

УДК 681.51:623.592

В.Г. Чернов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ ПОЛЬОТУ ВИНИЩУВАЧА НА ПЕРЕХОПЛЕННЯ ПОВІТРЯНОЇ ЦІЛІ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАННЯ НАВЕДЕННЯ МЕТОДОМ «МАНЕВР»

Запропонований спосіб визначення раціональних траєкторій польоту винищувача для забезпечення атаки повітряної цілі при вирішенні завдання наведення методом «маневр». Визначаються параметри наведення винищувача, положення точки початку розвороту для виходу винищувача в задане положення відносно повітряної цілі, що забезпечує її виявлення і атаку. Обґрунтовано вирішення завдання наведення методом «маневр» відносно заданого рубежу введення винищувача у бій.

**Ключові слова:** раціональна траєкторія польоту, наведення винищувача, вирішення завдання наведення, метод наведення «маневр», повітряна ціль, офіцер бойового управління.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Наведення винищувача на повітряну ціль є найбільш загальним випадком завдання зближення літального апарата з рухомою ціллю за раціональною траєкторією. Специфіка вирішення цього завдання полягає в такому: урахування характеристик озброєння винищувача вимагає виводу його у визначену область простору поблизу цілі; управління винищувачем здійснюється з наземного пункту управління; повітряна ціль в загальному випадку за рахунок маневрування прагне запобігти зустрічі з винищувачем.

Сутність наведення полягає в управлінні рухом винищувача для виводу його в тактично вигідне положення відносно цілі, що забезпечує виявлення її за допомогою бортових засобів (або візуально) і виконання атаки [1, 2]. Наведення здійснюється розрахунками командних пунктів і пунктів наведення відповідно до рішення командира, що управляє бойовими діями, на підставі інформації, що надходить від радіолокаційних засобів.

Залежно від озброєння винищувачів, їх положення в просторі відносно цілі, висоти й швидкості її польоту, застосування ціллю радіолокаційних засобів або маневру на маршруті наведення може здійснюватися різними методами. Основними з них є: пряме зближення, паралельне зближення, погоня, триточковий і метод наведення маневр. Методи наведення відрізняються один від іншого характером закономірності руху винищувача: чи повинен він виконувати політ за прямолінійною, криволінійною траєкторією або за траєкторією, що складається із прямолінійних і криволінійних ділянок. Розгляд методів наведення й відповідних їм траєкторій винищувача становить основний зміст теорії наведення винищувачів на повітряні цілі [1, 2].

Для того щоб усвідомити принципи наведення й успішно оволодіти методикою їх застосування,

необхідно знати основні положення теорії наведення. Ці знання дозволяють чітко представити, в які умови може бути поставлений винищувач командами наведення, визначити, при яких обставинах відбудеться зустріч його з ціллю, зробити оцінку точності й ефективності наведення. А також ці знання допомагають уміло вирішувати нові практичні завдання.

Тому актуальним є розрахунок раціональних траєкторій польоту винищувача для забезпечення атаки повітряної цілі за мінімальний час, виходячи із взаємного положення винищувача і повітряної цілі.

**Аналіз літератури.** У роботі [3] розглянуто вирішення задачі наведення методом «маневр» з використанням апроксимуючого програмування. Виконана постановка й запропонований алгоритм вирішення задачі перехоплення цілі по мінімальному заглибленню методом наведення «маневр».

У роботі [2] вирішена задача наведення методом «маневр» і побудована траєкторія наведення.

Однак у роботах недостатньо вивчені питання формування раціональної траєкторії польоту винищувача для перехоплення повітряної цілі при вирішенні задачі наведення методом «маневр» для забезпечення атаки повітряної цілі за мінімальний час.

**Ціль статті.** Визначення раціональних траєкторій польоту винищувача для забезпечення атаки повітряної цілі за мінімальний час при вирішенні задачі наведення методом «маневр».

