УДК 621.396

О.А. Коршець[1], Н.О. Королюк[2]

[1]*Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця*
[2]*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

ДО ПИТАННЯ АВТОМАТИЧНОГО ГРУПУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

У статті наведені різницеві рівняння управління літальними апаратами в групі у визначеному порядку для систем автоматичного управління з використанням інформації, що надходить від засобів міжлітакової навігації. Представлені рівняння дозволять вирішувати задачі автоматичного управління бойовими порядками, переходити від одного порядку до іншого в залежності від умов і етапів польоту.

Ключові слова: *автоматичне управління в групі, літальні апарати, різницеві рівняння, міжлітакова навігація.*

Постановка проблеми та аналіз літератури

У сучасних умовах ведення повітряного бою, застосування групових дій є складовою успішної боротьби з великою кількістю надшвидкісних та надманеврених цілей [1 - 3]. Основним недоліком польоту в групі є труднощі пілотування літаків, а також зменшення швидкості польоту всієї групи у порівнянні зі швидкістю одиночного літака [2, 3]. При цьому, у зв'язку з великою складністю групового польоту, цілком природно підвищення вимог до зручності пілотування і керування. Навіть при наявності засобів міжлітакової навігації на борту літального апарата, визначення та витримування заданих параметрів польоту в строю залежить від людського фактора, адже такі засоби можуть надавати інформацію лише про відстані між літаками в групі та напрямок лінії візування на інший літак [4].

Таким чином, постає питання про вирішення завдань групування автоматичним способом. Це дозволить вирішити задачу стійкого та безперервного управління літальними апаратами в строю із заданою точністю.

Теоретичні питання конструювання систем автоматичного управління в строю розглядаються в ряді робіт [5 - 7]. При управлінні груповими польотами в якості датчиків відхилення параметрів строю від необхідних значень може бути використана апаратура міжлітакової навігації. При цьому, сигнали системи контролю місця в строю можуть вводитися в автопілот та автомат тяги через відповідні блоки зв'язку.

Запропоновані в статті різницеві рівняння групування винищувачів у потрібну структуру з використанням інформації, що надходить від засобів міжлітакової навігації, дозволять вирішувати задачі автоматичного управління бойовими порядками, переходити від однієї форми бойового порядку до іншої в залежності від умов польоту.

Метою статті є синтез різницевих рівнянь у просторі станів для автоматичного управління літальними апаратами в групі з використанням інформації, що надходить від засобів міжлітакової навігації.

Основний матеріал

Для одержання рівнянь у просторі станів дискретної системи автоматичного управління літальними апаратами в групі, вважаємо рух об'єктів управління встановленим в одній площині.

З метою визначення взаємного положення літаків використовується різницево-дальномірний спосіб. При цьому, визначаються кутові положення літаків відносно напрямку на північ. Для управління літальними апаратами в групі визначаються необхідні параметри строю (які можуть змінюватись у процесі управління літаками). Загальну траєкторію польоту всієї групи літальних апаратів визначає один із літаків, який задає метод управління для всієї групи та навколо якого відбувається безпосереднє управління в групі.

Для одержання рівнянь у просторі станів дискретної системи групування літальних апаратів при використанні різниці квадратів відстаней, звернемося до рис. 1, де зображені:

$X(i), Y(i), Z(i)$ – швидкісна система координат системи управління в *i*-ий момент часу;

$1(i), 2(i), 3(i), 4(i)$ – поточне розташування літаків в *i*-ий момент часу;

$2_0(i), 3_0(i), 4_0(i)$ – необхідне розташування літаків в *i*-ий момент часу;

$Y(i-1)2(i-1), Y(i-1)2_0(i), Y(i-1)4(i-1),$

$Y(i-1)4_0(i)$ – точки, утворені проекціями поточного і необхідного положення другого та четвертого літаків на вісь $Y(i-1)$;

$Z(i-1)2(i-1)$, $Z(i-1)2_0(i)$, $Z(i-1)3(i-1)$, $Z(i-1)3_0(i)$ – точки, утворені проекціями поточного і необхідного положення другого та третього літаків на вісь $Z(i-1)$;

