

УДК 519.81

Н.О. Королюк, С.О. Белокуров, С.В. Михальчук

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ПРОЦЕДУРА ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ПЕРЕХОПЛЕННЯ ПОВІТРЯНОЇ ЦІЛІ ВИНИЩУВАЛЬНОЮ АВІАЦІЄЮ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Розглядається підхід щодо визначення найбільш доцільної стратегії перехоплення повітряної цілі винищувальною авіацією на основі постановки експертизи та обробки експертних даних. Отримані за результатами обробки значення компонентів функції приналежності множині параметрів, що впливають на визначення доцільної стратегії, дозволяють упорядкувати її елементи по рівнях їх недомінуєності.

**Ключові слова:** стратегії, метод наведення, нечіткий опис, особа, яка приймає рішення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У ході аналізу можливостей комплексів засобів автоматизації (КЗА) пунктів управління (ПУ) тактичного рівня, що знаходяться на озброєнні Повітряних Сил ЗСУ, встановлено, що алгоритми, реалізовані в спеціальному математичному і програмному забезпеченні, неповністю відповідають сучасним вимогам. Приймаються гіпотези про рівномірний прямолінійний рух повітряної цілі (ПЦ) на висотах і швидкостях, відмінних від граничних. Виникає протиріччя між необхідністю своєчасного прийняття рішень при управлінні винищувальною авіацією (ВА) і обмеженими можливостями спеціального математичного і програмного забезпечення КЗА ПУ Повітряних Сил. Вирішення даного протиріччя можливе шляхом удосконалення спеціального математичного і програмного забезпечення КЗА ПУ Повітряних Сил на основі використання інтелектуальних інформаційних технологій. Врахування параметрів, що впливають на визначення доцільних стратегій запланованого перехоплення, дозволяють сформулювати відповідні рекомендації особі, яка приймає рішення (ОПР), для виведення винищувача в тактично вигідне положення відносно ПЦ.

**Аналіз літератури.** Для сучасного повітряного бою необхідно враховувати множину факторів, параметрів, які детально розглянуті і проаналізовані в [1]. В роботах [2,3] проаналізований процес визначення методу наведення (МН) в залежності від тактичного положення винищувача на момент виявлення ПЦ, її поведінки та способів протидії, динамічних характеристик МН. При визначенні МН винищувача на маловисотну ПЦ необхідно враховувати обмеження по використанню маневрених характеристик винищувача, скорочення тактичного радіуса дії. При визначенні МН винищувачів на ПЦ, які здійснюють політ в стратосфері, необхідно враховувати такі фактори: погіршення стійкості, управляємості й маневрених можливостей винищувача.

**Мета статті** є розробка процедури визначення

доцільної стратегії перехоплення повітряної цілі в умовах невизначеності на етапі безпосередньої підготовки до бойових дій винищувальною авіацією.

### Вирішення поставленого завдання

Повітряні бої характеризуються швидкою змінною бойовою обстановкою, маневреною, завадовою, вогневою протидією ПЦ противника при виконанні завдань у всьому діапазоні висот, вдень і вночі, в простих і складних метеоумовах, що ускладнює процес прийняття рішень при перехопленні сучасних, а тим більше перспективних ПЦ. Прийняття рішень ОПР про застосування доцільних параметрів перехвату можливо при врахуванні характеристик МН (табл. 1).

Таблиця 1

Фактори, які впливають на вибір методу наведення

Фактори	Паралельне зближення	Пряме зближення	Погоня
Час зустрічі винищувача з ПЦ	найменший	найменший	великий
Співвідношення швидкостей винищувача і ПЦ	$V_2 > V_1$	$V_2 < V_1$	$V_2 \gg V_1$
Трасекторія польоту винищувача	пряма	пряма	крива лінія
Вихід винищувача на ПЦ	будь-який напрямок	будь-який напрямок	заданий напрямок
Всеракурсне озброєння винищувача	обов'язково	бажано	не обов'язково

Виходячи з викладеного сформуємо кінцеву, неповну кількість стратегій запланованого перехоплення винищувачами ПЦ. Під стратегією запланованого перехоплення будемо розуміти набір параметрів перехоплення (МН, ПСА, ракурс і висота атаки, дистанція виходу на ПЦ), що забезпечують тактично вигідне положення винищувача відносно ПЦ, з якого можливе здійснення успішної її атаки.

