

УДК 519.81

О.І. Тімочко, Н.О. Королюк, М.В. Науменко, Б.В. Бакуменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВИБІР МЕТОДА НАВЕДЕННЯ ВИНИЩУВАЧА НА ПОВІТРЯНУ ЦІЛЬ

Розглядається підхід щодо визначення найбільш переважних параметрів, що впливають на вибір методу наведення винищувача на повітряну ціль, на основі постановки експертизи та обробки експертних даних. Отримані за результатами обробки значення компонентів функції приналежності множині параметрів, що впливають на визначення доцільного методу наведення винищувача на повітряну ціль, дозволяють упорядкувати її елементи по рівнях їх невідомості.

Ключові слова: метод наведення, нечіткий опис, особа, яка приймає рішення, нечіткі відносини переваг.

Вступ

Постановка проблеми. Визначення методу наведення («Паралельне зближення», «Пряме зближення», «Упереджене зближення», «Маневр», «Погоня») винищувача на повітряну ціль (ПЦ) враховує множину параметрів. Врахування множини параметрів, що безпосередньо впливають на визначення доцільного методу наведення (МН) дозволяє особі, що приймає рішення (ОПР), сформулювати обґрунтоване рішення щодо виводу винищувача в тактично вигідне положення відносно ПЦ для здійснення успішної її атаки.

Повітряна обстановка та поведінка ПЦ характеризується нестахостичною невизначеністю параметрів. Тому прогнозування, формування і врахування їх множини при виводі винищувача в тактично вигідне положення відносно ПЦ, будуватиметься тільки на основі експертних даних. Розв'язання цієї задачі є актуальним питанням. Виходячи з того, що експертиза може розглядатися в нечіткій постановці, то і задача вирішуватиметься в нечіткій постановці.

Аналіз літератури. В роботі [1] прийняття рішення на застосування доцільного методу наведення здійснюється з урахуванням типу винищувача, курсового кута винищувача, параметрів руху ПЦ та ін. В роботах [2, 3] МН визначається в залежності від тактичного положення винищувача на момент виявлення ПЦ, її поведінки та способів протидії, динамічних характеристик МН. Так, при визначенні МН винищувача на маловисотну ПЦ необхідно враховувати обмеження по використанню маневрених характеристик винищувача, скорочення тактичного радіуса дії при збільшенні швидкості польоту, орнітологічну обстановку. При визначенні МН винищувачів на ПЦ, які здійснюють політ в стратосфері, необхідно враховувати такі фактори: погіршення стійкості, управляємості й маневрених можливостей винищувача, збільшення його інертності, часу та радіуса розвороту.

Мета статті полягає у формуванні множини найбільш переважних параметрів, що безпосередньо впливають на процес визначення методу наведення винищувача на ПЦ противника, в інтересах подаль-

шої автоматизації процесу виробки рекомендацій щодо управління винищувальною авіацією на етапі ведення бойових дій.

Вирішення поставленої задачі

Кожен метод наведення визначається переліком параметрів, що впливають на даний процес. З врахуванням характеру сучасних повітряних боїв і в найближчій перспективі в залежності від поведінки та протидії ПЦ можуть застосовуватися такі МН [2]: «Пряме зближення», «Паралельне зближення», «Погоня», «Погоня з упередженням», «Маневр», «Пряме зближення з упередженням», «Статистичний», «Трехточечный» та ін. Так, на великих відстанях до ПЦ, що маневрує, застосовувати МН «Пряме зближення» недоцільно [4]. Зі зменшенням дальності до ПЦ при наявності переваги у швидкості польоту відповідна кутова швидкість винищувача безупинно зменшується і на заданій дальності дорівнює нулю, незважаючи на наявність маневру ПЦ. У випадку знаходження винищувача усередині області можливих зближень при $v_B < v_{Ц}$ маневрування ПЦ не приведе до зриву перехоплення, але зі збільшенням дальності кутова швидкість винищувача збільшується.