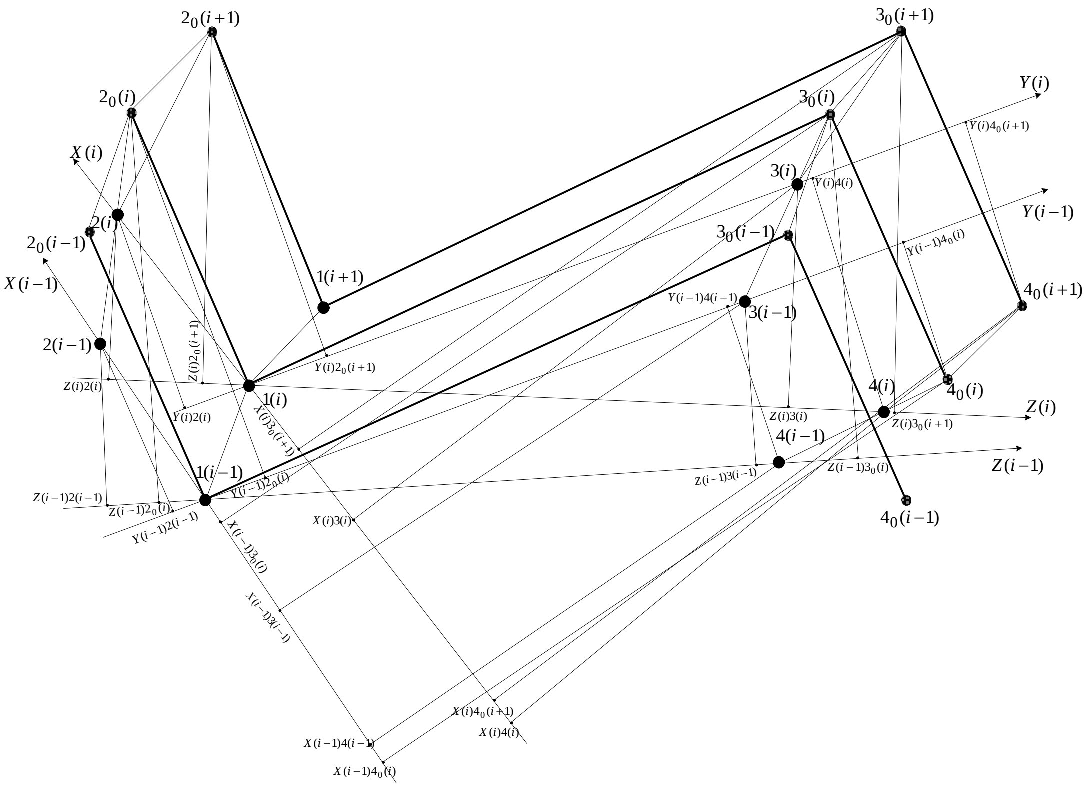

Рис. 1. Структура управління літальними апаратами в групі по курсу у просторі станів різницевих параметрів

$X(i-1)3(i-1)$, $X(i-1)3_0(i)$, $X(i-1)4(i-1)$, $X(i-1)4_0(i)$ – точки, утворені проекціями поточного і необхідного положення третього та четвертого літаків на вісь $X(i-1)$;

$Y(i)2(i)$, $Y(i)2_0(i+1)$, $Y(i)4(i)$, $Y(i)4_0(i+1)$ – точки, утворені проекціями поточного і необхідного положення другого та четвертого літаків на вісь $Y(i)$;

$Z(i)2(i)$, $Z(i)2_0(i+1)$, $Z(i)3(i)$, $Z(i)3_0(i+1)$ – точки, утворені проекціями поточного і необхідного положення другого та третього літаків на вісь $Z(i)$;

$X(i)3(i)$, $X(i)3_0(i+1)$, $X(i)4(i)$, $X(i)4_0(i+1)$ – точки, утворені проекціями поточного і необхідного положення третього та четвертого літаків на вісь $X(i)$.

