

УДК 62.50

052-011+B253.33B641.0

С.В. Павлова, канд. техн. наук

**МОДЕЛЬ КОНУСІВ РУХУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА**

Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: sveval@ukr.net

*Запропоновано аналітико-комп'ютерний метод побудови топологічних образів конуса стану і керованості складних нелінійних динамічних об'єктів.***Постановка проблеми**

До основних проблем динаміки керованих систем, а особливо динаміки ергатичних (людино-машинних) систем, належать проблеми високо-ефективного комп'ютерного керування даними об'єктами з метою використання всіх можливостей конструкції. Розв'язання зазначеної проблеми пов'язано з необхідністю використання нелінійних закономірностей, закладених у характеристиках керованих систем.

Характеристики реальних об'єктів у всій області їхнього визначення, як правило, складні, нелінійні й неоднозначні. Вони відрізняються наявністю статичної і динамічної невизначеності та критичних точок, що особливо ускладнює положення справ. Через складність створення алгоритмів керування такими об'єктами переважно в класичній постановці алгоритмізуються закони керування об'єктами тільки в "малому", у так званих "лінійних областях", тобто в обмежених областях біля деяких статичних режимів. У системному розумінні це означає, що не всі можливості і стани об'єкта використовуються при класичному функціонуванні керованої системи. Ці невикористовувані можливості нелінійного об'єкта створюють "нелінійний технологічний ресурс" системи.

Тому на сьогодні особливо актуальна проблема алгоритмічного освоєння даного "нелінійного технологічного ресурсу" системи. Для розв'язання цієї проблеми необхідні нові постановки задач наукових досліджень, зокрема, урахування складної взаємодії нелінійного об'єкта з людино-комп'ютерним середовищем, що керує цим об'єктом у всьому можливому просторі станів, включаючи і критичні (керування "у великому").

**Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями**

На теперішній час проблема керування складними нелінійними динамічними об'єктами у всій області їхнього визначення знаходить своє відображення в державній науково-технічній програмі "Образний комп'ютер" і контракті "Розробка математичного забезпечення образного керування складними динамічними процесами при розпізнаванні об'єктів зовнішнього світу в умовах неповноти інформації і невизначеності".

Практичне значення розв'язання проблеми керування динамічними об'єктами у "великому" має безпосереднє відношення до систем типу безупинних автоматизованих, автоматичних і особливо ергатичних, до яких відносяться керовані рухливі об'єкти різного призначення: роботи, наземні, морські, річкові і повітряні транспортні засоби.

**Аналіз публікацій і досліджень**

Важливість і необхідність розробки методів керування об'єктом у цілому у всьому "нелінійному просторі" як одна з основних проблем сучасної теорії керування розглянуті в доповіді А.А. Красовського [1], присвяченій задачам Російської академії наук в області керування.

Російською академією наук сформульовані основні напрями сучасної прикладної теорії керування: інваріантність, компенсація збурень, заглушення небажаних нелінійностей глибокими твердими зворотними зв'язками, ідентифікація об'єктів структурними моделями, структурна і параметрична оптимізація, керування у всьому нелінійному просторі. Задачі розв'язання проблеми керування нелінійним об'єктом у цілому з урахуванням властивостей людини і комп'ютера на сьогодні лише ставляться.

**Невирішена частина загальної проблеми**

Позитивний досвід [2-6] розв'язання задач синтезу узагальнених законів керування рухом літальних апаратів (ЛА) обумовив подальший шлях розширення методології нелінійних систем [7; 8] у принципово нову "холестичну" концепцію створення керованих об'єктів. Ціль, яка може бути досягнута при реалізації даної концепції, — це комплексне розв'язання задачі керування складним нелінійним об'єктом у максимально можливій області його станів при використанні всіх закладених у конструкцію можливостей.

Актуальність даної проблеми викликана розвитком і спробами використання суперсучасних технологій CCV (Configuration Controlled Vehicle) для розв'язання задач керування нелінійними динамічними об'єктами з невизначеними параметрами для таких режимів: нормального (штатного), аварійного (позаштатного), вищого пілотажу, критичних, екзотичних.



**Метою** даної статті є знаходження образів конуса стану об'єктів, використовуваних при розв'язанні задачі "якості" як визначення принципової можливості розв'язання задачі керування.

### Виклад основного матеріалу

Для побудови топологічного образу конуса стану об'єкта необхідно знати його математичну модель, яка є математичним образом даного об'єкта. Назвемо його образом першого порядку.

З урахуванням поставленої задачі розробляється метод і алгоритм побудови образів конуса керованого стану складного нелінійного об'єкта. Характерним прикладом такого об'єкта є ЛА.

