

УДК 681.51:623.592

О.І. Тимочко, В.Г. Чернов, В.І. Сауляк, І.О. Гордєєв

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ ВИВОДУ ВИНИЩУВАЧА ІЗ РОЗВОРОТУ В ЗАДАНЕ ПОЛОЖЕННЯ ВІДНОСНО ЦІЛІ

Розглядається методика оцінки точності виводу винищувача із розвороту в задане положення відносно повітряної цілі. Ефективність знищення засобів повітряного нападу льотчиком суттєво залежить від надійної роботи офіцерів бойового управління під час наведення винищувачів. Помилки наведення приводять до неточного виводу винищувача із розвороту в задане положення відносно цілі. Це є можливою причиною зриву атаки повітряної цілі. Тому метою роботи є дослідження питань аналізу та оцінки точності виводу винищувача із розвороту в задане положення відносно повітряної цілі і розробка практичних рекомендацій офіцерам бойового управління щодо розпізнавання типу помилок та їх оперативного усунення в процесі наведення. Визначено поняття помилки наведення. Розглянуто процес виникнення та усунення помилок наведення лише у горизонтальній площині. Врахована курсова помилка наведення, зумовлена помилками визначення напрямку польоту цілі. Проаналізовані помилки, викликані несвоєчасністю початку розвороту винищувача з врахуванням характеру траєкторії другого етапу наведення. Розглянуті помилки наведення, викликані курсовою помилкою перед початком розвороту і визначенням швидкості цілі. Проведений аналіз наявних помилок та визначені сумарні помилки наведення. Для підвищення точності виходу винищувача із розвороту запропоновані два шляхи. Основним з них є управління креном винищувача на другому етапі наведення. У результаті регулювання крену протягом розвороту винищувача на кут порядку  $180^\circ$  помилки наведення можливо зменшити в два-три рази. Іншим шляхом збільшення точності наведення, використаним головним чином на малих висотах, є виконання розворотів зі значними перевантаженнями. Врахування можливих помилок офіцером бойового управління дозволить ефективно виконати поставлене бойове завдання.

**Ключові слова:** офіцер бойового управління, винищувач, наведення, точність виводу на ціль, помилки наведення, курсова помилка наведення, помилки виводу винищувача з розвороту.

### Вступ

Постановка проблеми. Сутність наведення полягає в управлінні рухом винищувача для виводу його в тактично вигідне положення відносно цілі, що забезпечує виявлення її за допомогою бортових засобів і виконання атаки [1–2].

У результаті вирішення завдання наведення на борт винищувача по лінії зв'язку передаються команди наведення, просторових цілевказівок та інформація про ціль. Завданням льотчика є точне виконання польоту по розрахованій траєкторії відповідно до одержуваних команд до зустрічі з ціллю. Після чого він самостійно приймає рішення на маневр для зближення з ціллю й ведення вогню по повітряному противнику [2].

Однак ефективність виконання бойового завдання льотчиком також суттєво залежить від умілої організації й надійної роботи офіцерів бойового управління (ОБУ).

Помилки ОБУ приводять до неточного виводу винищувача із розвороту в задане положення відносно цілі, що може призвести до зриву атаки повітряної цілі і невиконання бойового завдання [3].

Виходячи з відзначеного, актуальним є питання аналізу та оцінки точності виводу винищувача із розвороту в задане положення відносно повітряної

цілі. На підставі цього необхідно обґрунтувати методичні рекомендації особам бойового розрахунку командних пунктів управління авіацією для розпізнавання типу помилки та її оперативного усунення в процесі наведення.

**Аналіз літератури.** В роботах [2–6] розглянуто процес наведення винищувача на повітряну ціль, розкрито сутність різних методів наведення при формуванні траєкторії наведення винищувачів на повітряні цілі, їх переваги на недоліки. При розгляді методів наведення враховувались лише ідеальні умови та безпомилкові дії льотчика та ОБУ. Разом з тим у відомих роботах не в повному обсязі враховувалось помилки наведення у горизонтальній та вертикальній площині.