Виникає завдання формування з множини стратегій такої множини,  $M = \{m_j\}$ ,  $j = \overline{1, k}$ , де  $m_j$  - елемент множини стратегій, який необхідно застосувати для виведення винищувача в тактично вигідне положення для здійснення успішної атаки ПЦ в конкретних умовах (табл.2).

Таблиця 2

Множина доцільних стратегій

Метод наведення	ПСА (ракурс), град	Дистанція виходу ПЦ, км	Висота, м	№ стратегії
Пряме зближення	ППС, 0...75	85...100	Перевищення 1000м	1
	ППС, 0...75	85...100	Пониження 1000м	2
Паралельне зближення	ППС, 0...75	85...100	Перевищення 1000м	3
	ППС, 0...75	85...100	Пониження 1000м	4
Пряме зближення	ЗПС, 105...180	35...40	Перевищення 500м	5
	ЗПС, 105...180	35...40	Пониження 1000м	6
Паралельне зближення	ЗПС, 105...180	35...40	Перевищення 500м	7
	ЗПС, 105...180	35...40	Пониження 1000м	8
Погоня	ЗПС, 105...180	35...40	Пониження 1000м	9
	ЗПС, 105...180	35...40	Перевищення 500м	10
Маневр	ЗПС, 105...180	35...40	Перевищення 500м	11
	ЗПС, 105...180	35...40	Пониження 1000м	12

Формування множини стратегій в умовах невідомості можливо тільки на основі постановки експертизи та обробки експертних даних. Для формування шуканої множини доцільних стратегій, що забезпечують виведення винищувачів в тактичне вигідне положення відносно ПЦ, необхідна постановка експертизи, результати якої представляються у вигляді нечітких відносин переваг. Використовується схема експертизи, в якій експерти висловлюють свої судження про важливість елементів у вигляді нечітких бінарних відносин нестрокої переваги елементу  $m_{j^*}$  до елементу  $m_{j^{**}}$ ,  $j^*, j^{**} = \overline{1, k}$ , а обробка результатів експертизи дозволяє перейти до бінарного відношення строгої переваги. Якщо  $M$  є універсальна (звичайна) множина елементів, то суб'єктивна думка кожного  $l$ -го експерта  $l = \overline{1, L}$  являє функцією приналежності  $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'')$ ,  $m', m'' \in M$ , нечіткої підмножини  $\tilde{R}_{\geq}$  бінарних відносин нестрокої переваги. Відповідно нечітким відношенням  $\tilde{R}(m', m'')$  на звичайній множині  $M$  називають нечітку підмножину прямого декартового множення

$M \times M$ , яка характеризується функцією приналежності  $\mu_{\tilde{R}} : M \times M \rightarrow [0, 1]$ , а значення  $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'')$  приймається як суб'єктивна міра відносини  $(m', m'') \in \tilde{R}$ . Кожен  $l$ -ий експерт керується тим, що значення функції приналежності  $\mu_{\tilde{R}}(m', m'')$  для кожної пари порівнюваних елементів означає ступінь виконання переваги: «елемент  $m'$  «не гірше»  $m''$  елементу». Виходячи з того, що нечітке відношення нестрокої переваги має властивість рефлексивності, то  $\mu_{\tilde{R}}(m', m'') = 1$ . Якщо  $\mu_{\tilde{R}}(m', m'') = 0$ , то це означає, що або  $\mu_{\tilde{R}}(m'', m') > 0$ , тобто елемент  $m''$  «не гірше» елемента  $m'$ , або  $\mu_{\tilde{R}}(m'', m') = 0$ , тобто елемент  $m''$  і  $m'$  не порівнянні між собою. При попарному порівнянні експерти враховують умову нормування, з якого випливає  $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') = 1 - \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m'', m')$ . Кожен експерт своє суб'єктивне судження про нечітке бінарне відношення нестрокої переваги елементів множини являє функцією приналежності у вигляді матриці:

$$\mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(l)} = \left\| \mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(l)}(m', m'') \right\|, m', m'' \in \tilde{R}, l = \overline{1, L} \quad (1)$$