Відомо, що модель конусів являє собою рівняння з включеннями:

$$\frac{dx}{dt} \in \mathfrak{F}(t, x, u, v, \varepsilon), \quad x \in Q_x, u \in U, v \in V, \varepsilon \in \mathfrak{E},$$

де  $\mathfrak{F}$  – конус напряму, який визначається як вектор з вихідної системи рівнянь, отриманої в одній із систем координат [7];  $x \in Q_x$  – вектор стану вихідних змінних об'єкта керування;  $Q_x$  – область визначення об'єкта керування;  $u \in U$  – вектор вхідних змінних, керуючих станом вихідних змінних об'єкта;  $v \in V$  – вектор вхідних збуджуючих змінних;  $\varepsilon \in \mathfrak{E}$  – малі параметри, обумовлені технологічними невизначеностями.

У загальному випадку рівняння, що описують динаміку ЛА, як правило, досить складні (нелінійні, нестационарні, багатовимірні).

Вигляд цих рівнянь залежить від багатьох факторів:

- конструктивних особливостей ЛА;
- умов польоту;
- ступеня врахування впливу зовнішніх і внутрішніх сил;
- прийнятої системи координат, в якій вони записуються;
- загального рівня деталізації розглянутих процесів.

Зручними для дослідження є кінематичні рівняння просторового руху ЛА щодо плоскої землі в напівшвидкісній системі координат при знехтуванні відцентровими кориолісовими силами:

$$\begin{aligned} m \frac{dV}{dt} &= P_f \cos(\alpha + \varphi_x) \cos \beta - X - G \sin \theta; \\ Vm \frac{d\theta}{dt} &= P_f (\sin(\alpha + \varphi_x) \cos \gamma_c + \cos(\alpha + \varphi_x) \times \\ &\times \sin \beta \sin \gamma_c) + Y \cos \gamma_c - Z \sin \gamma_c - G \cos \theta; \\ -Vm \cos \theta \frac{d\psi}{dt} &= P_f (\sin(\alpha + \varphi_x) \sin \gamma_c - \cos(\alpha + \varphi_x) \times \\ &\times \sin \beta \cos \gamma_c) + Y \sin \gamma_c Z \cos \gamma_c; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{dX_g}{dt} = V \cos \theta \cos \psi_c;$$

$$\frac{dY_g}{dt} = V \sin \theta;$$

$$\frac{dZ_g}{dt} = -V \cos \theta \sin \psi_c,$$

де  $m$  – маса ЛА;  $V$  – швидкість центра мас;  $P_f$  – сила тяги двигуна;  $\alpha$  – кут атаки;  $\varphi_x$  – кут установки двигуна;  $\beta$  – кут ковзання;  $X, Y, Z$  – проекції повної аеродинамічної сили  $R$  на осі  $OX, OY, OZ$ ;  $G$  – сила ваги;  $\theta$  – кут нахилу траєкторії;  $\gamma_c$  – кут швидкісного крену;  $\psi$  – кут курсу;  $X_g, Y_g, Z_g$  – проекції абсолютної швидкості на земні осі координат;  $\psi_c$  – кут швидкісного курсу.

Сили задаються співвідношеннями:

$$P_f = \delta_g P_0(\delta_g, \alpha, \varphi_x, H, M);$$

$$X = C_x q S;$$

$$Y = C_y q S;$$

$$Z = C_z q S,$$

де  $\delta_g$  – сектор тяги;  $P_0$  – висотно-швидкісна характеристика двигуна [6];  $H$  – висота польоту над землею;  $M$  – число маха;  $q$  – швидкісний напір;  $C_x, C_y, C_z$  – коефіцієнти аеродинамічної подоби;  $S$  – площа крила.

Для поставленої узагальненої задачі використовується найбільш загальна модель коефіцієнтів аеродинамічної подоби у вигляді модифікованих поляр Ньютона:

$$C_x = C_{x_0}(M) + C_{x_a}^i(M) |\sin^3 \alpha| + C_{x_b}^i(M) |\sin^3 \beta|;$$

$$C_y = \frac{1}{2} C_{y_0}^a(M) \sin \alpha \cos \alpha |\sin \alpha|;$$

$$C_z = \frac{1}{2} C_{z_0}^b(M) \sin \beta \cos \beta |\sin \beta|.$$

Область вірогідності моделі має вигляд:

$$Q_x : \{M = (0; 10); \theta = (0^\circ; 360^\circ); \psi = (0^\circ; 360^\circ);$$

$$H = (0; 15000 \text{ м});$$

$$U : \{\alpha = (0^\circ; 360^\circ); \beta = (0^\circ; 360^\circ); \gamma_c = (0^\circ; 360^\circ);$$

$$\varphi_g = (0^\circ; 360^\circ); \delta_g = (0; 1)\};$$

де  $Q_x$  – множина параметрів стану об'єкта;  $U$  – множина параметрів керування об'єктом.