Метод наведення «Паралельне зближення» доцільно застосовувати на початку наведення винищувачів для напрямку їх у район майбутньої зустрічі з ПЦ. У випадку маневру ПЦ курсом при $v_B < v_{Ц}$ область можливих зближень значно зменшується за рахунок появи обмежень по дальності до ПЦ, при яких можлива зустріч. У випадку маневру ПЦ швидкістю при $v_B < v_{Ц}$ відбувається зміна положення границь області можливих зближень, що може привести до зриву перехоплення. Але обмежень по дальності до ПЦ усередині області при цьому не існує.

Розглянуті МН доцільно застосовувати при знаходженні винищувачів на траверзі ПЦ (тобто курсовий кут винищувача дорівнює $\psi_B = \pm 90^\circ$), коли кутова швидкість винищувача дорівнює нулю. На других курсах ($0 < \psi_B < 90^\circ$; $90^\circ < \psi_B < 180^\circ$) значення

кутової швидкості винищувача менше значень швидкостей ПЦ, але для МН «Пряме зближення» дальність до ПЦ не повинна бути досить великою. Отже, для наведення винищувачів на ПЦ, що маневрують, вигідніше застосовувати МН «Пряме зближення» за причину розширення області можливих зближень.

Метод наведення «Погоня» доцільно застосовувати при наведенні в область задньої півсфери атаки цілі або на зустрічних курсах на відстані 4 – 7 мінімальних радіусів розвороту [4].

Методи наведення мають різні реакції на зміну параметрів руху ПЦ, тому при прийнятті рішень необхідно вибирати малочутливий до маневрів ПЦ спосіб зближення винищувача. Інакше недоліки застосування МН у сукупності з інформаційними помилками можуть привести до зриву наведення, особливо при перехопленні в умовах, близьких до граничних по можливостях винищувача. Вплив зазначених параметрів на цільову змінну (тактично вигідне положення винищувача відносно ПЦ наприкінці етапу наземного наведення) неможливо описати в аналітичній формі, що обґрунтовує необхідність застосування нетрадиційних підходів для формування множини саме тих параметрів, що безпосередньо впливають на процес визначення доцільного МН винищувача на ПЦ противника [5].

Параметри, що впливають на процес визначення доцільного МН винищувача на ПЦ, матимуть прогнозовані значення за причин відсутності або обмеженості статистики. Тоді формування множини найбільш переважних параметрів, що безпосередньо впливають на процес визначення доцільного МН, слід розглядати в умовах нестохастичної невизначеності [6]. В умовах нестохастичної невизначеності формування множини параметрів можливе тільки на основі постановки експертизи та обробки експертних даних.

Таким чином, для формування шуканої множини параметрів необхідна постановка експертизи, результати якої представляються у вигляді нечітких відносин переваг. Тобто використовується схема експертизи, в якій експерт висловлює свої судження про важливість елементів на множині будь-яких рішень (альтернатив) $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ у вигляді нечітких бінарних відносин несупорядкованої переваги R на множині U з функцією приналежності $\mu_R(u_i, u_j) \in [0, 1]$.

Для будь-якої пари альтернатив $u_i, u_j \in U$ значення $\mu_R(u_i, u_j)$ розуміється як ступінь переваги "у_i негірше у_j", в запису $u_i \geq u_j$. Рівність $\mu_R(u_i, u_j) = 0$ може означати або $\mu_R(u_j, u_i) > 0$, тобто з позитивним ступенем виконана «зворотна» перевага $u_j \geq u_i$, або $\mu_R(u_j, u_i) = 0$, тобто альтернативи u_j та u_i непорівнянні. Рефлексивність R відбиває той природний факт, що будь-яка альтернатива не гірше самої себе.

Обробка результатів експертизи дозволяє перейти до бінарного відношення суворої переваги та визначити міри невідомості його елементів. При порівнянні елементів експерт повинен указати як сумарна інтенсивність переваги, що приходить на розглядаємі елементи і звичайно дорівнює одиниці, розподіляється між ними.