Обробка результатів експертизи полягає в наступному. Матриця значень функції приналежності нечіткого бінарного відношення нестрокої переваги  $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(l)}(m', m'')$  за співвідношенням виду:

$$\mu_{\tilde{R}_{>}} = \begin{cases} \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') - \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m'', m'), \\ \text{якщо } \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') \geq \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m'', m'); \\ 0, \text{ якщо } \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') < \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m'', m') \end{cases} \quad (2)$$

перетвориться в матрицю  $\mu_{\tilde{R}_{>}} = \left\| \mu_{\tilde{R}_{>}}(m', m'') \right\|$  значень функції приналежності нечіткого бінарного відношення строгої переваги. Формування множини бажаних елементів  $M_f \subset M$  пов'язане з необхідністю звуження множини  $M$ , яке можливе при визначенні міри невідомості його елементів. Елемент  $m^{(q)} \in M$  називається невідомим по відношенню суворої переваги, якщо серед інших елементів множини  $M$  не існує жодного такого  $m \in M$  який був би строго переважніше  $m^{(q)}$ , а підмножина невідомих елементів  $\{m^{(q)}\}$  становить ядро нечіткого відношення строгої переваги на  $M$ , тобто:

$$M_{\tilde{R}_{>}} = \left\{ m^{(q)} / \exists m \in M : m \succ m^{(q)}; \forall m, m^{(q)} \in M \right\} \quad (3)$$

Ядро  $M_{\tilde{R}_{>}}$  має функцію приналежності  $\mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(m)$ , яка з врахуванням (3) визначається за наступним співвідношенням:

$$\mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(m) = \min_{m' \in M} (1 - \mu_{\tilde{R}_{>}}(m', m)), \forall m', m'' \in M \quad (4)$$

З множини М виділяють підмножину  $M^* \in M$  найбільш бажаних стратегій, які доцільно застосовувати в конкретній повітряній обстановці. Якщо  $\mu_{M_{R_f}}(m) \geq 0,5$ , то множина стратегій має вигляд:

$$M^{*(\alpha)} = \{m_j^{(\alpha)} / \mu_{M_{R_f}} \geq \alpha : m_j^{(\alpha)} \in M_{R_f}, j = \overline{1, k}\} \quad (5)$$

Бінарні порівняння проводяться на основі правила: у скільки разів розглянута стратегія є доцільніша стосовно іншої з точки зору фактора - великої дальності виявлення ПЦ. Значення функції приналежності нечіткого бінарного відношення нестрогої і строгої переваги, отримані в результаті постановки експертизи та обробки експертних даних, представлені в табл. 3, 4.

Таблиця 3

Функції належності нечіткого відношення нестрогої переваги стратегій

	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$	$\alpha_8$	$\alpha_9$	$\alpha_{10}$	$\alpha_{11}$	$\alpha_{12}$
$\alpha_1$	1	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
$\alpha_2$	0,4	1	0,7	0,4	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$\alpha_3$	0,3	0,3	1	0,3	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
$\alpha_4$	0,4	0,6	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
$\alpha_5$	0,4	0,3	0,4	0,3	1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
$\alpha_6$	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
$\alpha_7$	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	1	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7
$\alpha_8$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	1	0,5	0,6	0,7	0,7
$\alpha_9$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	1	0,5	0,8	0,8
$\alpha_{10}$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1	0,7	0,7
$\alpha_{11}$	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	1	0,5
$\alpha_{12}$	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	1

Нехай рівень недомінуемості стратегій  $\alpha > 0,5$ . Тоді множина стратегій, які доцільно застосовувати при великій дальності виявлення ПЦ, розташовуються в порядку зменшення їх важливості:

Таблиця 4

Функції належності нечіткого відношення строгої переваги стратегій

	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$	$\alpha_8$	$\alpha_9$	$\alpha_{10}$	$\alpha_{11}$	$\alpha_{12}$
$\alpha_1$	0	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8
$\alpha_2$	0	0	0,4	0	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$\alpha_3$	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6
$\alpha_4$	0	0,2	0,4	0	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8
$\alpha_5$	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4
$\alpha_6$	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4
$\alpha_7$	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4
$\alpha_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0,4
$\alpha_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6
$\alpha_{10}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,4
$\alpha_{11}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\alpha_{12}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$$M = \{1/\text{стратегія 1}; 0,8 / \text{стратегія 2}; 0,6 / \text{стратегія 3}; 0,6 / \text{стратегія 4}\}.$$

Таким чином, зі сформованої множини стратегій, які доцільно застосовувати при великій дальності виявлення ПЦ, найбільше значення мають стратегії 1, 2, 3, 4. Аналогічно проводиться експертиза по зрівнянню стратегій відносно висоти ПЦ, маневра курсом ПЦ.

Моделі обстановки будуються шляхом проектування і налаштування нечітких баз знань, використовуючи лінгвістичні висловлювання типа, ЯКЩО <входи>, ТО <виходи>.

Основна ідея полягає в тому, що запропонована нечітка база знань може ідентифікувати нелінійні залежності з необхідною точністю.

Множина правил визначення доцільної стратегії при різних комбінаціях факторів повітряної обстановки, а саме: «Висота ПЦ», «Маневр курсом ПЦ», «Дальність виявлення ПЦ», зберігається в базі знань інтелектуальної системи, яку пропонується сформулювати використовуючи алгоритм, який покладений в основу метода ідентифікації, що запропонований А.П. Ротшейном.

Ідея методу полягає у використанні нечітких логічних рівнянь. Ці рівняння виходять на основі матриці знань системи логічних висловів і дозволяють обчислювати значення функцій приналежності різних рішень при фіксованих значеннях вихідних змінних об'єкту. Рішення вибирається з найбільшим значенням функції приналежності [4]. Побудова функцій приналежності нечітких змінних здійснюється на основі рангових оцінок і базується на ідеї розподілу ступеня приналежності елементів універсальної множини відповідно з їхніми рангами (табл.5).

Головною перевагою методу є те, що на відміну від методу парних порівнянь він не потребує рішення характеристичного рівняння. Отримані співвідношення дають можливість обчислювати функції приналежності з використанням рангових оцінок, які достатньо легко одержати при експертному опитуванні.

Таблиця 5

Матриця рангів нечіткої змінної «Мале маневрування курсом ПЦ»

«Мале маневрування ПЦ»	1°	15°	25°	34°	45°
1°	1	7/9	5/9	4/9	2/9
15°	9/7	1	5/7	4/7	2/7
25°	9/5	7/5	1	4/5	2/5
34°	9/4	7/4	5/4	1	2/4
45°	9/2	7/2	5/2	4/2	1

Таким чином, елементи функція приналежності нечіткої змінної «Мале маневрування курсом ПЦ» після нормування мають наступні значення:  $\mu_1 = 1$ ;  $\mu_2 = 0,75$ ;  $\mu_3 = 0,54$ ;  $\mu_4 = 0,42$ ;  $\mu_5 = 0,22$ .

Аналогічні розрахунки проводимо для інших нечітких змінних лінгвістичної змінної «Маневрування курсом ПЦ» (рис. 1).

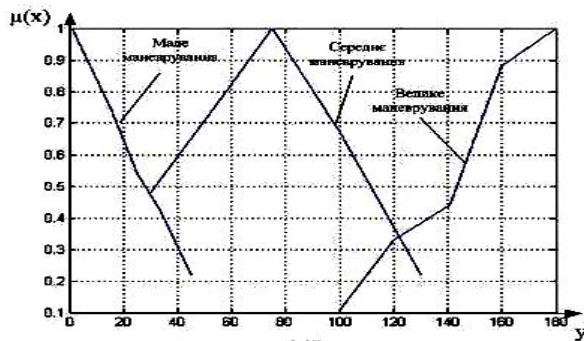


Рис. 1. Функції приналежності нечітких змінних лінгвістичної змінної «Маневрування курсом ПЦ»

Аналогічно проводяться розрахунки функцій приналежності нечітких змінних лінгвістичних змінних «Висота ПЦ», «Дальність виявлення ПЦ» та на їх основі формується нечітка база знань по визначенню доцільної стратегії по знищенню повітряної цілі, приклад правил наступний:

1. ЯКЩО дальність виявлення ПЦ велика ТА висота ПЦ велика ТА мале маневрування курсом ПЦ ТО доцільна стратегія запланованого перехоплення 1.

