DOI:10.33099/2311-7249/2021-40-1-63-68

УДК: 355:358.4

***Леонід Михайлович Артюшин** (доктор технічних наук, професор)*[1]
***Володимир Вікторович Герасименко** (кандидат військових наук)*[2]
***Володимир Валерійович Коваль** (кандидат військових наук, с.н.с.)*[3]

[1]Державний науково-дослідний інститут авіації України, Київ, Україна
[2]Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна
[3]Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ, Україна

МЕТОД ФОРМУВАННЯ СПІЛЬНОЇ АВІАЦІЙНОЇ ГРУПИ

Сьогодні, все частіше з'являється інформація щодо спільних польотів пілотованої та безпілотної авіації для виконання єдиного завдання. Користь такого симбіозу полягає у підвищенні ефективності бойового застосування авіації, збереженні життя льотного складу, зниженні витрат на виконання завдання, зростанні можливостей щодо відновлення боєздатності тощо. Але постає проблема, яким чином керувати формуванням спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації у польоті? Який математичний апарат існує сьогодні, що дозволить ефективно, відповідно до визначених критеріїв, керувати авіацією у складі спільних авіаційних груп?

Метою статті є розв'язання вищезазначеної проблеми шляхом застосування положень теорій класичної механіки та динаміки складних механічних систем. Актуальність проблематики пояснюється тим, що серед великої кількості задач, пов'язаних з управлінням складними механічними системами, задача формування потрібної (заданої) конфігурації є найбільш затребуваною та поліваріантною, залежною від початкових умов.

За кінцеву мету формалізації процесу формування спільної авіаційної групи вважатимемо формування конфігурації складної механічної системи шляхом двокритеріальної оптимізації за мінімальний час з мінімумом витрат енергії. При цьому рух кожного з елементів системи будемо описувати диференційними рівняннями.

Запропонований порядок розв'язання задачі оптимального управління конфігурацією спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації складає основу методу формування спільної авіаційної групи, який з метою зменшення потрібного часу на розрахунки може бути реалізований у нейронній мережі, що підвищить загальну ефективність симбіотичного (спільного) бойового застосування пілотованої та безпілотної авіації.

***Ключові слова**: спільна авіаційна група, складна механічна система, класична механіка, динаміка механічних систем, диференційне рівняння, управління конфігурацією, формування бойового порядку.*

Вступ

Одним з сучасних напрямів розвитку світової та української воєнної думки є бойове застосування роботизованих систем, зокрема безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), яке має на меті замінити людину на полі бою, зберігши при цьому високу ефективність досягнення кінцевої мети воєнних дій. В якості аргументів можна навести успіхи бойового застосування БпАК у Сирійській Арабській Республіці та Нагірному Карабаху. Але, на думку авторів, бойове застосування сучасної авіації не повинне обмежуватись застосуванням тільки безпілотних літальних апаратів, а еволюційно розвиватися з поступовим переходом від відокремленого бойового застосування пілотованої та безпілотної авіації, до їх спільного бойового застосування.

Постановка проблеми. Вочевидь, що ефективність такого бойового застосування у спільних бойових порядках буде значно перевищувати ефективність окремого застосування пілотованої та безпілотної авіації саме за рахунок поєднання їх сильних та взаємної компенсації слабких сторін. Таким чином, виникає проблема управління формуванням спільного бойового порядку пілотованої та безпілотної авіації, що є складною як у теоретичному, так і у практичному розумінні, а розв'язання цієї проблеми у науковій спільноті не набуло широкого розмаху і є актуальним науковим завданням.

© Л.М.Артюшин, В.В.Герасименко, В.В.Коваль

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальноприйняті підходи застосування положень теорій класичної механіки та динаміки складних механічних систем, опису та формалізації складної механічної системи наведені у [1-4]. Але широке коло задач з управління складними механічними системами, а саме задача формування потрібної конфігурації складної механічної системи, є найменш вивченими [5-8]. В останні роки, з'являються матеріали щодо застосування програмних комплексів для вирішення задач пов'язаних з робототехнікою з точки зору моделювання динамічних систем [9-12].

