

## НАВЕДЕННЯ ВИНИЩУВАЧІВ НА ПОВІТРЯНІ ЦІЛІ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА ПРОЦЕСУ БОЙОВОГО УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЄЮ

Н.О. Королюк, О.І. Тимочко  
(Харківський університет Повітряних Сил)

*Проводиться аналіз позитивних і негативних властивостей методів наведення, які слід враховувати в конкретних умовах, їх переваги і недоліки з точки зору реалізації в автоматизованих системах, а також в перспективних системах підтримки прийняття рішень.*

### *бойове управління авіацією, повітряна ціль, методи наведення*

**Вступ.** Однією з важливих задач, які вирішує винищувальна авіація, є боротьба з повітряними об'єктами противника. Наведення винищувачів може здійснюватися різними методами, головними з яких є: паралельне зближення, пряме зближення, погоня, трьохточковий метод, маневр, які мають на меті забезпечити вивід винищувачів у тактично вигідне положення відносно повітряної цілі на дальність її видимості бортовими засобами або виявлення візуально.

**Постановка проблеми у загальному вигляді. Аналіз літератури.** Сучасний процес розв'язання задач наведення є автоматизованим у відповідній системі управління. Для здійснення перехоплення у незалежності від форми, способу й умов рішення необхідні такі вихідні дані: лінійні ( $V_{\text{ц}}$ ,  $V_{\text{в}}$ ), кутові ( $\omega_{\text{ц}}$ ,  $\omega_{\text{в}}$ ) швидкості, взаємне положення винищувача й повітряної цілі (координати), курс ( $V_{\text{ц}}$ ) і висота ( $H_{\text{ц}}$ ) польоту повітряної цілі. У процесі розв'язання задачі необхідно визначити: курс польоту винищувача ( $\gamma_{\text{в}}$ ) на перехоплення, режим, профіль і час польоту винищувача до зустрічі з повітряним об'єктом, шлях, що буде пройдений ціллю до точки зустрічі і положення цієї точки [1].

Аналітичне розв'язання задачі дозволяє провести аналіз умов зближення винищувача з повітряною ціллю і відпрацювати практичні методи розв'язання задачі наведення, котрі вимагають менших витрат часу. Як найбільш точне, воно застосовується для аналізу і оцінки результатів наведення [2].

Методи наведення розрізняються між собою закономірностями, покладеними в характер руху винищувача на перехоплення, і способами визна-

чення курсу польоту винищувача, та створюють порядок зміни напрямку польоту винищувача для забезпечення його зустрічі з повітряною ціллю [3]. З точки зору складності виконання необхідних розрахунків, від яких залежать умови польоту екіпажа перехоплювача, необхідно проаналізувати і виділити основні переваги та недоліки методів наведення.

**Мета статті** – провести аналіз позитивних і негативних властивостей, які слід враховувати в конкретних умовах, переваги і недоліки методів наведення з точки зору реалізації в автоматизованих системах, а також в перспективних системах підтримки прийняття рішень.

### Аналіз методів наведення авіації на повітряні цілі.

#### 1. Метод паралельного зближення.

Припустимо, що ціль рухається прямолінійно та рівномірно, тобто виконується умова  $V_{Ц} = \text{const}$ ,  $\omega_{Ц} = 0$ , а швидкість винищувача залишається постійною  $V_{В} = \text{const}$ . Необхідно визначити напрямок польоту винищувача, для того щоб починаючи з даного моменту, він, рухаючись також прямолінійно і рівномірно, зустрівся з повітряною ціллю в точці С. Зустріч відбудеться в тому випадку, якщо напрямок вектору відносної швидкості зближення ( $V_{Від}$ ) пройде через повітряну ціль (рис. 1).