**Мета статті.** Аналіз виникнення помилок при реалізації завдання наведення винищувача на повітряну ціль методом «маневр», порядок оцінки точності його виводу із розвороту в задане положення відносно цілі. Розробка пропозицій офіцерам бойового управління щодо компенсації можливих помилок під час наведення винищувачів на повітряні цілі.

### Виклад основного матеріалу

Помилками наведення називається відхилення положення винищувача відносно цілі і напрямку вектору його швидкості від їх математичних очіку-

вань (заданих або розрахованих у відповідності до вибраних методів і умов наведення). Розрізняють помилки наведення у горизонтальній і вертикальній площинах. У даній статті розглядається виникнення помилок наведення лише у горизонтальній площині.

Для метода «маневр» точність наведення в горизонтальній площині характеризується помилками виводу винищувача з розвороту по дистанції ( $\Delta x$ ), інтервалу ( $\Delta y$ ) і курсу ( $\Delta \alpha$ ) по відношенню до заданих у розрахунковій точці закінчення розвороту К (рис. 1) [1; 5].

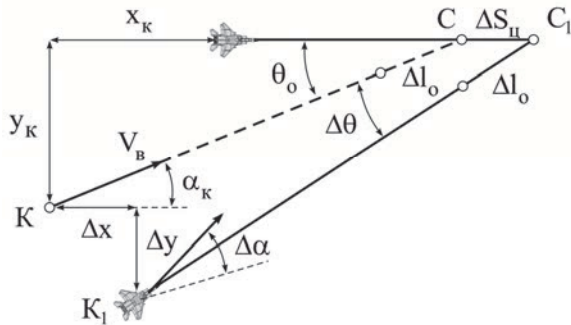


Рис. 1. Помилки виводу винищувача з розвороту по дистанції, інтервалу і курсу

Ці помилки, в свою чергу, призводять до відхилень у ракурсі  $\Delta \theta$ , у часі польоту на третьому етапі наведення и, отже, положенні точки зустрічі  $\Delta S_C$ .

Основними джерелами виникнення помилок при наведенні методом “маневр” при виводі винищувача в задане положення із розвороту є помилки:

- визначення координат цілі і винищувача;
- визначення параметрів руху цілі;
- передачі на борт винищувача команд наведення;

– виконання льотчиком команд наведення.  
Отже, розглянемо ці помилки детальніше.

Курсова помилка наведення  $\sigma_\alpha$  зумовлена помилками визначення напрямку польоту цілі  $\sigma_{K_c}$ , визначення, передачі і виконання льотчиком курсових команд наведення  $\sigma_{K_b}$ , а також впливом вітру  $U$ . Середню квадратичну величину курсової помилки наведення виразимо у вигляді:

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\sigma_{K_c}^2 + \sigma_{K_b}^2 + \frac{U^2}{2V_b^2}}. \quad (1)$$

Для приладового наведення за даними первинної інформації її величина становить  $5^\circ$ , а для окомірного наведення за даними вторинної інформації – приблизно  $10^\circ$  [1–2].

Помилки наведення по дистанції  $\sigma_{x_1}$  і інтервалу  $\sigma_{y_1}$  внаслідок помилок визначення координат

літаків за даними наземної радіолокації отримаємо так. Середня квадратична радіальна помилка визначення координат цілі і винищувача дорівнює:

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma_D^2 + (D\sigma_A)^2}, \quad (2)$$

де  $\sigma_A$ ,  $\sigma_D$  – середні квадратичні помилки визначення азимуту і дальності літака;

$D$  – дальність літака від радіолокаційної станції.

Проте наведення здійснюється по координатах винищувача відносно цілі. Тому при рівній точності визначення радіальної середньої квадратичної помилки складає  $\sigma_r \sqrt{2}$ , а помилки по напрямках осей координат визначається як:

$$\sigma_{x_1} = \sigma_{y_1} = \frac{\sigma_r \sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \sqrt{\sigma_D^2 + (D\sigma_A)^2}. \quad (3)$$

Як слідує з формули (3), зі збільшенням дальності від радіолокаційної станції помилки наведення  $\sigma_{x_1}$ ,  $\sigma_{y_1}$  зростають і точність наведення знижується. Відмітимо також, що помилка характеризує і точність приладового наведення винищувача по дистанції виходу на ціль ( $\Delta l_0$ ), оскільки момент закінчення наведення ( $t_n = 0$ ) по суті відповідають моменту рівності розрахункової та фактичної дистанції між літаками. А остання визначається на основі визначення координат цілі і винищувача [5].