Переваги реалізації процедури пошуку оптимальних управлінь складною механічною системою з наданням траєкторії руху у вигляді суми експонент наведені у [13-14].

Метою статті є розв'язання проблеми формування у польоті спільного бойового порядку пілотованої та безпілотної авіації застосувавши положення теорій класичної механіки та динаміки складних механічних систем, формалізація та оптимізація процесу формування конфігурації складної механічної системи за критеріями часу та мінімуму енергетичних витрат, що складатиме основу методу формування спільної авіаційної групи.

Виклад основного матеріалу дослідження

З метою формалізації процесу формування спільної авіаційної групи, за кінцеву мету вважатимемо формування конфігурації складної механічної системи шляхом двокритеріальної оптимізації. Припустимо, необхідно зібрати N елементів механічної системи у визначеній частині простору за мінімальний час з мінімумом витрат енергії. При цьому рух кожного з елементів системи описується диференційними рівняннями вигляду

$$A_j(p)x_j(t) = b_j u_j(t),$$
$$A_j(p) = \sum_{k=0}^{n} a_{jk} p^k, \qquad (1)$$
$$p = \frac{d}{dt}(.), \qquad j = \overline{1,N},$$

де x_j – вихідна змінна;

u_j – управління, коефіцієнти a_{jk} і b_j відомі.

Покладемо, що $a_{jk} = 1$.

Розв'яжемо задачу створення управління $u^N(t) = \big(u_1(t), u_2(t), \dots, u_N(t)\big) \in U$ для $t \in [0,T]$, під дією якого система (1) буде зведена з початкового стану $x_j(0) = x_{0j}^0$, $\dot{x}_j(0) = x_{1j}^0, \dots, x_j^{(n-1)}(0) = x_{n-1,j}^0, x_j^{(n)}(0) = x_{n,j}^0$ в кінцевий $x_j^{(i)}(T), i = \overline{0, n-1}; j = \overline{1,N}$, по траєкторіях деякого класу $x_j^*(t)$ за мінімально можливий час $T(u^N)$ і при цьому дає оптимальне значення деякому функціоналу якості $I_N(T, u^N)$.

Якщо бажані траєкторії руху $x_j^*(t)$ як функції часу диференційовані необхідне число разів, то клас управлінь, що їх реалізує, визначається як

$$u_j^*(t) = b_j^{-1} A_j(p) x_j^*(t). \qquad (2)$$

Певні переваги при реалізації процедури пошуку оптимальних управлінь пов'язані з зображенням траєкторії руху у вигляді суми експонент [9,10].

При заданні $x_j^*(t)$ у вигляді

$$x_j^*(t) = \sum_{\nu=1}^{n} C_{\nu j} e^{\lambda_{\nu j} t}, \qquad (3)$$

де $C_{\nu j}$ – постійні параметри, що визначаються початковим станом системи, а $\lambda_{\nu j} = \{\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj}\}$, маємо можливості на основі програмного управління (2) одержати управління з оберненим зв'язком

$$u_j^*\big(x_i, \dot{x}_j, \dots, x_j^{(n-1)}\big) = b_j^{-1} \sum_{\mu=0}^{n-1} V_{\mu j} x_j^{(\mu)}. \qquad (4)$$

Коефіцієнти $V_{\mu j}$ однозначно визначаються характеристиками об'єктів управління і виглядом бажаних траєкторій.

Записуючи функціонал якості $I_N(T, u^N)$ і $T(u^N)$ як функцію параметрів траєкторії і управління – вектору λ_j, переходимо від задачі оптимального управління до задачі математичного програмування такого вигляду: знайти c і $\min T(\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj})$ при обмеженнях $\lambda_j \in \Lambda$, область Λ визначається з умови $u_j^*(\lambda_j, t) \in U$ для $t \in [0, T]$.

Розв'язок цієї задачі, що однозначно визначає шукане управління u^N, ускладнюється багатокритеріальністю. Можливий шлях розв'язання задачі, що полягає у зведенні її до однокритеріальної [11] (знаходження $\min W(\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj}) = hI_N(\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj}) + gT(\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj})$), через труднощі зумовлені визначенням h і g, пов'язаний з великими обчислювальними витратами. Уникнемо зазначених труднощів за рахунок організації двоетапної процедури оптимізації.