Таким чином, задача прийняття рішень полягає в раціональному виборі найкращих альтернатив (найбільш переважних параметрів, що безпосередньо впливають на процес визначення МН для виводу винищувача в тактично вигідне положення відносно ПЦ, з якого можливе здійснення успішної її атаки) із множини U , на якій задане нечітке відношення переваги R . Експерт своє суб'єктивне судження в нечіткому бінарному відношенні несупорядкованої переваги елементів множини представляє функцією приналежності у вигляді матриці

$$\mu_R(u_i, u_j) = \left\| \mu_R(u_i, u_j) \right\|, u_i, u_j \in U. \quad (1)$$

Якщо в експертизі приймає участь група експертів, то ОПР своє відношення до них відображає у вагових коефіцієнтах λ_l (де $0 \leq \lambda_l \leq 1, \sum \lambda_l = 1$), відповідних кожному з них. Тоді з врахуванням вагових коефіцієнтів експертів $\lambda_l, l = \overline{1, L}$ матриці $\mu_R^{(l)}(u_i, u_j)$ усереднюються за відношенням

$$\mu_R(u_i, u_j) = \frac{\sum_{l=1}^L K_l \mu_R^{(l)}(u_i, u_j)}{\sum_{l=1}^L K_l}.$$

Таким чином, утворюється нове нечітке бінарне відношення несупорядкованої переваги.

Обробка результатів експертизи полягає в наступному. Будується нечітке відношення суворої переваги R^S , асоційоване з R , обумовлене функцією приналежності

$$(u_i, u_j) = \begin{cases} \mu_R(u_i, u_j) - \mu_R(u_j, u_i), & \text{якщо} \\ \mu_R(u_i, u_j) > \mu_R(u_j, u_i); & \\ 0, & \text{якщо } \mu_R(u_i, u_j) \leq \mu_R(u_j, u_i). \end{cases} \quad (2)$$

Дане відношення може бути представлено у вигляді $R^S = R/R^T$, де R^T – «зворотне» відношення.

Формування множини кращих елементів $U_f \subset U$ пов'язане з необхідністю звуження множини U , що можливо при визначенні міри невідомості її елементів. Для цього будується нечітка підмножина $U_R^{nd} \subset U$ невідомості альтернатив, що включає ті альтернативи, які не домінуються ніякими іншими, обумовлена функцією приналежності

$$\begin{aligned} \mu_R^{nd}(u_i) &= \min_{u_j \in U} ((1 - \mu_R^S(u_j, u_i))) = \\ &= 1 - \max_{u_j \in U} (\mu_R^S(u_j, u_i)), u_i \in U. \end{aligned} \quad (3)$$

Для будь-якої альтернативи $u_j \in U$ значення $\mu_R^{nd}(u_i)$ розуміється як ступінь невідомості цієї

альтернативи, тобто ступінь із якої u_i не домінується ні однією із альтернатив множини U ; $\mu_R^{nd}(u_i) = \alpha$ означає, що ніяка альтернатива u_j не може бути кращою за u_i зі ступенем домінування більшої α ; інакше кажучи, u_i може домінуватися іншими альтернативами, але зі ступенем не вище $1 - \alpha$. Рациональним природно вважати вибір альтернатив, що мають по можливості більшу ступінь приналежності множині U_R^{nd} .

Значимість компонентів функції приналежності множині U_R^{nd} дозволяє впорядкувати елементи множини за рівнями невідомості.

Таким чином, отримані за результатами обробки (2), (3) значення компонентів функції приналежності множині U_R^{nd} дозволяють упорядкувати елементи множини $\{u_i\}, i = \overline{1, k}$ за рівнями їх невідомості.

Із множини U виділяють підмножину $U^* \in U$ найкращих параметрів, що впливають на визначення доцільного МН винищувача на ПЦ противника. В результаті вибирається та альтернатива u^* , для якої значення $\mu_R^{nd}(u^*)$ максимально:

$u^* = \arg \max_{u_i \in U} \mu_R^{nd}(u_i)$. Якщо найбільший ступінь невідомості має не одна, а кілька альтернатив, то ОПР може сама вибрати одну з них, виходячи з будь-яких допоміжних міркувань, або розширити коло експертів при формуванні вихідних даних задачі та повторити її рішення.

Будемо вважати, що використовуючи інформацію щодо параметрів, які впливають на визначення МН винищувача на ПЦ, які наведені в [1 – 3], проведена експертиза з метою формування тієї множини найбільш переважних параметрів, що безпосередньо впливають на процес визначення МН. Формування множини кращих елементів пов'язане з необхідністю звуження множини всіх параметрів, що можливо при визначенні міри невідомості її елементів.