Помилки наведення  $\sigma_{x_2}$ ,  $\sigma_{y_2}$  внаслідок несвоечасності початку розвороту винищувача отримуємо шляхом диференціювання рівнянь (4) траєкторії другого етапу наведення:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_K + R [n(\alpha_K - \alpha) - \sin \alpha_K + \sin \alpha]; \\ y_2 &= y_3 + R (\cos \alpha_K - \cos \alpha); \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{x_2} &= \frac{\partial x}{\partial \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} \sigma_t = V_b (n - \cos \alpha) \sigma_t; \\ \sigma_{y_2} &= \frac{\partial y}{\partial \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} \sigma_t = V_b \sin \alpha \sigma_t, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де  $\alpha$  – різниця курсів цілі і винищувача перед початком розвороту.

При наведенні з індикатора кругового огляду помилка  $\sigma_t$  складає біля 5 с. Вона складається з помилки визначення моменту початку розвороту і розкидання часу реакції ОБУ і льотчика при подачі команди на розворот та її виконання. Фізично розглянуті помилки (5) являють собою переміщення винищувача за час  $\sigma_t$  по напрямку вісей координат перед початком розвороту зі складовими відносною швидкості зближення:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -V_b (n - \cos \alpha); \\ \dot{y} &= -V_b \sin \alpha. \end{aligned}$$

Отже, відхилення винищувача від точки початку розвороту призводить до таких самих відхилень і від точки закінчення розвороту К (рис. 2).

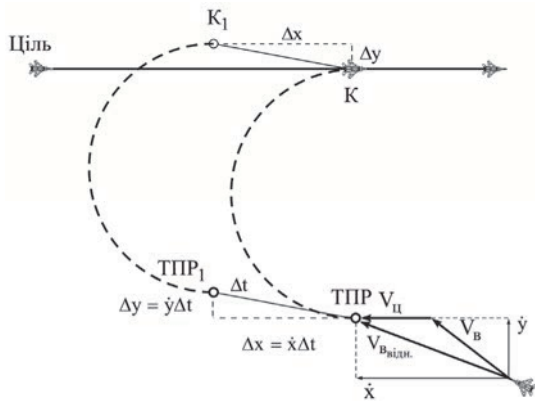


Рис. 2. Помилки наведення внаслідок несвочасності початку розвороту

Помилки наведення  $\sigma_{x_3}$ ,  $\sigma_{y_3}$  внаслідок наявності курсової помилки  $\sigma_\alpha$  перед початком розвороту знайдемо шляхом диференціювання рівнянь (4) по  $\alpha$  і заміні диференціалів середніми квадратичними відхиленнями:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{x_3} &= R(n - \cos \alpha) \sigma_\alpha; \\ \sigma_{y_3} &= R \sin \alpha \sigma_\alpha. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Сутність цих помилок пояснимо за допомогою рисунка 3 в нерухомій відносно землі системі координат. Нехай визначена точка початку розвороту в припущенні, що фактична різниця курсів відповідає розрахунковому значенню [1].

Якщо внаслідок курсових помилок фактичний курсовий кут більше розрахункового на  $\Delta\alpha$ , то розворот винищувача завершиться у точці  $K_1$ , а не у розрахунковій точці К. Причому збільшиться кут і час розвороту винищувача і ціль до моменту закінчення розвороту опиниться не в точці С, а точці  $C_1$ , тобто на збільшеній дистанції.

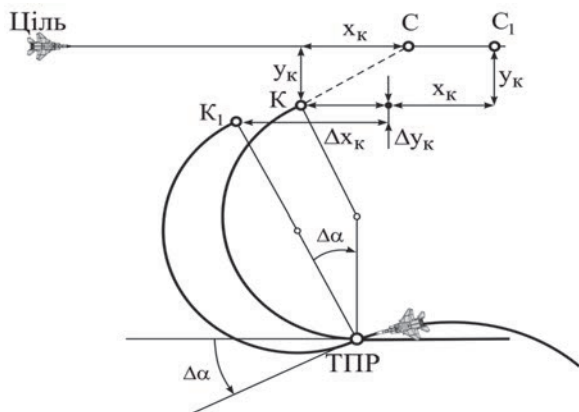


Рис. 3. Помилки наведення внаслідок наявності курсової помилки

Відхилення від точки  $K_1$  і утворює помилки наведення (6), де  $\sigma_\alpha$  характеризує відхилення величини кута розвороту винищувача від розрахункового значення.