З постановки задачі випливає, що мінімальний час, витрачений на формування конфігурації системи, буде не менший за час, необхідний для переводу у кінцевий стан елементу системи, яка знаходиться у найгірших умовах, і для нього розв'язуємо задачу оптимальної швидкодії (визначаємо T^*). Потім розв'язуємо задачу відшукання

$$\min I_j\left(\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj}, T^*\right),\ j = \overline{1, N-1}.$$

Пошук елемента, що знаходиться у найгірших, з точки зору швидкодії, умовах, здійснюємо виходячи з вигляду $A_i(p)$ і $x_j^{(i)}(0), j = \overline{1,N}; i = \overline{0,n}$.

Нехай рух кожного з елементів системи підпорядковується закону

$$\ddot{x}_j + a_j \dot{x}_j + b_j x_j = u_j(t), \qquad j = \overline{1,N}$$

і в початковий момент часу вони знаходяться в стані $(\alpha_{1j}, \alpha_{2j})$. Знайдемо управління, що переводить систему (5) в кінцевий стан $(\varepsilon_j, \varepsilon_j') - \varepsilon$-околиця точки (0,0) за мінімально можливий час T з мінімальною витратою енергії $I_0 = \sum_{j=1}^{N} \int_0^T u_j^2(t)dt$ при $|u_j| \leq u_j^0$.

Пошук оптимальних траєкторій здійснимо у класі траєкторій вигляду

$$x_j^*(t) = c_{1j} e^{\lambda_{1j} t} + c_{2j} e^{\lambda_{2j} t}; \;\; \lambda_{1j}, \lambda_{2j} < 0.$$

Тоді

$$u_j^*(t) = c_{1j}(\lambda_{1j}^2 + a_j \lambda_{1j} + b_j) e^{\lambda_{1j} t} + c_{2j}(\lambda_{2j}^2 + a_j \lambda_{2j} + b_j) e^{\lambda_{2j} t}.$$

Виходячи з початкових умов,

$$c_{1j} = \frac{\alpha_{1j}\lambda_{2j} - \alpha_{2j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}},$$

$$c_{2j} = \frac{\alpha_{2j} - \lambda_{1j}\alpha_{1j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}}, \qquad (6)$$

$$j = \overline{1,N}.$$

Припустимо, що з величин $\{a_j\}_{j=1}^N, \{b_j\}_{j=1}^N, \{(\alpha_{1j}, \alpha_{2j})\}_{j=1}^N$ вдалося визначити, що найгіршим, з точки зору швидкості, є *N*-й об’єкт. Знайдемо для нього мінімально можливий час збору T^*. Область припустимих управлінь u_N визначається з співвідношення

$$\left| \frac{(\alpha_{1N}\lambda_{2N} - \alpha_{2N})(\lambda_{1N}^2 + a_N\lambda_{1N} + b_N)e^{\lambda_{1N} t} + (\alpha_{2N} - \lambda_{1N}\alpha_{1N})(\lambda_{2N}^2 + a_N\lambda_{2N} + b_N)e^{\lambda_{2N} t}}{\lambda_{2N} - \lambda_{1N}} \right| \leq u^0. \qquad (7)$$

Виходячи з умови $\lambda_{1N}, \lambda_{2N} < 0$ і вибираючи $\lambda_{1N} > \lambda_{2N}$, одержимо, що для виконання (7) досить виконання цієї нерівності при $t = 0$. Тоді після відповідних повторень одержимо

$$\lambda_{1N} \leq \frac{u^0 - b_N\alpha_{1N} - a_N\alpha_{2N} + \alpha_{2N}\lambda_{2N}}{\lambda_{2N}\alpha_{1N} - \alpha_{2N}}. \qquad (8)$$

