air object], Systems of armament and military equipment, No. 1(49), pp. 67-80. **11. Timochko, O.I.**, and Zuyev, P.P. (2017), "Metod ocinki stupenya nebezpeki neshtatnih situacij u povitryanomu prostori", [Method of estimation of the degree of danger of abnormal situations in the air space], Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, No. 1(26), pp. 49-53. **12. Yarushek, V.E.**, Prokhorov, V.P., Mishin, A.V. and Sudacov, B.N. (2011), "Teoreticheskie osnovy avtomatizacii processov vyrabotki reshenij v sistemah upravleniya", [Theoretion bases of automation of decision-making processes in control systems], KNAFU, 355 p. **13. Rotshtein O. P.**, (2006) "Diahnostyka na bazi nechitkikh vidnoshen' v uslovyyakh nevizna-chenosti", [Diagnosis based on fuzzy relationships in conditions of uncertainty], Vinnica, MD, 275 p. **14. Korolyuk, N.**, (2014) , "Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace", Automatic Control and Computer Sciences, Vol. 49, pp.16-25. **15. Alimpiev, A.**, (2017), "Selecting a model of unmanned aerial vehicle to accept it for military purposes with regard to expert data" P.Berdnik, N.Korolyuk, O.Korshets, M. Pavlenko, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774. - №1/ 9 (85 pp 53-60. **16. Hagrass, H.**, Introduction to Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers – Towards Better Uncertainty Handling in Real World Applications / Hani Hagrass, Christian Wagner // IEEE eNewsletter. Systems, Man and Cybernetics Society. – Issue 27. –June 2009. **17. Mendel, J.M.**, Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple / J.M. Mendel, R.I. John, Feilong Liu // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – December 2006. – Vol. 14, no. 6. – P. 808-821. **18. Permiakov, O.**, Korolyuk, N. (2018), "Informatsiyno – telekomunikatsiyni tekhnolohiyi i suchasna zbroyna borot'ba" [Information and telecommunication technologies and modern armed struggle], Scientific and technical conference of young scientists "Actual problems of information technologies", Kiev, MD, pp. 5-6. **19. Mendel, J.M.**, Standard Background Material About Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems / J.M. Mendel, H. Hagrass, R.I. John // IEEE CIS Standards Committee [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://ieec-cis.org/technical/standards/>. **20. Wu, H.**, Uncertainty Bounds and Their Use in the Design of Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems / H. Wu, J.M. Mendel // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – October 2002. – Vol. 10, no. 5. – P. 622-639. **21. Wu, D.**, Enhanced Karnik-Mendel Algorithms / D. Wu, J.M. Mendel // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – August 2009. – Vol. 17, no. 4. – P. 923-934. **22. Mendel, J.M.**, On centroid calculations for Type-2 Fuzzy Sets / J.M. Mendel // Appl. Comput. Math. – 2011. – V.10, no.1, Special Issue. – P. 88-96.