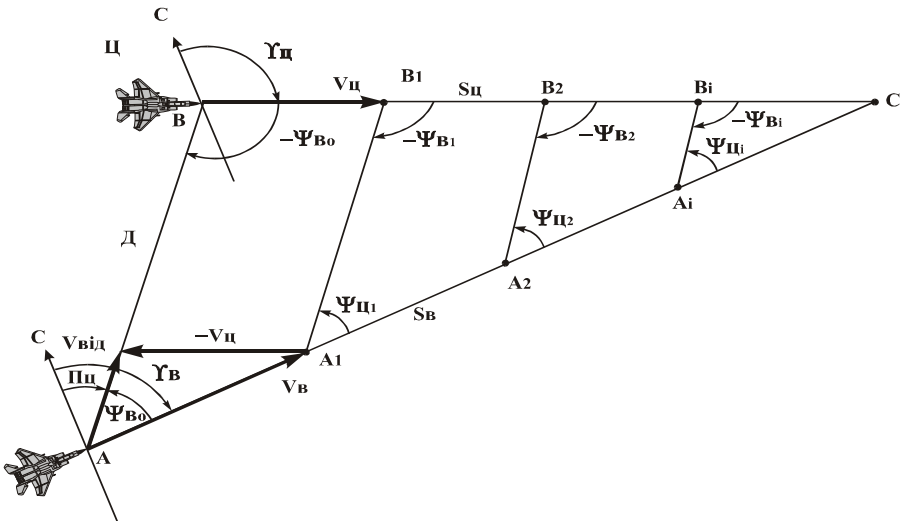


Рис. 1. Метод паралельного зближення

При умові постійності швидкостей це можливо, якщо зберігаються постійними величини курсових кутів ( $\psi_{В} = \text{const}$ ,  $\psi_{Ц} = \text{const}$ ) та  $\omega_{В} = 0$ . При розв'язанні задачі наведення цим методом визначається курс ( $\gamma_{В}$ ) і

час польоту винищувача ( $t_B$ ) до точки зустрічі і положення самої точки С:

$$\gamma_B = \psi_{Ц} + \Pi_{Ц}, \quad (1)$$

$$\sin \psi_{Ц} = \frac{V_{Ц}}{V_B} \sin \psi_B, \quad (2)$$

де  $\Pi_{Ц}$  – пеленг цілі.

Рівняння (2) є основною кінематичною залежністю, що характеризує метод паралельного зближення. Ця залежність свідчить, що незалежно від відстані між повітряною ціллю і винищувачем, останній повинен рухатись у точку зустрічі, маючи повітряну ціль під постійним курсовим кутом, який визначається відношенням швидкостей і курсовим кутом винищувача [1].

Щоб визначити час польоту до точки зустрічі, необхідно знайти відносну швидкість зближення ( $V_{Від}$ ) і поділити на неї початкову дальність ( $D$ ) між літаками

$$t = \frac{D}{V_{Від}}. \quad (3)$$

#### ***Переваги метода.***

1. Траєкторія польоту винищувача при наведенні його на повітряну ціль методом паралельного зближення є прямою. Тому зустріч винищувача з повітряною ціллю відбувається в короткий час.

2. Прямолінійність траєкторії обґрунтовується постійним курсом, відсутністю кренів, тобто є простою з точки зору роботи льотчика в процесі наведення.

3. Під час зближення повітряна ціль знаходиться під постійним курсовим кутом відносно винищувача, в зв'язку з чим пошук її винищувачем може бути цілеспрямованим.

4. Вихід винищувача на повітряну ціль може виникнути з будь-якого напрямку, тому що початкове відносне положення повітряної цілі та винищувача також може бути будь-яким.

5. Метод можливо також застосовувати при великих віддаленнях між літаками, що дозволить в короткий час зблизити винищувач з повітряною ціллю, а потім продовжити наведення іншим методом.

#### ***Недоліки метода.***

1. Вивести винищувач на повітряну ціль у визначене, наперед задане положення відносно неї даним методом неможливо.

2. Великі відносні швидкості зближення на зустрічних та на зустрічно-пересічних курсах вимагають завчасного маневру винищувача, щоб

він не зіткнувся з ціллю, і виключають можливість застосування звичайного нерухомого стрілково-гарматного озброєння.

3. Метод можна застосовувати лише в тому випадку, коли відомі не тільки координати літака, але і їх параметри руху.