Згідно з визначенням поняття конуса  $\mathfrak{F}$  його компонентами в просторі  $(V, \theta, \psi)$  є відповідно до систем ортів  $\mathfrak{F}$  праві частини системи (1).

Аналіз математичної моделі гіпотетичного об'єкта показує, що в загальному випадку будь-



який динамічний об'єкт має велику кількість параметрів (більше трьох) і складну нелінійну структуру взаємозв'язків параметрів стану і параметрів керування.

Тому графічно можна одержати тільки проєкції образів конуса  $\mathfrak{S}$  стану і керованості об'єкта в двовірному чи тривірному просторах.

Для розв'язання задач керування складним нелінійним об'єктом за концепцією ССВ необхідні дослідження повного топологічного образу конуса  $\mathfrak{S}$  об'єкта, компонентами якого є:

- образ ресурсу керування;
- динамічний образ;
- образ області керованого стану;
- образ якості.

При аналізі математичного образу об'єкта було виявлено й отримано множину геометричних образів конуса стану і керованості об'єкта, показано, що повний топологічний образ конуса  $\mathfrak{S}$  і його компоненти структуруються за стратегіями керування і параметрами стану об'єкта. Дані геометричні образи конуса  $\mathfrak{S}$  об'єкта будуються алгебро-аналітико-геометричним методом.

Розглянемо деякі характерні структуровані геометричні образи конуса  $\mathfrak{S}$  об'єкта (рис.1, 2).

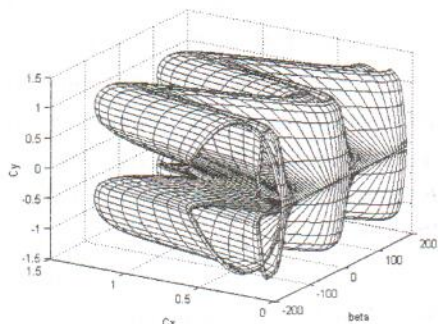


Рис. 1. Проекція образу поляри ЛА в просторі  $(\alpha, \beta, M)$

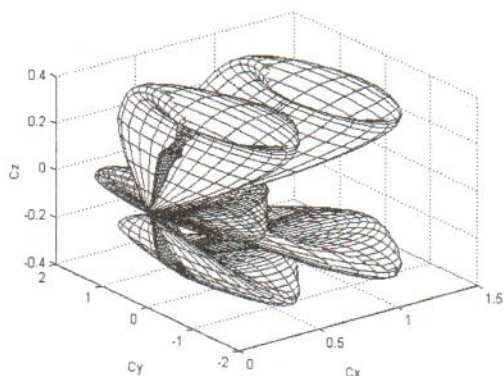


Рис. 2. Проекція образу ресурсу  $C=(C_x, C_y, C_z)$  узагальненого об'єкта, потенційно закладеного в його конструкцію, у просторі параметрів  $(\alpha, M)$

Розглянуті істотно нелінійні системи, видалені від областей стійкості, не можуть бути досліджені точними аналітичними методами [1]. Такі системи можуть бути досліджені тільки комп'ютерними методами (рис. 3, 4, 5).

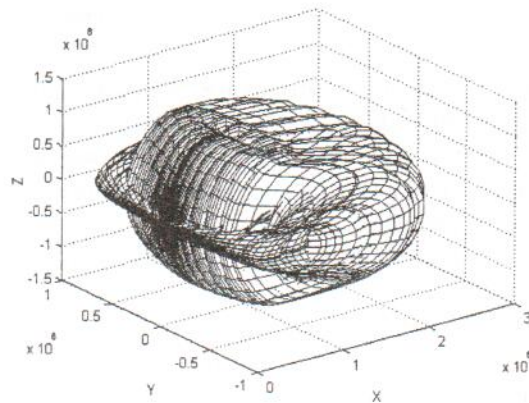


Рис. 3. Образ сил  $F=(X, Y, Z)$  узагальненого об'єкта в просторі параметрів  $(\alpha, \beta, M)$