Припинити їх зростання та зменшити їх величину ОБУ може регулюванням крену винищувача використовуючи наявну методикау.

Помилки наведення  $\sigma_{x_4}$ ,  $\sigma_{y_4}$  внаслідок помилок визначення швидкості цілі  $\sigma_{V_{ц}}$  знайдемо, продиференціювавши рівняння (4) по  $V_{ц}$ :

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{x_4} &= R(\alpha_k - \alpha) \frac{\sigma_{V_{ц}}}{V_B}; \\ \sigma_{y_4} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Важливо відмітити, що помилки визначення швидкості цілі призводять тільки до помилок наведення по дистанції. Нехай  $R(\alpha_k - \alpha)$  – шлях винищувача за час розвороту. Тоді ця помилка дорівнює величині:

$$\sigma_{x_4} = t_{\text{об}} \sigma_{V_0}. \quad (8)$$

Тобто вона є деяким неврахованим переміщенням цілі зі швидкістю  $\sigma_{V_{ц}}$  за час розвороту.

Помилки наведення  $\sigma_{x_5}$ ,  $\sigma_{y_5}$  внаслідок недотримання льотчиком заданого радіусу розвороту отримаємо шляхом диференціювання рівняння (4) по R:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{x_5} &= [n(\alpha_e - \alpha) - \sin \alpha_e + \sin \alpha] \sigma_R; \\ \sigma_{y_5} &= (\cos \alpha_e - \cos \alpha) \sigma_R, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де  $\sigma_R$  – середнє квадратичне відхилення радіусу розвороту від заданої величини. Це відхилення визначається помилками витримування на розвороті швидкості і кута крену і дорівнює:

$$\sigma_R = 2R \sqrt{\left(\frac{\sigma_{V_B}}{V_B}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\beta}{\sin 2\beta}\right)^2}.$$

Аналізуючи помилки наведення по дистанції, можливо зауважити, що більшість з них (зокрема помилки  $\sigma_{x_1}$ ) в тій чи іншій мірі залежать від швидкості винищувача і від відношення швидкостей n. Тому зі збільшенням швидкості  $V_B$  точність наведення по дистанції погіршується. Крім того, помилки наведення по дистанції внаслідок несвочасності розвороту  $\sigma_{x_2}$  і впливу курсових помилок  $\sigma_{x_3}$  досягають максимальних значень при зближенні винищувача з цілю на зустрічних курсах ( $\alpha = 180^\circ$ ). Помилки наведення внаслідок похибки визначення швидкості цілі  $\sigma_{x_4}$  і недотримання радіусу розво-

роту  $\sigma_{x_5}$  тим більше, чим більше кут розвороту винищувача. Помилки наведення по інтервалу, навпаки, не залежать від відношення швидкостей  $n$ , досягають мінімальних значень при зближенні винищувача з ціллю на зустрічних курсах  $i$ , крім помилок  $\sigma_{x_5}$ , не залежать від величини кута розвороту винищувача. У зв'язку з цим, сумарна помилка наведення по дистанції складає:

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 + \sigma_{x_3}^2 + \sigma_{x_4}^2 + \sigma_{x_5}^2}$$

і, як правило, значно перевищує сумарну помилку наведення по інтервалу:

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2 + \sigma_{y_3}^2 + \sigma_{y_5}^2}.$$

При наведенні винищувача для атаки цілі із попутних курсів помилки наведення, як правило, більше, ніж при наведенні для атаки із зустрічних курсів [2; 5].

Сумарні помилки приладового наведення за даними первинної інформації при виході винищувача в задню півсферу цілі на великих висотах, приблизно складають:  $\sigma_x = 2-3$  км,  $\sigma_y = 1-1,5$  км.