4. Метод має досить широке розповсюдження у практиці наведення, але з точки зору безпеки наведення більш доцільно використовувати метод наведення – пряме зближення.

## 2. Метод наведення – пряме зближення.

Метод – пряме зближення полягає у тому, що командами із землі винищувач по прямолінійній траєкторії виводиться на задану дальність від повітряної цілі із заданим курсовим кутом ( $\psi_{цк}$ ) (рис. 2). Відносно повітряної цілі винищувач, що наводиться методом прямого зближення, переміщується по напрямку вектора відносної швидкості ( $V_{від}$ ) так, що на заданій дистанції ( $\Delta l_0$ ) кінцевий курсовий кут повітряної цілі ( $\psi_{цк}$ ) досягає заданої величини, яку в наступному будемо приймати рівній нулю.

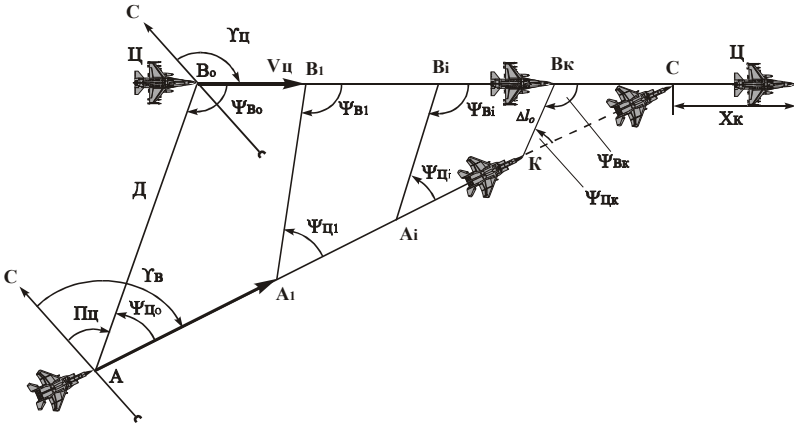


Рис. 2. Метод – пряме зближення

Час польоту винищувача [4]

$$t = \frac{\sqrt{(m\Delta l_0 + D \cos \psi_B)^2 + (D^2 - \Delta l_0^2)(m^2 - 1)} - (m\Delta l_0 + D \cos \psi_B)}{V_{ц}(m^2 - 1)}, \quad (4)$$

де  $m = \frac{V_B}{V_{ц}}$ ;  $D$  – дальність між винищувачем та ціллю.

Курс польоту винищувача визначається наступним чином:

$$\gamma_B = \Pi_{ц} + \psi_{цк}; \quad (5)$$

$$\sin \psi_{\text{ц}} = -\frac{1}{m} \sin \psi_{\text{в}} \frac{1}{1 + \frac{\Delta l_0}{V_{\text{в}} t}}. \quad (6)$$

### ***Переваги методу наведення – пряме зближення.***

1. Траєкторія польоту винищувача при наведенні на повітряну ціль є пряма. Зустріч винищувача з повітряною ціллю відбувається у найкоротший час.

2. Прямолінійність траєкторії обумовлює постійність курсу, відсутність кренів, а значить і простоту роботи льотчика у процесі наведення.

3. У багатьох випадках даний метод дозволяє здійснювати наведення на повітряні цілі, швидкість яких перевищує швидкість винищувача.

4. При наведенні цим методом створюються умови безпеки від зіткнення літаків, тому що винищувач проходить позад повітряної цілі на визначеній відстані.

5. Вихід винищувача на повітряну ціль може відбутися з будь-якого напрямку, тому що вивести винищувач на повітряну ціль з визначеного, наперед заданого напрямку неможливо.

### ***Недоліки метода.***

1. Метод застосовується лише в тих випадках, коли винищувач виявився в задній півсфері повітряної цілі або був туди виведений навмисно.

2. Метод вимагає виміру координат повітряної цілі та винищувача і параметрів їх руху.