Час T як функцію змінних λ_{1N} та λ_{2N} доцільно виразити із співвідношення ($\varepsilon_N' = 0$)

$$\frac{\alpha_{1N}\lambda_{2N} - \alpha_{2N}}{\lambda_{2N} - \lambda_{1N}} \lambda_{1N} e^{\lambda_{1N} t} + \frac{\alpha_{2N} - \lambda_{1N}\alpha_{1N}}{\lambda_{2N} - \lambda_{1N}} \lambda_{2N} e^{\lambda_{2N} t} = 0, \;\; (9)$$

$$T = \frac{1}{\lambda_{2N} - \lambda_{1N}} \ln\left[\frac{\lambda_{1N}(\alpha_{1N}\lambda_{2N} - \alpha_{2N})}{\lambda_{2N}(\alpha_{1N}\lambda_{1N} - \alpha_{2N})}\right].$$

Знайдемо

$$T^* = \min T(\lambda_{1N}, \lambda_{2N}), \;\; \lambda_{1N}, \lambda_{2N} \in u_N.$$

Проаналізувавши (9) і часткові похідні $\frac{\partial T}{\partial \lambda_{1N}}$, $\frac{\partial T}{\partial \lambda_{2N}}$, відмітимо, що шуканий розв’язок $(\lambda_{1N}^*, \lambda_{2N}^*)$, знаходиться на межі області u_N

$$\lambda_{1N} = \frac{u^0 - b_N\alpha_{1N} - a_N\alpha_{2N} + \alpha_{2N}\lambda_{2N}}{\lambda_{2N}\alpha_{1N} - \alpha_{2N}}. \qquad (10)$$

При зробленому раніше припущенні $\lambda_{1N} > \lambda_{2N}$ область пошуку скоротиться до множини точок межі

$$\Gamma(u_N' : u_N' \subset u_N / \lambda_{2N} > \lambda_{1N}).$$

Тоді

$$T = \frac{\lambda_{2N}\alpha_{1N} - \alpha_{2N}}{\lambda_{2N}^2\alpha_{1N} - 2\lambda_{2N}\alpha_{2N} - \beta} \ln\left[\frac{(\beta + \alpha_{2N}\lambda_{2N})(\alpha_{1N}\lambda_{2N} - \alpha_{2N})}{\lambda_{2N}(\alpha_{2N}^2\lambda_{1N} + \beta\alpha_{1N})}\right], (11)$$

де $\beta = u^0(b_N\alpha_{1N} + a_N\alpha_{2N})$. Вважаючи кінцевий стан $(\varepsilon_N, 0)$, одержимо ітераційну форму визначення λ_{2N}^*

$$\lambda_{2N}^* = \frac{\alpha_{2N}}{\alpha_{1N}} - \left[\varepsilon_N \frac{\lambda_{2N}^2\alpha_{1N} - 2\lambda_{2N}\alpha_{2N} - \beta}{(\lambda_{2N}\alpha_{1N} - \alpha_{2N})^2} + \frac{\lambda_{2N}(\alpha_{2N}\alpha_{1N} - 2\alpha_{2N}) - \beta}{\lambda_{2N}\alpha_{1N} - 2\lambda_{2N}\alpha_{2N} - \beta} \times \left(\frac{\beta + \alpha_{2N}\lambda_{2N}}{\lambda_{2N}^2\alpha_{1N} - 2\lambda_{2N}\alpha_{2N} - \beta}\right)^{\frac{(\beta + \alpha_{2N}\lambda_{2N})(\alpha_{1N}\lambda_{2N} - \alpha_{2N})}{\lambda_{2N}(\alpha_{2N}^2 + \beta\alpha_{1N})}}\right] \times$$

$$\left[\frac{\lambda_{2N}(\lambda_{2N}\alpha_{1N} - \alpha_{2N})}{\lambda_{2N}^2\alpha_{1N} - 2\lambda_{2N}\alpha_{2N} - \beta}\right]^{-\frac{(\beta + \alpha_{2N}\lambda_{2N})(\alpha_{1N}\lambda_{2N} - \alpha_{2N})}{\lambda_{2N}(\alpha_{2N}^2 + \beta\alpha_{1N})}} \times \frac{\lambda_{2N}^2\alpha_{1N} - 2\lambda_{2N}\alpha_{2N} - \beta}{\lambda_{1N}(\lambda_{2N}\alpha_{1N} - \alpha_{2N})}. \qquad (12)$$