### Основна частина

Вирішення задачі наведення винищувача на повітряну ціль методом «маневр» полягає у визначенні курсу винищувача в точку початку розвороту ( $K_B$ ), часу наведення ( $t$ ) і довжини шляху ( $S_B$ ) винищувача.

Нехай відомі координати цілі (В) і винищувача (А), який необхідно вивести на попутний або зустрічний курс із повітряною ціллю на дистанцію  $d$  позаду або попереду неї по закінченню розвороту.

Вихідними даними для вирішення задачі наведення будуть: швидкість цілі й винищувача ( $V_{ц}, V_{в}$ ); вихідна дальність між ціллю й винищувачем ( $D$ ); курс цілі ( $K_{ц}$ ); курсовий кут винищувача ( $\Psi_{в}$ ); курсовий параметр ( $z$ ); відстань між точкою виходу винищувача з розвороту ( $K$ ) і проекцією координати винищувача ( $x_{в_0}$ ) на вісь  $X$  ( $p$ ); дисти-

нція виходу винищувача на ціль ( $d$ ); крен при виконанні основного розвороту ( $\beta$ ).

Припустимо, що задача наведення має рішення і кут  $\alpha$  нам відомий (рис. 1). Тоді кут  $\angle PEK = \pi/2 - \alpha$ , кут  $\angle POK = 2\pi - \pi/2 - \pi/2 - \angle PEK = \pi/2 + \alpha$ , так як  $EK$  і  $PE$  – дотичні до окружності, то  $\angle EKO = \angle EPO = \pi/2$ .

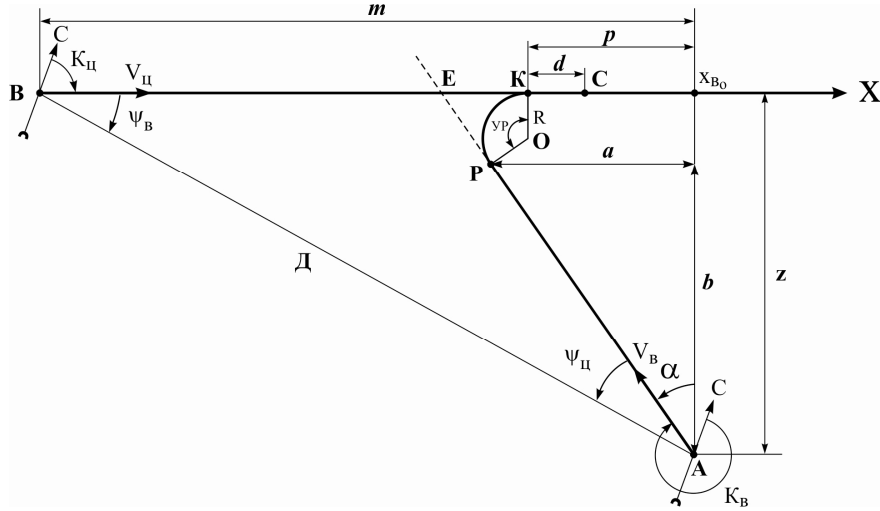


Рис. 1. Метод наведення «маневр»

Нехай кут  $\angle POK$  – це кут розвороту винищувача ( $KP$ )

$$KP = \pi/2 + \alpha.$$

Тоді довжина дуги  $PK$  дорівнює  $\cup PK = KP \cdot R$ .

Знайдемо загальну довжину шляху винищувача ( $S_{в}$ ) від його місця розташування ( $A$ ) до точки закінчення розвороту ( $K$ ):

$$S_{в} = AP + \cup PK = AP + KP \cdot R, \quad (1)$$

де  $AP = AE - PE = z/\cos \alpha - PE$ .