2. ЯКЩО дальність виявлення ПЦ велика ТА висота ПЦ середня ТА мале маневрування курсом ПЦ ТО доцільна стратегія запланованого перехоплення 2.

3. ЯКЩО дальність виявлення ПЦ середня ТА висота ПЦ середня ТА мале маневрування курсом ПЦ ТО доцільна стратегія запланованого перехоплення 3.

Таким чином, розроблена процедура визначення доцільної стратегії перехоплення повітряної цілі в умовах невизначеності на етапі безпосередньої підготовки до бойових дій винищувальної авіації.

## Висновки

Визначення стратегії для виводу винищувача в тактично вигідне положення відносно ПЦ - це складна багатокритеріальна задача. Суперечливість вимог до результату прийнятих рішень, неоднозначність оцінки ситуації, помилки у виборі пріоритетів ускладнюють процес прийняття рішень, не дозволяють ефективно обробляти, оперативно аналізувати інформацію для прийняття обґрунтованих рішень. Для визначення доцільної стратегії, яка буде застосована винищувачем для знищення повітряної цілі, необхідно враховувати множину параметрів. Формування множини стратегій в умовах невизначеності можливо тільки на основі постановки експертизи та обробки експертних даних. Для формування шуканої множини доцільних стратегій, що забезпечують виведення винищувачів в тактичне вигідне положення відносно ПЦ, необхідна постановка експертизи, результати якої представляються у вигляді нечітких відносин переваг.

## Список літератури

1. *Наведение самолетов на воздушные и наземные цели. Часть 1. Теория наведения на воздушные цели: Учебное пособие / Под ред. В.Н.Каменского. - М.: Военное изд-во, 1972. - 168 с.*
2. *Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра: Моногр. / В.К.Бабич, Л.Е. Баханов, Г.П. Герасимов и др. под ред. Е.А.Федосова. - М.: Дрофа, 2005. - 815 с.*
3. *Управление полетами в частях авиации Вооруженных Сил СССР: Методическое пособие. - М.: Изд-во МО СССР, 1985. - 198 с.*
4. *Герасимов Б.М. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности / Б.М. Герасимов, М.М. Дивизинюк, И.Ю. Субач. - Севастополь: МО Украины, НИЦ ВС Украины «Государственный океанариум», 2004. - 318 с.*

Надійшла до редколегії 25.11.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.В. Лемешко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЙ СТРАТЕГИИ ПЕРЕХВАТА ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ ИСТРЕБИТЕЛЬНОЙ АВИАЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Н.А. Королюк, С.А. Белокуров, С.В. Михальчук

*Рассматривается подход по определению наиболее целесообразной стратегии перехвата воздушной цели истребительной авиацией на основе постановки экспертизы и обработки экспертных данных. Полученные по результатам обработки значения компонент функции принадлежности множества параметров, которые влияют на определение целесообразной стратегии, позволяют упорядочить ее элементы по уровням их недоминируемости.*

**Ключевые слова:** стратегии, метод наведения, нечеткое описание, лицо, которое принимает решение.

## PROCEDURE OF DETERMINATION OF EXPEDIENT STRATEGY OF INTERCEPT OF AIR PURPOSE FIGHTER AIRCRAFT IN THE CONDITIONS OF VAGUENESS

N.A. Korolyuk, S.A. Belokurov, S.V. Mikhal'chuk

*Approach on determination of the most expedient strategy of intercept of air purpose a fighter aircraft is examined on the basis of raising of examination and processing of expert data. Values of komponent of function of belonging of great number of parameters, which influence on determination of expedient strategy, allow to put in order its elements on levels them nedominiruemosti, got on results treatment.*

**Keywords:** strategies, aiming method, unclear description, person which makes a decision.