Одержавши λ_{2N}^* за формулою (12), з (11) та (10) знаходимо T^* і λ_{1N}^*. Управління даного класу можна виразити через поточні координати системи. Це дозволяє створити керовані системи із зворотним зв’язком

$$u_N^*(t) = (\lambda_{1N}^* + \lambda_{2N}^* + a_N)\dot{x}(t) - (\lambda_{1N}^*\lambda_{2N}^* - b_N)x(t). \;(13)$$

Отже, мінімальний час переходу системи у кінцевий стан знайдено. Тепер винайдемо управління $u_j^*(t)$, $j = \overline{1, N-1}$, що переводить решту елементів у кінцевий стан з мінімальними витратами енергії. Область допустимих значень, аналогічно u_N, визначається відповідно до виразів виду (8).

Розглянемо функціонал якості

$$I_j = \int_0^T u_j^2(t)dt, \qquad I_j \cong -\frac{c_{1j}^2}{2\lambda_{1j}}\left(\lambda_{1j}^2 + a_j\lambda_{1j} + b_j\right)^2 - \frac{c_{2j}^2}{2\lambda_{2j}}\left(\lambda_{2j}^2 + a_j\lambda_{2j} + b_j\right)^2 - \frac{2c_{1j}c_{2j}}{\lambda_{1j}+\lambda_{2j}}\left(\lambda_{1j}^2 + a_j\lambda_{1j} + b_j\right)\left(\lambda_{2j}^2 + a_j\lambda_{2j} + b_j\right). \qquad (14)$$

Таким чином, параметри оптимального управління λ_{1N}^* та λ_{2N}^* можуть бути винайденими з розв'язання наступної задачі математичного програмування: знайти $\min I_j(\lambda_{1j}, \lambda_{2j}) = I_j^*$, $\lambda_j \in \Lambda$, область Λ визначається з умови $u_j^*(\lambda_j, t) \in U$, при обмеженнях $\lambda_{1j}, \lambda_{2j} < 0$ і вибираючи $\lambda_{1j} \neq \lambda_{2j}$;

$$\lambda_{1j} \le \frac{u^0 - b_j\alpha_{1j} - a_j\alpha_{2j} + \alpha_{2j}\lambda_{2j}}{\lambda_{2j}\alpha_{1j} - \alpha_{2j}},$$

$$\frac{\alpha_{1j}\lambda_{2j} - \alpha_{2j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}} e^{\lambda_{2j}T} + \frac{\alpha_{2j} - \lambda_{1j}\alpha_{1j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}} e^{\lambda_{1j}T} \le \varepsilon_j,$$

$$\frac{\alpha_{1j}\lambda_{2j} - \alpha_{2j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}} \lambda_{2j} e^{\lambda_{2j}T} + \frac{\alpha_{2j} - \lambda_{1j}\alpha_{1j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}} \lambda_{1j} e^{\lambda_{1j}T} \le \varepsilon_j'.$$

За одержаними λ_{1N}^* та λ_{2N}^*, $j = \overline{1, N-1}$, відповідно, виразами (14) та (13) визначаються значення функціоналу якості I_j^* та управління $u_j^*(t)$ для системи із зворотнім зв'язком.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Запропонований метод розв'язання задачі оптимального управління конфігурацією складної механічної системи, в якості якої розглядається спільна авіаційна група пілотованої та безпілотної авіації, що формується у польоті, може бути реалізований у нейронній мережі з метою зменшення часу виконання бойового завдання за рахунок зменшення часу на формування спільного бойового порядку, що у свою чергу підвищить загальну ефективність симбіотичного (спільного) бойового застосування пілотованої та безпілотної авіації.

Література

1. Голдстейн Г. Классическая механика. – М.: Наука, 1975. – 415 с.

2. Парс А.А. Аналитическая динамика. – М.: Наука, 1971. – 635 с.

3. Раус Э. Динамика системы твердых тел. Пер. с англ. в 2-х томах. Том 1. Под ред. Ю.А. Архангельского и В.Г.Дёмина. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 464 с.

4. Ланцош К. Вариационные принципы механики. – М.: Мир, 1965. – 408 с.

5. Артюшин Л.М. Задачи управления конфигурацией механической системы // Прикл. механика. К.: АН УССР, 1987. – 23, № 2. – С. 89–95.