### **3. Метод наведення – погоня.**

Сутність методу погоня полягає в тому, що командами із командного пункту (пункту наведення) або за допомогою бортових засобів вектор швидкості винищувача (чи його подовжня вісь) постійно направляєтся на повітряну ціль. У процесі наведення винищувач переміщається за криволінійною траєкторією – кривою погоні (рис. 3).

Курсовий кут повітряної цілі у процесі наведення дорівнює нулю. За причини, що подовжня вісь винищувача спрямована на повітряну ціль, то він виводиться у задню напівсферу повітряної цілі. Тому метод погоня застосовується у тих випадках, коли швидкість винищувача більше швидкості повітряної цілі [1].

Аналітичне розв'язання задачі наведення полягає у визначенні поточного значення курсу винищувача, часу його польоту і точки зустрічі його з повітряною ціллю. Оскільки курсовий кут повітряної цілі в процесі наведення дорівнює нулю, то курс винищувача ( $\gamma_{\text{в}}$ ) для польоту по кривій погоні увесь час повинний бути рівним пеленгу повітряної цілі ( $\Pi_{\text{ц}}$ )

$$\gamma_{\text{в}} = \Pi_{\text{ц}}. \quad (7)$$

Час польоту за кривою погоні визначається з диференціальних рівнянь і після інтегрування одержуємо

$$t = \frac{D_0(m - \cos \psi_{B0})}{V_{\Pi}(m^2 - 1)} \quad (8)$$

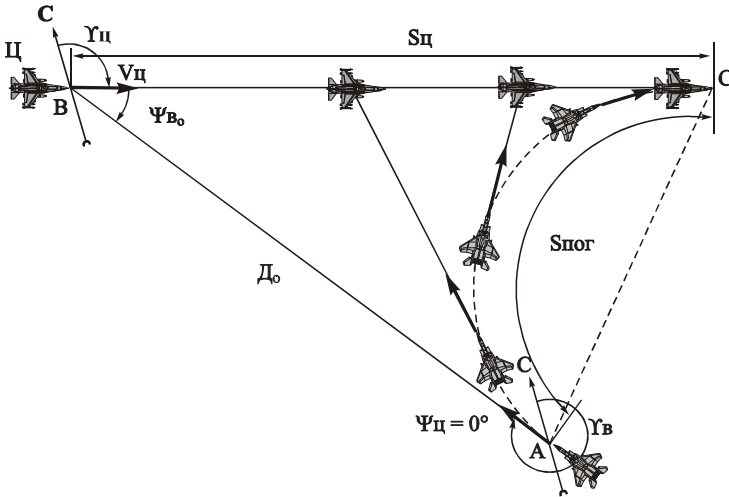


Рис. 3. Метод наведення – погоня

З формули випливає, що для визначення часу польоту винищувача до точки зустрічі необхідно знати швидкості повітряної цілі і винищувача, відношення їхніх швидкостей ( $m$ ), вихідну відстань ( $D_0$ ) до моменту початку наведення і початковий курсовий кут винищувача ( $\psi_{B0}$ ). Довжина шляху цілі до точки зустрічі дорівнює

$$S_B = V_B t = \frac{m D_0 (m - \cos \psi_{B0})}{(m^2 - 1)}. \quad (9)$$

Аналогічно довжина шляху винищувача по кривій погоні дорівнює

$$S_{\Pi} = V_{\Pi} t = \frac{m D_0 (m - \cos \psi_{B0})}{(m^2 - 1)}. \quad (10)$$

### **Переваги метода.**

1. Простота визначення курсу польоту винищувача і можливість забезпечення пошуку повітряної цілі винищувачем наприкінці наведення, тому що курсовий кут повітряної цілі постійний і дорівнює нулю.

2. Безпосередньо для наведення винищувача на великих відстанях до повітряної цілі метод – погоня може застосовуватися на початку наведення, коли дані про повітряну ціль не стійкі і по них не можна визначити напрямок і швидкість її польоту.

3. За причини, що курс польоту винищувача не залежить від параметрів руху повітряної цілі, є можливість найбільш просто і швидко направити винищувач у район місцезнаходження повітряної цілі, а потім у зручний момент перейти до іншого методу наведення. Таким чином, щоб застосувати метод погоні, досить визначити тільки координати повітряної цілі і винищувача.