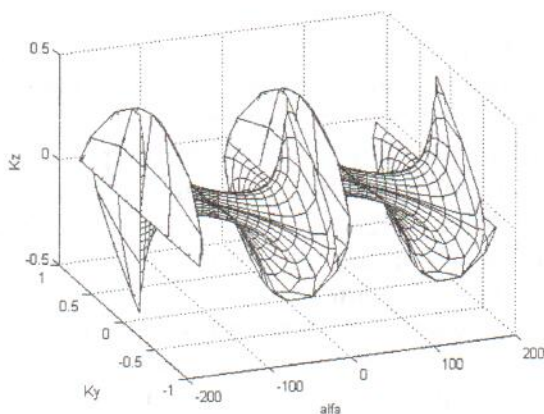


Рис. 4. Образ якості  $K=(K_y, K_z)$  ЛА в просторі параметрів керування

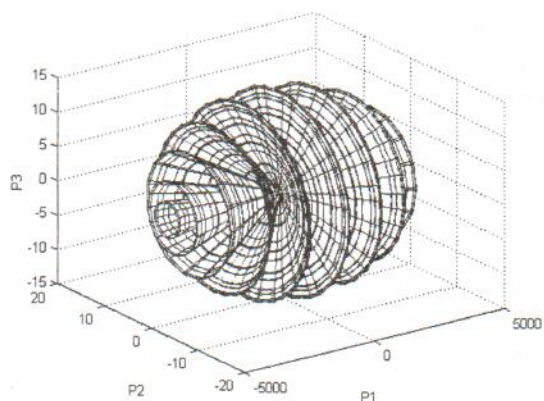


Рис. 5. Геометричний образ конуса  $P=(P_x, P_y, P_z) = \mathfrak{S}(\mathfrak{S}_x, \mathfrak{S}_y, \mathfrak{S}_z)$  керованого стану об'єкта в просторі параметрів керування  $(\gamma_c, \phi_g, \beta)$



### Висновки

При побудові й аналізі графічних образів конуса об'єкта було виявлено, що вони мають складну топологію і складну нелінійну внутрішню структуру.

При зміні границь діапазону параметрів спостерігаються якісні і кількісні зміни графічного образу конуса об'єкта.

В образах спостерігаються області згущення (ущільнення) і області розрідження.

В області ущільнення об'єкт має задовільну керованість і їм можна керувати існуючими стандартними методами.

В областях розрідження, близьких до оболонки образу, об'єкт має погану керованість унаслідок значних змін параметрів стану об'єкта при незначних змінах параметрів керування. У цих областях керувати об'єктом існуючими методами складно чи неможливо. Тут необхідно застосовувати нові принципи керування.

Одним із таких методів є метод логіко-динамічного керування на основі графічних образів керованих станів об'єкта.

Були виявлені множинність і неоднозначність образів конуса об'єкта залежно від обраного простору параметрів, в якому будуються образи. Проекції образів якісно і кількісно різні для різних наборів параметрів.

В явному вигляді в структурі образів простежуються фази станів.

Аналізувати й одержувати такі динамічні образи можливо тільки з застосуванням комп'ютерної техніки і спеціально розробленого програмно-алгоритмічного забезпечення.

У загальному випадку динамічні об'єкти керування мають багато параметрів і складну нелінійну структуру, тому для побудови графічних динамічних образів конуса керованих станів об'єкта в реальному масштабі часу необхідне застосування розпаралелених процесів обчислення і матричного комп'ютера.

### Список літератури

1. Красовский А.А. Исторический очерк развития и состояния теории управления. – М.: ОАО НПО "Монтажавтоматика", 1999. – 69 с.
2. Павлова С.В. Анализ возможных деформаций нелинейной системы и методология их преодоления // Проблемы управления и информатики. – К.: НАН Украины, 1999. – № 6. – С. 31–39.
3. Копылова С.В. Возможность повышения качества управления нелинейным динамическим объектом с ростками катастроф // Кибернетика и вычислительная техника. – К.: НАН Украины, 1997. – Вып. 112. – С. 63–68.
4. Павлов В.В., Скрылец А.В., Копылова С.В. Синергетика системных отказов в сложных авиатранспортных системах // Кибернетика и вычислительная техника. – К.: НАН Украины, 1997. – Вып. 116. – С. 87–98.
5. Павлова С.В., Четкеженко В.И. Легко схватываемый информационный интерфейс // Аэронавигация и авионика: Тр. междунар. науч.-техн. конф. "Проблемы развития систем аэронавигационного обслуживания и авионики воздушных судов". – К.: КМУТА. – 1998. – С. 111–112.
6. Павлов В.В., Павлова С.В. Решение критических задач управления на основе закона функционального гомеостазиса // Кибернетика и вычислительная техника. – К.: НАН Украины, 2000. – Вып. 128. – С. 3–15.
7. Филиппов А.Ф. Приложение теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью к нелинейным задачам автоматического регулирования // Тр. Первой междунар. конф. по автоматическому управлению. Т. 1. – М.: АН СССР, 1961. – С. 25–33.
8. Павлов В.В. Начала теории эргатических систем. – К.: Наук. думка, 1975. – 240 с.

Стаття надійшла до редакції 23.06.03.

С.В. Павлова

Модель конусов движения летательного аппарата

Предложен аналитико-компьютерный метод построения топологических образов конуса состояний и управляемости сложных нелинейных динамических объектов.

S.V. Pavlova

Model of cones of plane movement

The analytical-computer method of construction of topological images for the analysis of a condition and controllability of complex nonlinear dynamic objects is suggested.