6. Артюшин Л.М. Оптимальное управление формированием конфигурации механической системы. Докл. АН УССР. Кибернетика и вычислительная техника. Серия А. Физ.-мат. и техн. науки. К.: АН УССР, 1987. – № 11. С. 65–68.

7. Коренев В.Г. Цель и приспособляемость движений. – М.: Наука, 1974. – 528 с.

8. E. Bakker, H. Pacejka, L. Linder: A new tyre model with an application in vehicle dynamics studies. SAE Paper 890087 (1989).

9. Аюпов В.В. Математическое моделирование технических систем: учебное пособие. – Пермь: ИПЦ «Прокростъ», 2017. – 242 с.

10. Смолин И.Ю. Основы аналитической динамики (введение в аналитическую механику). Курс лекций. – Томск: ТГУ, 2007. – 32 с.

11. Mastinu Giampiero, Gobbi Massimiliano, Miano Carlo. Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications To Vehicle Engineering (2007), 403 p.

12. S.S. You, Y.H. Chai: Multi-objective control synthesis: an application to 4ws passenger vehicles. Mechatronics 9 (1999).

13. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: Линейные модели. – М.: Наука, 1987. – 304 с.

14. Павлов В.В. Инвариантность и автономность нелинейных систем управления. – К.: Наук. думка, 1971. – 270 с.

15. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Т.1. – М.: Мир, 1986. – 349 с.

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СОВМЕСТНОЙ АВИАЦИОННОЙ ГРУППЫ

***Леонид Михайлович Артюшин** (доктор технических наук, профессор)*[1]

***Владимир Викторович Герасименко** (кандидат военных наук)*[2]

***Коваль Владимир Валериевич** (кандидат военных наук, с.н.с.)*[2]

[1]Государственный научно-исследовательский институт авиации Украины, Киев, Украина

[2]Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

[3]Генеральний штаб Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина

Сегодня, все чаще появляется информация о совместных полетах пилотируемой и беспилотной авиации для выполнения единой задачи. Польза такого симбиоза заключается в повышении эффективности боевого применения авиации, сохранении жизни летного состава, снижении затрат на выполнение задания, росте возможностей по восстановлению боеспособности и т.д. Но возникает проблема, каким образом управлять формированием совместных авиационных групп пилотируемой и беспилотной авиации в полете? Какой математический аппарат существует сегодня, что позволит эффективно, в соответствии с определенными критериями, управлять авиацией в составе совместных авиационных групп?

Целью статьи является решение вышеупомянутой проблемы путем применения положений теорий классической механики и динамики сложных механических систем. Актуальность проблематики объясняется тем, что среди большого количества задач, связанных с управлением сложными механическими системами, задача формирования нужной (заданной) конфигурации является наиболее востребованной и многовариантной, зависящей от начальных условий.

Конечной целью формализации процесса формирования совместной авиационной группы будем считать формирование конфигурации сложной механической системы путем двухкритериальной оптимизации за минимальное время с минимумом затрат энергии. При этом движение каждого из элементов системы будем описывать дифференциальными уравнениями.

Предложенный порядок решения задачи оптимального управления конфигурацией совместной авиационной группы пилотируемой и беспилотной авиации составляет основу метода формирования совместной авиационной группы, с целью уменьшения потребного времени на расчеты может быть реализован в нейронной сети, повысит общую эффективность симбиотического (совместного) боевого применения пилотируемой и беспилотной авиации.

Ключевые слова: *совместная авиационная группа, сложная механическая система, классическая механика, динамика механических систем, дифференциальное уравнение, управление конфигурацией, формирование боевого порядка.*

THE METHOD OF A JOINT AVIATION GROUP FORMING

***Leonid Artyushin** (Doctor of technical sciences, Professor)*[1]
***Volodymyr Herasymenko** (Candidate of military sciences)*[2]
***Volodymyr Koval** (Candidate of military sciences, Senior Research Fellow)*[3]

[1]State Aviation Research Institute of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[2]National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine
[3]General Staff of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Today, more information appears about joint flights of manned and unmanned aviation to perform a common task. The benefit of this symbiosis lies in increasing the effectiveness of the aviation combat mission, saving the life of personnel, reducing the cost of completing a mission, increasing the ability to restore combat effectiveness, etc. But the problem arises of how to manage the formation of joint aviation groups of manned and unmanned aviation in flight? What mathematical apparatus exists today that will make it possible to effectively, in accordance with certain criteria, manage aviation as part of joint aviation groups?