Такі ж величини помилок мають місце при виконанні окомірного наведення з ІКО на малих висотах, якщо розвороти виконуються з кренами  $60-70^\circ$  [2].

Розподілення помилок наведення таке, що навколо заданого положення К можливо представити еліпс випадкових положень винищувача (рис. 4), в яких він виявиться в момент закінчення розвороту на заданий курс. Розміри піввісей еліпса розсіювання помилок наведення залежать від прийнятої величини ймовірності попадання в його границі і виражаються через середнє квадратичне або ймовірне відхилення. Із теорії ймовірності відомо, що ймовірності влучення, близьке до одиниці, відповідають піввісі еліпса, рівні трьом середнім квадратичним або чотирьом ймовірним відхиленням [1; 5-6].

Чим більша точність наведення, тим менший розмір такого еліпса. В кожній точці еліпса у винищувача може мати місце курсова помилка наведення  $\Delta\alpha$ .

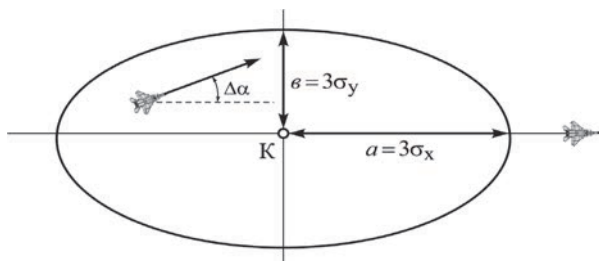


Рис. 4. Еліпс випадкових положень винищувача

Вважають, що розподілення курсових помилок також підпорядковуються нормальному закону розподілу.

## Висновки

Одною з найбільш важливих причин зниження точності на попутних курсах з ціллю є несвоєчасність початку розвороту. В результаті великих помилок наведення по дистанції винищувач може значно відстати від цілі, що потребує тривалого її догону, або виявитися перед нею, що може взагалі зірвати наведення. Підвищення точності виходу винищувача із розвороту можливо добитися двома шляхами.

Основним з них є управління креном винищувача на другому етапі наведення. Дійсно, всі помилки наведення по дистанції і інтервалу визначалися в припущенні сталості крену винищувача в розвороті. У більшості випадків розрахункова величина крену ( $30-45^\circ$ ) реально дозволить його не тільки зменшувати, але і збільшувати при необхідності. У результаті регулювання крену протягом розвороту винищувача на кут порядку  $180^\circ$  помилки наведення можливо зменшити в два-три рази. Регулювання крену може бути виключно лише у випадку припинення надходження команд на борт винищувача в умовах радіоперешкод або при виконанні розвороту з максимальною допустимою припустимим перевантаженням.

Деякі помилки наведення пропорційні величині радіуса розвороту винищувача. Тому іншим шляхом збільшення точності наведення, використаним головним чином на малих висотах, є виконання розворотів зі значними перевантаженнями (2-2,5).

## Список літератури

1. Каменский В.Н. Межсамолетная навигация и наведение самолетов. Ч 2. Наведение истребителей на воздушные цели: учебн. / В.Н. Каменский. – М.: ВЛ, 1984. – 352 с.
2. Чернов В.Г. Методика оцінки точності наведення винищувачів на повітряні цілі за величиною курсового кута цілі / В.Г. Чернов, В.Ю. Павленко, А.В. Андрусенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 2. – С. 62-64.
3. Автоматизація попередніх штурманських розрахунків для визначення бойових можливостей винищувальної авіації / О.І. Тимочко, В.Г. Чернов, І.О. Рожньов, А.Ю. Семерня // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 3. – С. 45-48.
4. Чернов В.Г. Визначення раціональної траєкторії польоту винищувача на перехоплення повітряної цілі при вирішенні завдання наведення методом «маневр» / В.Г. Чернов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2016. – № 3. – С. 76-78.
5. Болховитинов О.В. Боевые авиационные комплексы и их боевая эффективность: уч. пособ. / О.В. Болховитинов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1990. – 135 с.
6. Chernov V.G. Problems of the education and training of combat control officers / V.G. Chernov, A.I. Tymochko, M.A. Pavlenko, O.Y. Dorosh // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2014. – № 2 (66). – С. 121-124.