Для запису різницевих рівнянь та визначення рівнянь у просторі станів контуру управління літальними апаратами в групі на площині визначаються різницеві рівняння для другого, третього та четвертого літаків (рис. 1). Траєкторія руху першого, буде залежати від методу наведення на ціль. Для опису роботи всієї системи управління достатньо розглянути траєкторію руху одного із літальних апаратів групи, рівняння для інших літаків групи записуються аналогічно.

Для рішення поставленої задачі вважаємо, що базові відстані $R_{1(i-1)2_0(i-1)}, R_{1(i)2_0(i)}$ (між першим та другим літаками), $R_{1(i-1)3_0(i-1)}, R_{1(i)3_0(i)}$ (між першим та третім літаками), $R_{3_0(i-1)4_0(i-1)}, R_{3_0(i)4_0(i)}$ (між третім та четвертим літаками) є відомими і постійними. Виміри, що проводяться засобами міжлітакової навігації, забезпечують одержання поточних значень відстаней між літаками $R_{1(i-1)2(i-1)}, R_{1(i)2(i)}, R_{1(i-1)3(i-1)}, R_{1(i)3(i)}, R_{1(i-1)4(i-1)}$, $R_{1(i)4(i)}$, $R_{2(i-1)3(i-1)}, R_{2(i)3(i)}, R_{2(i-1)4(i-1)}, R_{2(i)4(i)}$, $R_{3(i-1)4(i-1)}, R_{3(i)4(i)}$.

Проектуючи поточне і необхідне (в наступний момент часу) положення другого винищувача на вісь $Z(i-1)$ отримуємо співвідношення:

$$\begin{cases} h^2_{Z(i-1)2_0(i)} = R^2_{1(i-1)2_0(i)} - R^2_{1(i-1)Z(i-1)2_0(i)} \\ h^2_{Z(i-1)2_0(i)} = R^2_{2_0(i)4(i-1)} - (R_{1(i-1)4(i-1)} + \\ + R_{1(i-1)Z(i-1)2_0(i)})^2 \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} h^2_{Z(i-1)2(i-1)} = R^2_{2(i-1)4(i-1)} - (R_{1(i-1)4(i-1)} + \\ + R_{1(i-1)Z(i-1)2_0(i)})^2 \\ h^2_{Z(i-1)2(i-1)} = R^2_{1(i-1)2(i-1)} - R^2_{1(i-1)Z(i-1)2(i-1)} \end{cases}, \quad (2)$$

де $h^2_{Z(i-1)2_0(i)}$, $h^2_{Z(i-1)2(i-1)}$ – відповідно квадрати проекцій необхідного і поточного положення літальних апаратів на вісь $Z(i-1)$, а $R_{1(i-1)Z(i-1)2_0(i)}$, $R_{1(i-1)Z(i-1)2_0(i)}$ – відстані між першим літальним апаратом та точками проекцій.

З урахуванням отриманих значень квадратів проекцій (1), (2) та з огляду на рисунок 1 отримуємо різницю між значеннями поточного і необхідного положення літального апарата на вісь $Z(i-1)$:

$$\Delta Z_{(i-1)} = (R^2_{2(i-1)4(i-1)} - R^2_{1(i-1)2(i-1)} + R^2_{1(i-1)2_0(i)} - \\ - R^2_{2_0(i)4(i-1)}) / 2 \cdot R_{1(i-1)4(i-1)} \quad (3)$$

Відповідно для наступного моменту часу необхідна різність має вигляд:

$$\Delta Z_{(i)} = (R^2_{2(i)4(i)} - R^2_{1(i)2(i)} + R^2_{1(i)2_0(i+1)} - \\ - R^2_{2_0(i+1)4(i)}) / 2 \cdot R_{1(i)4(i)} \quad (4)$$

При проектуванні поточного і необхідного положення другого літального апарата на вісь $Y(i-1)$ та для наступного моменту часу $Y(i)$ отримуємо наступні різницеві параметри:

$$\Delta Y_{(i-1)} = (R^2_{1(i-1)2_0(i)} - R^2_{2_0(i)3(i-1)} + R^2_{2(i-1)3(i-1)} - \\ - R^2_{1(i-1)2(i-1)}) / 2 \cdot R_{1(i-1)3(i-1)} \quad (5)$$

$$\Delta Y_{(i)} = (R^2_{1(i)2_0(i+1)} - R^2_{2_0(i+1)3(i)} + R^2_{2(i)3(i)} - \\ - R^2_{1(i)2(i)}) / 2 \cdot R_{1(i)3(i)} \quad (6)$$