#### **Недоліки метода.**

1. З погляду пілотування це найбільш важко виконуемий метод, тому що курс і крен винищувача увесь час змінюються аж до значень, що перевищують припустимі.

2. Метод застосовується тільки у випадку, коли швидкість винищувача більше швидкості повітряної цілі і дозволяє вивести винищувач на повітряну ціль тільки в її задню півсферу на попутні курси.

3. При наведенні цим методом значна область простору навколо повітряної цілі, тобто майже вся передня півсфера, не може бути до кінця використана для наведення. Ця область збільшується при маневрі повітряної цілі курсом.

4. У порівнянні з іншими методами довжина траєкторії винищувача більше, а це приводить до збільшення часу наведення і, отже, до програшу в рубежах введення винищувачів у бій.

#### **4. Метод наведення – маневр.**

Сутність методу полягає в тому, що винищувач командами із землі спрямовується у точку розвороту з наступним виводом його в тактично вигідне положення, що забезпечує виявлення і знищення повітряної цілі із заданого напрямку (рис. 4).

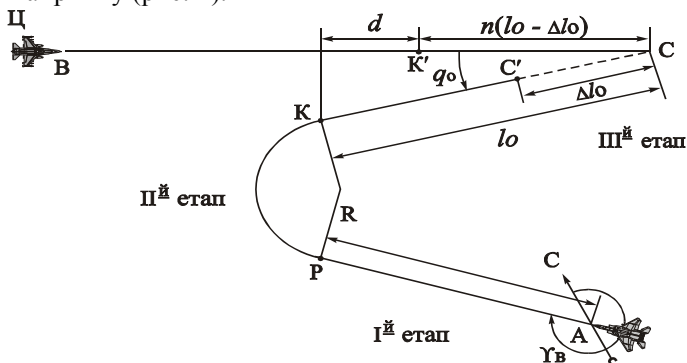


Рис. 4. Етапи наведення винищувачів на повітряну ціль методом маневр

Ціль і перехоплювач знаходяться в одній горизонтальній площині, їхні швидкості постійні і рівні відповідно  $V_{ц}$  і  $V_B$ .

Введемо позначення:  $D_0$  – дальність "винищувач - ціль" на початку наземного наведення;  $q_0$  – кут зближення з ціллю (або ракурс);  $R$  – радіус розвороту;  $l_0$  – ділянка довжини після розвороту, призначена для виправлення помилок наземного наведення;  $S_{\Pi}$  – частина траєкторії винищувача до точки початку розвороту;  $S_{\Pi}$  – шлях, що пройдений ціллю від початку наземного наведення до точки зустрічі (перехоплення);  $t$  – балансовий час наведення.

Два основних рівняння методу наведення маневр [1]:

$$V_{\Pi} t = D_0 \cos \psi_B - S_{\Pi} \cos(\psi_B + \psi_{\Pi}) + l_0 \cos q_0 + sR(\sin(\psi_B + \psi_{\Pi}) - \sin q_0); \quad (11)$$

$$V_{\Pi} t \cos \psi_B = S_{\Pi} \cos \psi_{\Pi} + sR(\sin(\psi_B + q_0) - \sin \psi_{\Pi}) + l_0 \cos(\psi_B + q_0) - D_0. \quad (12)$$

Шлях, що пройдений винищувачем за балансовий час наведення ( $t$ ), можна виразити за формулою

$$V_B t = S_{\Pi} + s(Q - q_0)R + l_0, \quad (13)$$

де  $s \equiv \text{sign}(Q - q_0) = \text{sign}(\pi - \psi_{\Pi} - \psi_B - q_0)$  характеризує знак виразу  $Q - q_0$  (сигнатура): коли  $Q > q_0$ , замість ( $s$ ) у формулах (11) і (12) ставиться знак "+", коли  $Q < q_0$ , ставиться знак "-":