The aim of the article is to solve the above problem by applying the provisions of the theories of classical mechanics and dynamics of complex mechanical systems. The relevance of the problem is explained by the fact that among the large number of problems associated with the control of complex mechanical systems, the problem of forming the required (given) configuration is the most popular and multivariate, depending on the initial conditions.

The ultimate goal of formalizing the process of forming a joint aviation group will be the formation of a configuration of a complex mechanical system by means of two-criteria optimization in a minimum time with a minimum of energy consumption. In this case, the motion of each of the elements of the system will be described by differential equations.

The proposed procedure for solving the problem of optimal configuration control of a joint aviation group of manned and unmanned aviation forms the basis of the method a joint aviation group forming, in order to reduce the time required for calculations, it can be implemented in a neural network, and will increase the overall efficiency of symbiotic (joint) combat mission of manned and unmanned aviation.

Key words: *joint aviation group, complex mechanical system, classical mechanics, dynamics of mechanical systems, differential equation, configuration control, combat group formation.*

References

1. Goldsteyn G. (1975), Klassicheskaya mehanika [Classical mechanics]. Moscow, 415 p.

2. Pars A.A. (1971), Analiticheskaya dinamika [Analytical dynamics]. – Moscow, 635 p.

3. Raus E. (1983), Dinamika sistemyi tverdyih tel. [Dynamics of the system of solids], Tom 1, Moscow, 464 p.

4. Lantsosh K. (1965), Variatsionnyie printsipyi mehaniki. [Variational principles of mechanics], Moscow, 408 p.

5. Artyushin L.M. (1987), Zadachi upravleniya konfiguratsiey mehanicheskoy sistemyi [Mechanical system configuration control problems], Prykl. mehanika, Kyiv, AN URSR, pp. 89–95.

6. Artyushin L.M. (1987), Optimalnoe upravlenie formirovaniem konfiguratsii mehanicheskoy sistemyi. [Optimal control of the formation of the configuration of the mechanical system], Dopov. AN URSR. Kibernetyka ta obchysluvalna tehnika, Seriya A, Fiz.-mat. i tehn. nauky, Kyiv, AN URSR, pp. 65–68.

7. Korenev V.G. (1974), Tsel i prisposoblyaemost dvizheniy. [Goal and adaptability of movements], – Moscow, Nauka, 528 p.

8. E. Bakker, H. Pacejka, L. Linder. (1989), A new type model with an application in vehicle dynamics studies. SAE Paper.

9. Ayupov V.V. (2017), Matematicheskoe modelirovanie tehnicheskih sistem. [Mathematical modeling of technical systems], Perm: IPTs «Prokrost'», 242 p.

10. Smolin I.Yu. (2007), Osnovyi analiticheskoy dinamiki (vvedenie v analiticheskuyu mehaniku). [Fundamentals of analytical dynamics (introduction to analytical mechanics)], Tomsk, TGU, 32 p.

11. Mastinu Giampiero, Gobbi Massimiliano, Miano Carlo. (2007), Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications To Vehicle Engineering, 403 p.

12. S.S. You, Y.H. Chai. (1999), Multi-objective control synthesis: an application to 4ws passenger vehicles. Mechatronics 9.

13. Krutko P.D. (1987), Obratnyie zadachi dinamiki upravlyaemyih sistem: Lineynyie modeli. [Inverse problems of the dynamics of controlled systems: Linear models], Moscow, Nauka, 304 p.

14. Pavlov V.V. (1971), Invariantnost i avtonomnost nelineynyih sistem upravleniya. [Invariance and autonomy of nonlinear control systems], Kyiv, Nauk. dumka, 270 p.

15. Rekleytis G., Reyvindran A., Regsdel K. (1986), Optimizatsiya v tehnike. [Optimization in technology], T.1, Moscow, Mir, 349 p.