У виразах (3) – (6) не всі значення відстаней, необхідних для вирішення задачі управління за рахунок різницевих параметрів, відомі. Для визначення $R^2_{1(i-1)2_0(i)}$; $R^2_{2_0(i)4(i-1)}$; $R^2_{2_0(i)3(i-1)}$; $R^2_{1(i)2_0(i+1)}$; $R^2_{2_0(i+1)4(i)}$; $R^2_{2_0(i+1)3(i)}$, звернемось до рисунку 2.

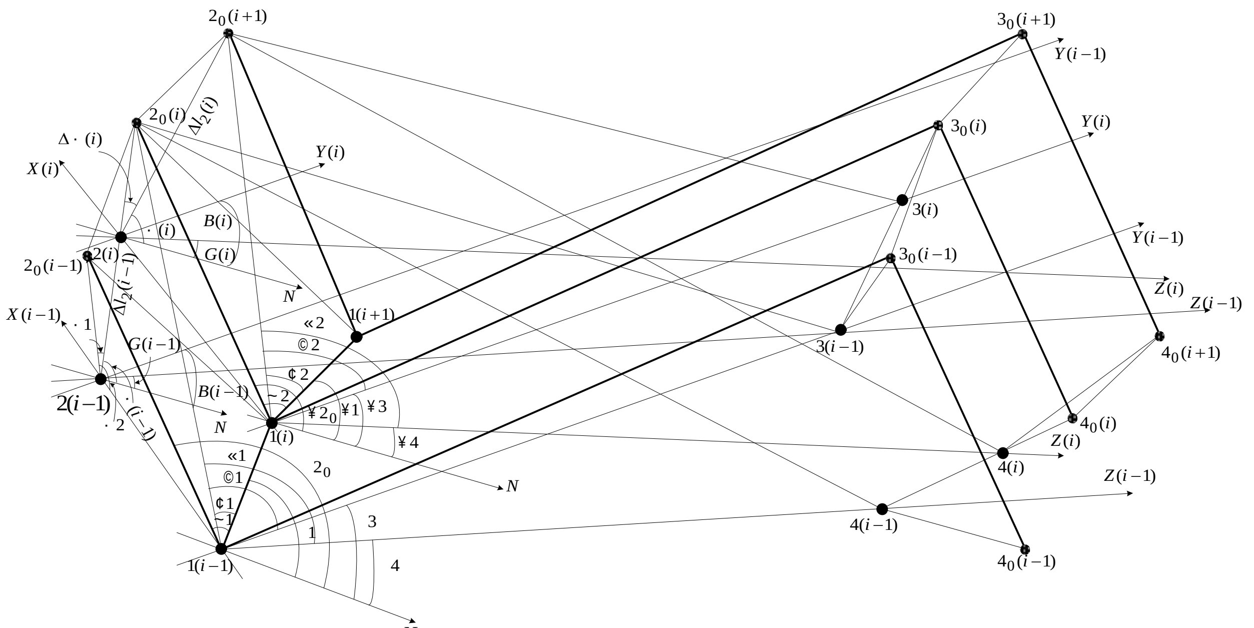

Рис. 2. Визначення необхідних відстаней в системі управління групою літальних апаратів за допомогою додаткових параметрів руху

На рисунку 2 позначені кути між лініями візування та напрямком на північ (N), які визначаються засобами вимірювання системи міжлітакової навігації:

$\beta 3, \beta 4$ – кути між напрямком на північ та лінією візування від першого літального апарата на третій та четвертий відповідно в *(i-1)*-й момент часу;

$\gamma 3, \gamma 4$ – кути між напрямком на північ та лінією візування від першого літального апарата на третій та четвертий в і-й момент часу.

