

УДК 681.51:623.592

В.Г. Чернов, В.Ю. Павленко, А.В. Андрусеник

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ НАВЕДЕННЯ ВИНИЩУВАЧІВ НА ПОВІТРЯНІ ЦІЛІ ЗА ВЕЛИЧИНОЮ КУРСОВОГО КУТА ЦІЛІ

У даній статті розглядається методика визначення середніх квадратичних похибок наведення за величиною курсового кута цілі. Визначаються окремі середні квадратичні відхилення (похибки) внаслідок помилок визначення курсового кута винищувача, вимірювання швидкості цілі, витримування швидкості й заданого курсу винищувачем. Врахування впливу величини курсового кута цілі при наведенні винищувача на повітряну ціль різними методами наведення, особливо на кінцевому етапі, забезпечить стійке виявлення цілі боєвими засобами.

Ключові слова: метод наведення, помилки наведення, середня квадратична похибка, курсовий кут, офіцер бойового управління.

Вступ

Постановка проблеми. Наведення винищувача на повітряну ціль є загальним випадком завдання зближення літального апарату з рухомою ціллю за оптимальною траєкторією. Специфіка вирішення цього завдання полягає в тому, що врахування характеристик озброєння винищувача вимагає виводу його в певну область простору поблизу цілі, що управління ним здійснюється з пункту управління, а повітряна ціль в загальному випадку за рахунок маневрування прагне запобігти зустрічі з винищувачем [1, 2].

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].

Наведення здійснюється розрахунками командних пунктів і пунктів наведення авіацією відповідно до рішення командира, що управляє бойовими діями на підставі інформації, що надходить від радіолокаційних засобів.

У результаті вирішення завдання наведення виробляються й передаються на борт винищувача по лінії зв'язку команди наведення, команди просторового цілевказання й 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 залежить від умілої організації й надійної роботи офіцерів бойового управління (ОБУ). У 49% випадків причиною не перехоплень винищувачами повітряних цілей, як показав аналіз діяльності ОБУ, признані недоліки в їх ро-

боті. Професійна діяльність ОБУ командного пункту (КП) винищувальної авіації в процесі наведення винищувачів на повітряні цілі може супроводжуватися помилками різної природи й характеру. Ці помилки можуть привести до зриву виконання бойового завдання, до виникнення інцидентів або авіаційних подій [3].

Помилками наведення назвемо відхилення положення винищувача відносно цілі й напрямку вектора його швидкості від їхніх математичних очікувань (заданих або розрахункових відповідно до обраного методу й умов наведення). Розрізняють помилки наведення в горизонтальній і вертикальній площинах [4, 5].

При наведенні дальності між винищувачем і ціллю спочатку значно перевищують дальність виявлення цілі за допомогою бортової радіолокаційної станції.

У процесі зближення ці дальності зменшуються аж до значень, що дозволяють виявити ціль, виконати захоплення її на автосупроводження, прицілитися й пустити ракети. Тому на можливість виявлення цілі й виходу винищувача в атаку впливає не стільки дальність до цілі, яка рано або пізно досягне необхідного значення, скільки величина кута візування на ціль, тобто величина курсового кута цілі.

У зв'язку із цим для існуючих методів точність наведення в горизонтальній площині достатньо характеризувати середніми квадратичними похибками за величиною курсового кута цілі [4, 5].

Виходячи з відзначеного, актуальним є питання оцінки точності наведення винищувачів на повітряні цілі за величиною курсового кута цілі.

Аналіз літератури. В роботах [2, 5, 6] було розглянуто процес наведення винищувача на повітряну ціль та сутність різних методів наведення та

їх властивостей. При їх розгляді враховувались лише ідеальні умови та безпомилкові дії льотчика та бойової обслуги КП.

Також враховувалась бездоганна робота бортових та наземних засобів.

Мета статті. Обґрунтування та аналіз складових середніх квадратичних помилок наведення за величиною курсового кута цілі при наведенні винищувача на повітряну ціль.

Основна частина

Методику визначення середніх квадратичних помилок наведення за величиною курсового кута цілі найпростіше показати на прикладі методу паралельного зближення [4, 7, 8].

Для цього методу наведення величина курсового кута цілі $\varphi_{\text{ц}}$ визначається виразом

$$\varphi_{\text{ц}} = -\arcsin(n \sin \varphi_{\text{в}}). \quad (1)$$

Тому її можна розглядати за математичне очікування величини $\varphi_{\text{ц}}$.

Крім того, існують випадкові відхилення $\Delta\varphi_{\text{ц}}$, розподіл яких характеризується середнім квадратичним відхиленням $\sigma\varphi_{\text{ц}}$. Величина $\sigma\varphi_{\text{ц}}$ й прийнята за характеристику точності наведення в горизонтальній площині.

У свою чергу, величина $\sigma\varphi_{\text{ц}}$ обумовлена частковими відхиленнями (похибками) внаслідок помилок:

визначення курсового кута винищувача,
вимірювання швидкості цілі,
витримування швидкості й заданого курсу винищувачем.