З  $\triangle PEO$  знаходимо

$$\frac{PE}{PO} = \operatorname{tg} \frac{KP}{2}.$$

З рис. 1. видно, що  $PO = R$ .

$$\text{Тоді, } PE = R \cdot \operatorname{tg} \frac{KP}{2}$$

$$\text{Отже } AP = z/\cos \alpha - R \cdot \operatorname{tg}(KP/2). \quad (2)$$

Тепер вираз (1) прийме вигляд

$$S_{в} = KP \cdot R + z/\cos \alpha - R \cdot \operatorname{tg}(KP/2). \quad (3)$$

Знаючи загальну довжину шляху винищувача ( $S_{в}$ ), знайдемо час польоту винищувача по заданій траєкторії з виразу (4):

$$t_0 = \frac{S_{в}}{V_{в}} = \frac{KP \cdot R + z/\cos \alpha - R \cdot \operatorname{tg}(KP/2)}{V_{в}}. \quad (4)$$

Отже, знаючи  $R$  і  $\alpha$ , ми можемо визначити положення точки початку розвороту (точку  $P$ ), тому що довжина шляху винищувача до точки початку розвороту (ділянка  $AP$ ) відома (2).

Для цього визначимо деякі параметри.

Нехай початкова координата винищувача  $x_{в_0}$ , що спроекована на вісь  $X$  дорівнює 0.  $x_{в_0} = 0$ .

Тоді початкова координата цілі  $x_{ц_0}$  дорівнює:

$$x_{ц_0} = -\sqrt{D^2 - z^2} = -m; \quad m = \sqrt{D^2 - z^2}.$$

На кінцевому етапі наведення координата винищувача  $x_{в}$  в момент виходу його на ціль після розвороту й координата цілі  $x_{ц}$  в момент виходу на неї винищувача за час  $t$  визначаються в такий спосіб:

$$x_{в_t} = -AP \cdot \sin \alpha + R \sin KP =$$

$$-\sin \alpha (z/\cos \alpha - R \cdot \operatorname{tg}(KP/2)) + R \sin KP,$$

$$x_{ц_t} = -m + V_{ц} t.$$

У точці  $K$  повинне виконуватися умова:

$$x_{в_t} + d = x_{ц_t}.$$

Визначимо точку початку розвороту ( $P$ ), обчисливши  $a$  і  $b$ :

$$a = AP \sin \alpha; \quad b = AP \cos \alpha;$$

$$a = z \cdot \operatorname{tg} \alpha - R \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2} \right); \quad (5)$$

$$b = z - R \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2} \right). \quad (6)$$

Знаючи параметри  $a$  і  $b$ , здійснимо вирішення задачі наведення методом «маневр» відносно заданого рубежу введення винищувачів у бій (т.  $K$ ).

Для вирішення задачі наведення методом «маневр» відносно заданого рубежу введення винищувачів у бій необхідно вирішити зворотну задачу (так як при заданому куті  $\alpha$  ми зможемо знайти т.  $K$ ).

Координата винищувача в момент виходу його на лінію шляху цілі після розвороту (т. К) на час  $t$  складає:

$$x_{vt} = \Delta x ;$$

$$\Delta x = -\alpha + R \cdot \cos \left( \text{KP} - \frac{\pi}{2} \right) =$$

$$= -z \cdot \text{tg} \alpha - R \cdot \sin \alpha \cdot \text{tg} \left( \frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) + R \cdot \cos \alpha.$$

Положення винищувача в момент виходу його на лінію шляху цілі після виконання розвороту ( $\Delta x$ ) визначає величина  $p$ , тобто відстань від проекції координати винищувача ( $x_{в_0}$ ) на вісь  $X$  до точки виходу винищувача з розвороту (т. К).