$$S_{\Pi} = V_B t - s(Q - q_0)R - l_0; \quad (14)$$

$$S_{\Pi} = \frac{sR(\sin(\psi_B + q_0) - \sin \psi_{\Pi} - (\pi - \psi_B - \psi_{\Pi} - q_0)\cos \psi_B)}{(\cos \psi_B + m \cos \psi_{\Pi})} - \frac{l_0(\cos(\psi_B + q_0) + \cos \psi_{\Pi})D_0}{(\cos \psi_B + m \cos \psi_{\Pi})}; \quad (15)$$

$$S_{\Pi} = \frac{sR(\sin(\psi_B + \psi_{\Pi}) - \sin q_0 + (\pi - \psi_B - \psi_{\Pi} - q_0)\cos(\psi_B + \psi_{\Pi}))}{1 + m \cos(\psi_{\Pi} + \psi_B)} + \frac{l_0(\cos q_0 + \cos(\psi_B + \psi_{\Pi}))D_0 \cos \psi_B}{1 + m \cos(\psi_{\Pi} + \psi_B)}. \quad (16)$$

Рівняння (15) і (16) зв'язують вісім змінних:  $S_{\Pi}$ ,  $D_0$ ,  $\psi_B$ ,  $R$ ,  $l_0$ ,  $q_0$ ,  $\psi_{\Pi}$ ,  $m$  шість з яких можуть бути обрані незалежними і тоді система (15) і (16) може бути розв'язана однозначно відносно двох залишившихся невідомих.

### ***Переваги метода.***

1. Метод – маневр є основним, як для приладового, так і для окомірного наведення сучасних винищувачів на повітряні цілі.

2. Метод забезпечує вивід винищувачів у задане положення відносно цілі, для досягнення високої ефективності застосування ними зброї і створення тактичної переваги у повітряному бою.



3. Можливість регулювання параметрів наведення дозволяють змінити траєкторію винищувачів і вивести їх на ціль з боку Сонця; в обхід зон радіоактивного зараження і т.д.

#### **Недоліки метода.**

1. Складність виконання даного методу. На різних етапах задача наведення вирішується по-різному, а сам метод має елементи інших методів наведення.

2. Для його використання необхідно визначити не тільки координати цілі, але і параметри її руху.

3. Додатковий час на виконання розвороту для виходу у задане положення відносно цілі, особливо на побіжні курси підводить до зростання глибини проникнення цілі, що в цілому погіршує тактичні можливості щодо перехоплення винищувачів супротивника. Додаткові витрати часу ще більше збільшуються за рахунок помилок висновку винищувача з розвороту.

4. Метод наведення маневр дуже піддається впливу маневру цілі, що вимагає застосування спеціальних заходів, а у ряді випадків необхідність переходу на інші методи.

**Висновок.** Таким чином, кожен з методів має переваги і недоліки, використання того чи іншого методу допускається в автоматизованій системі. Метод наведення може і повинен визначатися тактичною обстановкою, тактико-технічними даними і характеристиками системи озброєння винищувачів, досвідом офіцера бойового управління, перевагами льотчика у виборі того чи іншого метода, а також суб'єктивними факторами і зовнішніми умовами.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Горбатенко С.А., Макашов Э.М., Полушкин Ю.Ф., Шефтель Л.В. Расчет и анализ движения летательных аппаратов. Инженерный справочник. – М.: Машиностроение, 1971. – 352 с.
2. Булинский В.А. Динамика маневрирования самолета-истребителя в воздушном бою. – М.: Воениздат, 1980. – 315 с.
3. Неупоков Ф.К. Противовоздушный бой. – М.: Воениздат, 1989. – 262 с.
4. Математичне і програмне забезпечення автоматизованих систем управління. Навчальний посібник / Ю.В. Глебов, Б.І. Нізієнко, С.А. Войтович, І.М. Патрикєєв; за ред. Ю.В. Глебова. – Х.: ХВУ, 2003. – 208 с.

Надійшла 2.03.2005

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор О.Ю. Соколов,  
Національний аерокосмічний університет “Харківський авіаційний інститут”