Надійшла до редколегії 5.09.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук ст. наук. співробітник С.В. Герасимов, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ВЫВОДА ИСТРЕБИТЕЛЯ ИЗ РАЗВОРОТА В ЗАДАННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕЛИ

А.И. Тимочко, В.Г. Чернов, В.И. Сауляк, И.А. Гордеев

Рассматривается методика оценки точности вывода истребителя из разворота в заданное положение относительно воздушной цели. Эффективность уничтожения средств воздушного нападения летчиком существенно зависит от надежной работы офицеров боевого управления во время наведения истребителей. Ошибки наведения приводят к неточному выводу истребителя из разворота в заданное положение относительно цели. Это является возможной причиной срыва атаки воздушной цели. Поэтому целью работы является исследование вопросов анализа и оценки точности вывода истребителя из разворота в заданное положение относительно воздушной цели и разработка практических рекомендаций офицерам боевого управления по распознаванию типа ошибок и их оперативному устранению в процессе наведения. Введено понятие ошибки наведения. Рассмотрен процесс возникновения и устранения ошибок наведения только в горизонтальной плоскости. Учтена курсовая ошибка наведения, обусловленная ошибками определения направления полета цели. Проанализированы ошибки, вызванные несвоевременностью начала разворота истребителя с учетом характеру траектории второго этапа наведения. Рассмотрены ошибки наведения, вызванные курсовой ошибкой перед началом разворота и определением скорости цели. Проведен анализ существующих ошибок и определены суммарные ошибки наведения. Для повышения точности выхода истребителя из разворота предложены два пути. Основным из них является управление креном истребителя на втором этапе наведения. В результате регулирования крена в процессе разворота истребителя на угол порядка  $180^\circ$  ошибки наведения возможно уменьшить в два-три раза. Другим путем повышения точности наведения, использованным главным образом на малых высотах, является выполнение разворотов со значительными перегрузками. Учет возможных ошибок офицером боевого управления позволит эффективно выполнить поставленную боевую задачу.

**Ключевые слова:** офицер боевого управления, истребитель, наведение, точность вывода на цель, ошибки наведения, курсовая ошибка наведения, ошибки вывода истребителя из разворота.

## PRECISION FIGHTER OUTPUT FROM TURNING INTO A PREDETERMINED POSITION RELATIVE TO THE TARGET

O. Timochko, V. Chernov, V. Saulyak, I. Gordeev

The technique of an estimation of accuracy of a conclusion of a fighter from a turn in the set position concerning the air purpose is considered. The effectiveness of the destruction of air attack means by the pilot essentially depends on reliable work of officers of combat control during the firing of fighters. Errors of guidance lead to inaccurate withdrawal of the fighter from the turn into a given position relative to the target. This is a possible cause of an air attack failure. Therefore, the aim of the work is to study the analysis and evaluation of the accuracy of the withdrawal of a fighter from a turn to a given position relative to an air target and to develop practical recommendations for combat command officers in detecting the type of errors and their prompt elimination during the guidance process. The concept of an error of guidance is introduced. The process of occurrence and elimination of guidance errors only in a horizontal area is considered. The heading error of guidance due to errors in determining the direction of the flight of the target is taken into account. The errors caused by untimely start of the fighter turn taking into account the nature of the trajectory of the second stage of guidance are analyzed. The errors of guidance caused by a course error before the start of the turn are considered and the target speed is determined. The analysis of existing errors is carried out and the total errors of guidance are determined. To improve the accuracy of the exit of the fighter from the reversal, there are two ways. The main one is the management of the fighter's roll in the second stage of guidance. As a result of adjusting the roll during the turn of the fighter at an angle of about  $180^\circ$ , the guidance errors can be reduced by two or three times. Another way to improve the accuracy of guidance, used mainly at low altitudes, is to perform turns with significant overloads. Taking into account possible mistakes by the officer in combat management will effectively fulfill the assigned combat mission.

**Keywords:** officer of combat control, fighter, guidance, accuracy of the conclusion on the target, errors of guidance, heading error of guidance, error of withdrawal of the fighter from the turn.