Кути $\beta 2_0, \gamma 2_0$ між напрямком на північ та направленням від першого до потрібного положення другого літального апарата в *(і-1)*-й та *і*-й момент часу відповідно визначаються подальшими розрахунками. Кути $\beta 1, \gamma 1$ визначаються траєкторією польоту першого літака (методом наведення) є відомими в кожний момент часу. Кути $\alpha 1, \alpha 2$ є змінними величинами та визначаються із геометричної побудови взаємного положення літаків в групі, тобто: $\alpha 1 = \beta 2_0 - \beta 1$, $\alpha 2 = \gamma 2_0 - \gamma 1$.

Для отримання величин $R^2_{1(i-1)2_0(i)}$ і $R^2_{1(i)2_0(i+1)}$, визначимо відстані $R^2_{2_0(i-1)1(i)}$ та $R^2_{2_0(i)1(i+1)}$:

$$R^2_{2_0(i-1)1(i)} = R^2_{1(i-1)2_0(i-1)} + R^2_{1(i-1)1(i)} - 2 \cdot R_{1(i-1)2_0(i-1)} \cdot R_{1(i-1)1(i)} \cdot \cos(\alpha 1)\,; \quad (7)$$

$$R^2_{2_0(i)1(i+1)} = R^2_{1(i)2_0(i)} + R^2_{1(i)1(i+1)} - 2 \cdot R_{1(i)2_0(i)} \cdot R_{1(i)1(i+1)} \cdot \cos(\alpha 2)\,. \quad (8)$$

Використовуючи властивість паралелограма отримаємо необхідні відстані $R^2_{1(i-1)2_0(i)}$ і $R^2_{1(i)2_0(i+1)}$:

$$R^2_{1(i-1)2_0(i)} = 2 \cdot R^2_{1(i-1)2_0(i-1)} + 2 \cdot R^2_{1(i-1)1(i)} - R^2_{2_0(i-1)1(i)}\,, \quad (9)$$

$$R^2_{1(i)2_0(i+1)} = 2 \cdot R^2_{1(i)2_0(i)} + 2 \cdot R^2_{1(i)1(i+1)} - R^2_{2_0(i)1(i+1)} \quad (10)$$

Для визначення $R^2_{2_0(i)3(i-1)}$, $R^2_{2_0(i+1)3(i)}$, необхідні значення кутів $\kappa 1$ та $\kappa 2$ ($\kappa 1 = \delta 1 + \beta 1 - \beta 3$; $\kappa 2 = \delta 2 + \gamma 1 - \lambda 3$), тут $\delta 1$ і $\delta 2$ отримуємо:

$$\cos(\delta 1) = \frac{R^2_{1(i-1)2_0(i)} + R^2_{1(i-1)1(i)} - R^2_{1(i)2_0(i)}}{2 \cdot R_{1(i-1)2_0(i)} \cdot R_{1(i-1)1(i)}}\,; \quad (11)$$

$$\cos(\delta 2) = \frac{R^2_{1(i)2_0(i+1)} + R^2_{1(i)1(i+1)} - R^2_{1(i+1)2_0(i+1)}}{2 \cdot R_{1(i)2_0(i+1)} \cdot R_{1(i)1(i+1)}}\,. \quad (12)$$

На підставі виразів (11), (12) отримаємо $R^2_{2_0(i)3(i-1)}$, $R^2_{2_0(i+1)3(i)}$:

$$R^2_{2_0(i)3(i-1)} = R^2_{1(i-1)2_0(i)} + R^2_{1(i-1)3(i-1)} - 2 \cdot R_{1(i-1)2_0(i)} \cdot R_{1(i-1)3(i-1)} \cdot \cos(\kappa 1) \quad (13)$$

$$R^2_{2_0(i+1)3(i)} = R^2_{1(i)2_0(i+1)} + R^2_{1(i)3(i)} - 2 \cdot R_{1(i)2_0(i+1)} \cdot R_{1(i)3(i)} \cdot \cos(\kappa 2) \quad (14)$$

Для визначення $R^2_{2_0(i)4(i-1)}$ та $R^2_{2_0(i+1)4(i)}$, де $\mu 1$ і $\mu 2$ дорівнюють:

$$\mu 1 = \delta 1 + \beta 1 - \beta 4\,;\ \mu 2 = \delta 1 + \gamma 1 - \gamma 4\,,$$