Приймаючи зазначені помилки незалежними, часткові помилки наведення знайдемо шляхом диференціювання виразу (1) за відповідними змінними і заміни диференціалів кінцевими приростами (середніми квадратичними похибками).

Часткову середню квадратичну похибку наведення $\sigma\varphi_1$ внаслідок похибки у визначенні величини курсового кута винищувача ($\sigma\varphi_{\text{в}}$) одержимо у вигляді:

$$\sigma\varphi_1 = \frac{\cos \varphi_{\text{в}}}{\sqrt{m^2 - \sin^2 \varphi_{\text{в}}}} \sigma\varphi_{\text{в}}.$$

Похибка $\sigma\varphi_{\text{в}}$ залежить від точності визначення координат цілі й винищувача, дальності між ними й, оскільки кут $\varphi_{\text{в}}$ вимірюється від напрямку руху цілі, від точності вимірювання курсу цілі

$$\sigma\varphi_{\text{в}} = \sqrt{\frac{\sigma r^2}{D^2} + \sigma\gamma_{\text{ц}}^2},$$

де σr – середня квадратична радіальна похибка визначення координат літаків наземною радіолокаційною станцією (1 км для окомірного наведення з ІКО станції сантиметрового діапазону хвиль, якщо віддалення цілі від станції становить 100 км);

$\sigma\gamma_{\text{ц}}$ – середня квадратична похибка вимірювання курсу цілі (приблизно $2,5-3^\circ$ для окомірного наведення).

Часткова помилка наведення $\sigma\varphi_{\text{ц}}$ внаслідок похибки вимірювання швидкості цілі має такий вигляд:

$$\sigma\varphi_2 = \frac{\sin \varphi_{\text{в}}}{\sqrt{m^2 - \sin^2 \varphi_{\text{в}}}} \cdot \frac{\sigma V_{\text{ц}}}{V_{\text{ц}}},$$

де $\sigma V_{\text{ц}}$ – середня квадратична похибка вимірювання швидкості цілі (60-90 км/год для окомірного наведення).

Подібним же чином визначається часткова помилка наведення $\sigma\varphi_3$ внаслідок похибки витримування швидкості винищувачем

$$\sigma\varphi_3 = \frac{\sin \varphi_{\text{в}}}{\sqrt{m^2 - \sin^2 \varphi_{\text{в}}}} \cdot \frac{\sigma V_{\text{в}}}{V_{\text{в}}},$$

причому середня квадратична похибка $\sigma V_{\text{в}}$ утворюється через помилку невитримування швидкості льотчиком (порядку 50 км/год), а також через неврахування вітру при вирішенні завдання наведення. Як відомо, середнє квадратичне відхилення шляхової швидкості при рівномірному розподілі напрямку вектора вітру \bar{U} відносно лінії шляху літака дорівнює

$$\frac{U}{\sqrt{2}}.$$

Нарешті, часткова похибка наведення $\sigma\varphi_4$ внаслідок помилок витримування заданого курсу винищувачем, цілком визначається помилками визначення, передачі й витримування курсу льотчиком за допомогою курсової системи (що в сумі становить приблизно $\sigma\gamma_{\text{в}} = 5^\circ$), а також помилкою внаслідок неврахування кута зносу.

Оскільки при рівномірному розподілі напрямку вітру

$$K3 = \frac{U}{V_{\text{в}} \sqrt{2}},$$

тому

$$\sigma\varphi_4 = \sqrt{\sigma\gamma_{\text{в}}^2 + \frac{U^2}{2V_{\text{в}}^2}}.$$

З перерахованих часткових похибок тільки $\sigma\varphi_1$ істотно залежить від дальності між ціллю й

винищувачем. Сумарну середню квадратичну похибку наведення $\sigma_{\varphi_{\text{ц}}}$ одержимо як

$$\sigma_{\varphi_{\text{ц}}} = \sqrt{\sigma_{\varphi_1}^2 + \sigma_{\varphi_2}^2 + \sigma_{\varphi_3}^2 + \sigma_{\varphi_4}^2}.$$

Подібним же чином можна знайти часткові й сумарні помилки наведення для методів прямого зближення, погоні й трьох точкового з урахуванням своїх особливостей.

Висновки

Таким чином, у міру зближення винищувача з ціллю коливання поздовжньої вісі винищувача збільшуються відносно заданого напрямку польоту, що й позначається на ймовірності успішного наведення.