Таким чином  $-p = \Delta x$ . Тоді,

$$-p = \Delta x = -z \cdot \text{tg} \alpha - R \cdot \sin \alpha \cdot \text{tg} \left( \frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) + R \cdot \cos \alpha.$$

Вирішимо це рівняння відносно кута  $\alpha$ . Зробимо заміну  $\text{tg} \frac{\alpha}{2} = t$ , виконаємо алгебраїчні перетворення й приведемо рівняння, що вийшло, до вигляду полінома. У результаті відносно невідомої одержимо рівняння четвертого ступеня:

$$t^4 (p - R) + t^3 (2z - 2R) + t^2 (-2R) + t(2z - 2R) - p - R = 0. \quad (7)$$

Це рівняння не вирішується в загальному вигляді й для перевірки всього рішення необхідно, маючи чисельно задані параметри, одержати розумні результати, скориставшись чисельними методами.

Одержавши  $t$  і відкинувши очевидно нефізичні рішення, одержимо.

$$\alpha = 2 \arctg t. \quad (8)$$

Перевіримо вирішення задачі наведення методом «маневр» для деяких параметрів (табл. 1).

Таблиця 1

Результати вирішення задачі наведення методом «маневр»

$z$	$V_v$	$p$	$R$	$\alpha$ , ра.,	$\alpha$ , град.	$a$	$b$
300	900	100	6,3	0,34	19,9	105,9	291,4
300	900	50	6,3	0,19	10,8	56,28	292,4
300	1100	70	9,5	0,26	15,3	78,9	287,9
300	1100	150	9,5	0,50	28,9	158,3	285,8

## Висновки

Таким чином, запропонований спосіб вирішення задачі наведення методом «маневр» для визначення раціональних траєкторій польоту винищувача для забезпечення атаки повітряної цілі за мінімальний час, виходячи із взаємного положення винищувача й повітряної цілі.

## Список літератури

1. *Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня и завтра: моногр. / В.К. Бабич, Л.Е. Баханов, Г.П. Герасимов и др.; под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2004. – 816 с.*
2. *Наведение самолетов на воздушные и наземные цели. Ч 1. Теория наведения на воздушные цели: учебник / Л.Б. Слуцкер, В.И. Самойлов, Ш.С. Самаржанян; под ред. В.Н. Каменского. – М.: ВИ, 1972. – 168 с.*
3. *Бушин С.В. Решение задачи наведения методом «маневр» с использованием аппроксимирующего программирования / С.В. Бушин, Н.А. Крицына, Ю.П. Кулябичев // Информатика и процессы управления. – МИФИ, 2005. – Т. 12. – С. 13-15.*

Надійшла до редколегії 12.05.2016

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА ИСТРЕБИТЕЛЯ НА ПЕРЕХВАТ ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ НАВЕДЕНИЯ МЕТОДОМ «МАНЕВР»

В.Г.Чернов

*Предложен способ определения рациональных траекторий полета истребителя для обеспечения атаки воздушной цели при решении задачи наведения методом «маневр». Определяются параметры наведения истребителя, положение точки начала разворота для выхода истребителя в заданное положение относительно воздушной цели обеспечивающее ее обнаружение и атаку. Обосновано решение задачи наведения методом «маневр» относительно заданного рубежа ввода истребителя в бой.*

**Ключевые слова:** рациональная траектория полета, наведение истребителя, решение задачи наведения, метод наведения «маневр», воздушная цель, офицер боевого управления.

## DETERMINATION OF RATIONAL FLIGHT TRAJECTORY FIGHTER TO INTERCEPT AERIAL TARGET IN SOLVING THE PROBLEM HOMING BY THE METHOD «MANEUVER»

V.G. Chernov

*This article provides a method for determining the rational fighter flight trajectories for attack air targets in solving the problem by pointing «maneuver». The parameters fighter guidance, position the start point turn to exit the fighter into a predetermined position with respect to providing air target detection and attack her. Informed decisions guided by objectives «maneuver» with respect to a given foreign fighters entering into battle.*

**Keywords:** rational flight trajectory, fighter homing, decision guidance tasks, «maneuver» guidance method, aerial target, combat control officer.