скористаємось виразами:

$$R^2_{2_0(i)4(i-1)} = R^2_{1(i-1)2_0(i)} + R^2_{1(i-1)4(i-1)} - 2 \cdot R_{1(i-1)2_0(i)} \cdot R_{1(i-1)4(i-1)} \cdot \cos(\mu 1)\,, \quad (15)$$

$$R^2_{2_0(i+1)4(i)} = R^2_{1(i)2_0(i+1)} + R^2_{1(i)4(i)} - 2 \cdot R_{1(i)2_0(i+1)} \cdot R_{1(i)4(i)} \cdot \cos(\mu 2) \quad (16)$$

Рівняння (7) – (16) дозволяють повністю вирішити вирази (3) – (4) та визначити структуру системи управління з використанням різницевих параметрів руху літальних апаратів.

З метою отримання алгоритмів управління літальними апаратами в групі у просторі станів різницевих параметрів, визначають перехідні характеристики станів системи та отримують перехідні матриці управління [8].

Висновки

У статті наведені різницеві рівняння процесу управління літальними апаратами в групі по курсу. Представлена структура групування винищувачів у просторі станів різницевих параметрів руху, дозволить управляти літаками в групі на площині та здійснювати маневри високої складності. При цьому літаки дотримуються визначеної структури розташування з високою точністю. Точність управління залежить від аеродинамічних властивостей безпосередньо об'єктів управління, інтервалу дискретизації, точності вимірювання параметрів руху апаратурою міжлітакової навігації та впливу різного роду завад.

Список літератури

1. Висоцький О.В. та ін. Особливості управління винищувачів при наведенні на надманеврені повітряні цілі // Збірник наукових праць. – Х.: ХІ ВПС, 2004. – 2(11). – С.144-151.

2. Коршець О.А. Математична модель зовнішнього контуру управління винищувачами по швидкості у просторі станів різницевих параметрів /О.А. Коршець // Системи управління, навігації та зв'язку: наукове періодичне видання. – К.: ДП ЦНДІ навігації і управління, 2011. – 2(18). – С. 119-122.

3. Жаренков Л.А. Межсамолетная навигация и наведение самолетов / Л.А. Жаренков. – М.: Монино, 1987, 200 с.

4. Аппаратура А-317: Руководство по технической эксплуатации. – Х., 1988. – 222 с.

5. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / Под ред. академика Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2004. – 816 с.

6. Боднер В.А. Теория автоматического управления полетом / В.А. Боднер. – М.: Наука, 1964. – 205 с.

7. Вол В.П. Аналитическое конструирование оптимальной системы автоматического управления полетом вертолетов в строю / В.П. Вол. – М.: Автоматика и телемеханика, 1969. – №5. – С. 28-34.

8. Коршець О.А. Автоматизоване управління літаками в групі у просторі станів різницевих параметрів / О.А. Коршець // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сборник научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского „ХАИ". – Х., 2006. –. Вып. 32. – С. 38-46.

Надійшла до редколегії 14.11.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЧЕСКОГО ГРУППИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

О.А. Коршець, Н.О. Королюк

В статье приведены разностные уравнения управления летательными аппаратами в группе в определенном порядке для систем автоматического управления с использованием информации, которая поступает от средств межсамолётной навигации. Представленные уравнения позволят решать задачи автоматического управления боевыми порядками, переходить от одного порядка к другому в зависимости от условий и этапов полета.

Ключевые слова: *автоматическое управление в группе, летательные аппараты, разностные уравнения, межсамолётной навигация.*

THE ISSUE AUTOMATICALLY GROUP FOR AIRCRAFT

O.A. Korshets, N.A. Koroliuk

In the article the difference equations control aircraft in the group in a specific order for automatic control systems, using information received from the credit mizhlitakovoyi navigation. Presented equations allow to solve the problem of automatic control order of battle, to move from one order to another, depending on the conditions and phases of flight.

Keywords: *automatic control group, aircraft, difference equations, mizhlitakova navigation.*