Множина параметрів, що впливають на визначення доцільного МН, має вигляд:

$U = \{\text{курсний кут винищувача, дальність виявлення ПЦ, маневр ПЦ курсом, тип ПЦ, висота ПЦ, маневр ПЦ висотою, швидкість ПЦ, склад групової ПЦ, рельєф місцевості, метеоумови, час доби, перешкоди, параметри руху винищувача, кутова швидкість винищувача}\}$.

Значення функції приналежності нечіткого бінарного відношення несупоряданої ($\mu_R(u_i, u_j)$) і супоряданої ($\mu_{R^s}(u_i, u_j)$) переваги, отримані в результаті постановки експертизи й обробки експертних даних, представлені в табл. 1, 2.

Таблиця 1
Функції приналежності нечіткого відношення несупоряданої переваги параметрів

	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}
$\mu_R(u_i, u_j) =$	α_1	1	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9
	α_2	0,4	1	0,7	0,4	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9
	α_3	0,3	0,3	1	0,3	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9
	α_4	0,4	0,6	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
	α_5	0,2	0,3	0,4	0,3	1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,9
	α_6	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5	1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,9
	α_7	0,1	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	1	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9
	α_8	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	1	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9
	α_9	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	1	0,5	0,8	0,8	0,9
	α_{10}	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1	0,7	0,7	0,9
	α_{11}	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	1	0,5	0,9
	α_{12}	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	1	0,9
	α_{13}	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	0,5	1
	α_{14}	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1

Таблиця 2
Функції приналежності нечіткого відношення супоряданої переваги параметрів

	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}
$\mu_{R^s}(u_i, u_j) =$	α_1	0	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
	α_2	0	0	0,4	0	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8
	α_3	0	0	0	0	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8
	α_4	0	0,2	0,4	0	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8
	α_5	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8
	α_6	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8
	α_7	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8
	α_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8
	α_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6	0,6	0,8
	α_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,4	0,4	0,8
	α_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8
	α_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8
	α_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8
	α_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Згідно виразів (2) та (3) $\mu_R^{nd}(u_i)$ має вигляд:

$\mu_R^{nd}(u_i) = \| 1/\text{курсний кут винищувача}; 0,8/\text{дальність виявлення ПЦ}; 0,8/\text{маневр ПЦ курсом}; 0,6/\text{тип ПЦ}; 0,4/\text{висота ПЦ}; 0,4/\text{маневр ПЦ висотою}; 0,3/\text{швидкість ПЦ}; 0,3/\text{склад групової ПЦ}; 0,2/\text{рельєф місцевості}; 0,2/\text{метеоумови}; 0,2/\text{час доби}; 0,2/\text{перешкоди}; 0,2/\text{параметри руху винищувача}; 0,2/\text{кутова швидкість винищувача} \|$.

Згідно виразів (2) та (3) $\mu_{R^s}^{nd}(u_i)$ має вигляд

$\mu_{R^s}^{nd}(u_i) = \| 1/\text{курсний кут винищувача}; 0,8/\text{дальність виявлення ПЦ}; 0,8/\text{маневр ПЦ курсом}; 0,6/\text{тип ПЦ}; 0,4/\text{висота ПЦ}; 0,4/\text{маневр ПЦ висотою}; 0,3/\text{швидкість ПЦ}; 0,3/\text{склад групової ПЦ}; 0,2/\text{рельєф місцевості}; 0,2/\text{метеоумови}; 0,2/\text{час доби}; 0,2/\text{перешкоди}; 0,2/\text{параметри руху винищувача}; 0,2/\text{кутова швидкість винищувача} \|$.

Нехай рівень невідомості параметрів $\alpha > 0,3$. Тоді множина параметрів, що безпосередньо впливають на процес визначення МН винищу-

вача в тактично вигідне положення відносно ПЦ, з якого можливе здійснення успішної її атаки, розташовуються в порядку зменшення їхньої важливості: $U_f = \{1/\text{курсний кут винищувача}; 0,8/\text{дальність виявлення ПЦ}; 0,8/\text{маневр ПЦ курсом}; 0,6/\text{тип ПЦ}; 0,4/\text{висота ПЦ}; 0,4/\text{маневр ПЦ висотою}\}$.