Знання помилок $\sigma_{\varphi_{\text{ц}}}$ дозволяє також висунути вимоги до ширини зони огляду й кутів повороту антени бортової радіолокаційної станції винищувача. Так, наприклад, якщо дальність виявлення бортового радіолокатора винищувача становить 40 км, а його озброєння дозволяє атакувати ціль під ракурсом $4/4$ ($\varphi_{\text{с}} = 90^\circ$) при відношенні швидкостей $n = 0,8$, то для паралельного зближення даним умовам відповідають

$$\varphi_{\text{ц}} = 53^\circ \text{ і } \sigma_{\varphi_{\text{ц}}} = 6^\circ 6'.$$

Тому для забезпечення достовірного виявлення цілі на дальності 40 км, зона огляду за азимутом в сумі повинна складати $53 + 3 \cdot 6,6 = 72,8$, що при кутовій її ширині $\pm 30^\circ$ вимагає додаткових доворотів відносно вісі винищувача на $\pm 40 - 45^\circ$.

Список літератури

1. *Авиация ПВО России и научно-технический прогресс : боевые комплексы и системы вчера, сегодня и завтра : монография* / 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. *Чернов В.Г. Анализ помилкових дій офіцерів бойового управління під час наведення винищувачів на повітряні цілі* / В.Г. Чернов, І.П. Мажара, В.М. Сургай, Б.А. Телятник // *Новітні технології – для захисту повітряного простору : наук. конф., 18-19 квіт. 2012 р. тези допов.* – Х. : Харківський університет Повітряних Сил імені І. кожедуба, 2012. – С. 61.

4. *Боевые авиационные комплексы и их боевая эффективность : уч. пособие* / О.В. Болховитинов. – М. : ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1990. – 135 с.

5. *Чернов В.Г. Наведення літаків на повітряні та наземні цілі : навчальний посібник* / В.Г. Чернов, В.А. Волобуєв, О.К. Желем. – Х. : ХУПС, 2004. – 131 с.

6. *Воздушная навигация : учебник для курсантов лётных училищ ВВС* / Б.А. Таранов, С.Г. Федоритенко, И.И. Свириденко, В.В. Ходотов и др. ; под ред. И.А. Саутина. – М. : ВИ., 1990. – 464 с.

7. *Пестов М.Д. Боевая эффективность и надежность ЛА. Методы расчетов : уч. пособие для лабораторных и курсовых работ* / М.Д. Пестов. – М. : Изд-во МАИ, 2002. – 100 с.

8. *Скорик А.Б. Актуальные вопросы оценки эффективности противовоздушного боя* / А.Б. Скорик, В.В. Воронин, А.А. Зверев, О.Ф. Галицкий // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.* – Х. : ХУПС, 2010. – Вип. 3 (25). – С. 8-14.

9. *Пестов М.Д. Боевая эффективность и надежность ЛА. Методы расчетов : уч. пособие для лабораторных и курсовых работ* / М.Д. Пестов. – М. : Изд-во МАИ, 2002. – 100 с.

10. *Скорик А.Б. Актуальные вопросы оценки эффективности противовоздушного боя* / А.Б. Скорик, В.В. Воронин, А.А. Зверев, О.Ф. Галицкий // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.* – Х. : ХУПС, 2010. – Вип. 3 (25). – С. 8-14.

11. *Скорик А.Б. Актуальные вопросы оценки эффективности противовоздушного боя* / А.Б. Скорик, В.В. Воронин, А.А. Зверев, О.Ф. Галицкий // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.* – Х. : ХУПС, 2010. – Вип. 3 (25). – С. 8-14.

12. *Скорик А.Б. Актуальные вопросы оценки эффективности противовоздушного боя* / А.Б. Скорик, В.В. Воронин, А.А. Зверев, О.Ф. Галицкий // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.* – Х. : ХУПС, 2010. – Вип. 3 (25). – С. 8-14.

Надійшла до редколегії 18.02.2016

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

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ НАВЕДЕНИЯ ИСТРЕБИТЕЛЕЙ НА ВОЗДУШНЫЕ ЦЕЛИ ПО ВЕЛИЧИНЕ КУРСОВОГО УГЛА ЦЕЛИ

В.Г. Чернов, В.Ю. Павленко, А.В. Андрусеник

В данной статье рассматривается методика определения средних квадратичных ошибок наведения по величине курсового угла цели. Определяются частные средние квадратические отклонения (ошибки) вследствие ошибок определения курсового угла истребителя, измерения скорости цели, выдерживания скорости и заданного курса истребителем. Учет влияния величины курсового угла цели при наведении истребителя на воздушную цель различными методами наведения, особенно на конечном этапе, обеспечит устойчивое обнаружение цели бортовыми средствами.

Ключевые слова: метод наведения, ошибки наведения, средняя квадратическая ошибка, курсовой угол, офицер боевого управления.

METHOD OF ESTIMATING THE ACCURACY OF FIGHTERS AIMING AT AIR TARGETS LARGEST YAW RATE TARGET

V.G. Chernov, V.Y. Pavlenko, A.V. Andrusennyk

This article discusses the method of determining the mean square error largest yaw rate target, private defined standard deviations (errors) due to errors in determining the course angle and measure the speed of fighter goal keeping speed and course assignments fighter. Account the impact of the value of yaw rate target hover fighter to aerial target different aiming especially at the final stage detection on board means.

Keywords: guidance method, guidance error, mean square error, course angle, combat control officer.