Таким чином, зі сформованої множини параметрів, що впливають на визначення доцільного методу наведення, найбільший вплив на виведення винищувача в тактично вигідне положення відносно ПЦ противника здійснюють параметри: курсовий кут винищувача, дальність виявлення ПЦ, кут маневру ПЦ курсом, тип і висота ПЦ, значення маневру висотою.

Висновки

Визначення МН 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. Невизначеність, динамічність повітряної обстановки, часові обмеження, значні об'єми та невизначеність інформації, що характеризує дії ПЦ, визначають зростання вимог до обґрунтованості рішення щодо виводу винищувача в тактично вигідне положення відносно ПЦ для здійснення успішної її атаки.

Для визначення МН винищувача на ПЦ необхідно враховувати множину параметрів. Врахування множини параметрів, що впливають на визначення доцільного МН дозволяє ОПР сформулювати обґрунтоване рішення щодо виводу винищувача в тактично вигідне положення відносно ПЦ. В умовах нестабільної невизначеності параметрів, що характеризують повітряну обстановку під час ведення бойових дій та поведінку ПЦ, їх прогнозування і форму-

вання множини, яку необхідно враховувати для виводу винищувача в тактично вигідне положення відносно ПЦ для здійснення успішної її атаки, може будуватися після постановки експертизи та обробки експертних даних. Обробка результатів експертизи дозволяє перейти до бінарного відношення суворої переваги та визначити міри невідомості елементів для упорядкування їх за рівнями невідомості.

В результаті постановки експертизи й обробки експертних даних вирішена задача формування множини найбільш переважних параметрів, що безпосередньо впливають на процес визначення методу наведення винищувача на ПЦ, а саме: курсовий кут винищувача, дальність виявлення ПЦ, кут маневру ПЦ курсом, тип і висота ПЦ, значення маневру висотою.

Список літератури

1. *Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра: монография / В.К.Бабич, Л.Е. Баханов, Г.П.Герасимов и др.; под ред. Е.А.Федосова. – М.: Дрофа, 2005. – 815 с.*
2. *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.*
3. *Управление полетами в частях авиации Вооруженных Сил СССР: методическое пособие. – М.: Изд-во МО СССР, 1985. – 198 с.*
4. *Горощенко Л.Б. Принципы автоматизации управления боевыми действиями истребительной авиацией: учебное пособие / Л.Б. Горощенко. – М.: Воениздат, 1979. – 134 с.*
5. *Искусственный интеллект: справочник в 3-х книгах. Книга 2. Модели и методы / Под ред. Д.А.Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.*
6. *Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10-ти томах. Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф.Уткина, Ю.В.Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.*

Надійшла до редколегії 21.11.2006

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫБОР МЕТОДА НАВЕДЕНИЯ ИСТРЕБИТЕЛЯ НА ВОЗДУШНУЮ ЦЕЛЬ

А.И. Тимочко, Н.А. Корольюк, М.В. Науменко, Б.В. Бакуменко

Рассматривается подход определения наиболее предпочтительных параметров, влияющих на выбор метода наведения истребителя на воздушную цель, на основе постановки экспертизы и обработки экспертных данных. Полученные по результатам обработки значения компонент функции принадлежности множеству параметров, влияющих на определение целесообразного метода наведения истребителя на воздушную цель, позволяют упорядочить ее элементы по уровням их недоминируемости.

Ключевые слова: метод наведения, нечеткое описание, лицо, которое принимает решения, нечеткие отношения преимуществ.

DEFINITION OF THE PARAMETERS INFLUENCING THE CHOICE OF THE METHOD OF PROMPTING OF THE FIGHTER ON THE AIR TARGET

A.I. Timochko, N.A. Korolyuk, M.V. Naumenko, B.V. Bakumenko

The approach of definition of the most preferable parameters influencing a choice of a method of prompting of a fighter on an air target, on the basis of statement of examination and processing of expert data is considered. The values received by results of processing a component of function of an accessory to set of the parameters influencing definition of an expedient method of prompting of a fighter on an air target, allow to order its elements on their levels not surpassing.

Keywords: aiming method, unclear description, person, which makes decisions, unclear relations of advantages