

УДК 682.964

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

О.А. Кононов

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО РЕАЛІЗАЦІЇ СИНЕРГЕТИЧНОГО ПРИНЦИПУ ПОВБУДОВИ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

У статті розглядаються методичні основи рішення сучасних задач автоматизації управління складними багатоелементними об'єктами з урахуванням стохастичних вимог до якості управління. Пропонується методичний підхід до алгоритмічного синтезу ергатичних (людино-машинних) систем управління в рамках синергетичного принципу побудови.

Ключові слова: багатоелементний об'єкт, синергетичний принцип, ергатична система управління.

Вступ

Інтенсивне удосконалювання технологічної бази є основним сучасним фактором розширення границь області автоматизації, розширення функціональності створюваних систем управління. Це ставить перед теорією нові види задач автоматизації, де розглядаються усе більш складні об'єкти управління, функціонування в умовах неповної апріорної інформації, цільової невизначеності, протидії, коли пред'являються жорсткі стохастичні вимоги до якості управління, вимоги забезпечення прецизійного управління, обмеження за рівнем психофізіологічних навантажень на керуючий персонал. Найбільше гостро потреба в рішенні таких задач виникає при створенні нових і модернізації існуючих систем автоматизованого управління технологічними процесами [1] і, насамперед, при створенні перспективних комплексів озброєння [2]. При цьому відзначається [1], що основною проблемою їхнього рішення є нездатність забезпечити в рамках існуючих методичних підходів необхідну якість управління.

Різні дослідники по-різному підходять до рішення даної проблеми. Дехто [3], прагне розв'язати її за рахунок розробки адекватних моделей поведінки людини-оператора і використання їх замість людини для забезпечення необхідної якості управління (техноцентричний підхід). Інші (антропоцентричний підхід) [4] пропонують шукати рішення за рахунок розширення фізіологічних можливостей людини-оператора по керуванню в умовах невизначеності, протидії, неповної і суперечливої інформації засобами автоматики. Ці підходи витікають з різного погляду на ідеологію побудови і функціонування людино-машинних систем, і мають право на існування. У даному дослідженні автор дотримувався антропоцентричного підходу.

Результати досліджень

Розглянемо антагоністичний конфлікт між двома опонентами у вигляді диференціальної гри, у випадку відсутності повної інформації про іншу сторону і її дії (умови цільової невизначеності):

$$\Gamma = \langle x_{t_0}, x'_{t_0}, F_{x, \tilde{x}, u, t}, F_{x', \tilde{x}, u', t}, C_{x, x', u, t} \rangle, \quad (1)$$

де x_{t_0}, x'_{t_0} – початковий стан фазових координат динамічних об'єктів опонентів; $F_{x, \tilde{x}, u, t}, F_{x', \tilde{x}, u', t}$ – оператори, що описують динаміку об'єктів управління, наприклад, у формі Ланжевена: $\dot{x} = Ax + Bu_{x, \tilde{x}, t} + \xi t$, де A, B – динамічна матриця і матриця керувань об'єкта управління; ξt – випадкові збурювання стану з нульовим математичним очікуванням і кінцевою кореляційною матрицею; $C_{x, x', u, t}$ – функція виграшу, значення якої визначається співвідношенням $x t$ і $x' t$. Наприклад, значення функції можна задати відстанню у евклідовому просторі між об'єктами опонентів з координатами X, Y, Z і X', Y', Z' відповідно, в момент часу t :

$$C_{x, x', u, t} = \sqrt{X - X'^2 + Y - Y'^2 + Z - Z'^2}. \quad (2)$$

У цих умовах необхідно визначити алгоритм управління, що забезпечував б максимальний виграш в умовах розглянутого конфлікту

$$u^* t : \max C_{x, x', u, t} \quad (3)$$

з урахуванням виконання стохастичних обмежень $P C_{x, x', u, t} > C_{np} > P_{доп}$, що відповідають вимозі одержання необхідного виграшу із заданою імовірністю, і урахуванням фізіологічних обмежень оператора, що у загальному випадку можна представити обмеженою швидкістю переробки інформації оператором $V_{опр} < const$. Якщо розглядається стохастичні дії опонента $u' t$, то дану задачу можна інтерпретувати як задачу автоматизації управління підприємством в умовах немонополізованого ринку, якщо розглядати випадок «розумного» опонента, що діє за визначеною стратегією, то така постановка відповідає задачам автоматизації сучасних комплексів озброєння.

Покажемо принципові обмеження існуючої технології побудови систем ергатичного управління при рішенні поставленого типу задач автоматизації (1) – (3).

Сучасна технологія побудови систем управління при всьому різноманітті підходів, методів і алгоритмів заснована на принципі формування необхідних силових впливів [1]. Сутність даного принципу, незалежно від форм технічної реалізації, складається з двох основних положень:

– сутність управління полягає у визначенні і завданні такого зовнішнього силового впливу на об'єкт, щоб отримати досягнення їм необхідного термінального фазового стану. Адекватною формою моделей об'єктів за таким принципом формування управління є різні варіанти рівняння Лагранжа другого роду

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_i} + \frac{\partial V}{\partial x_i} + \frac{\partial R}{\partial \dot{x}_i} = f_i \quad t ,$$

що описує енергетичні перетворення

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k m_{ij} \dot{x}_i \dot{x}_j \quad \text{– кінетична,}$$

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x_i \partial x_j} \right)_0 x_i x_j \quad \text{– потенційна}$$

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \xi_{ij} \dot{x}_i \dot{x}_j \quad \text{– дисипативна енергія) без}$$

урахування внутрішньої структури і процесів у системі;

– загальний вид закону управління в даному випадку має вигляд

$$u(t) = \Lambda_g x, t \cdot u_g t - \Lambda_x x, t \cdot x_{zad} t - \hat{x} t \quad , (4)$$

де $u_g t = [u_g^1, u_g^2, u_g^3, \dots, u_g^k]^T$ – k – мірний вектор управління оператора (вектор гомеостатичного управління [5]); $\hat{x} t$ – вектор оцінки стану об'єкта; $x_{zad} t$ – вектор заданої фазової траєкторії руху об'єкта; $\Lambda_g x, t$ – у загальному випадку матричний коефіцієнт підсилення сигналу управління оператора; $\Lambda_x x, t$ – у загальному виді матричний коефіцієнт стабілізації стану об'єкта.

Розглянемо функціональну модель людини-оператора в рамках даного контуру управління у виді «чорної скриньки» G_{u_g, u_g} , де об'єктивні фізіологічні обмеження можна представити обмеженою кількістю входів u_g і виходів u_g «чорної скриньки» [6]. Тоді обмеження на кількість сприйнятої оператором інформації можна представити обмеженою кількістю входів $u_g = [u_g^1, u_g^2, \dots, u_g^L]$, а обмежену продуктивність обробки інформації – об-

меженою кількістю виходів $u_g = [u_g^1, u_g^2, \dots, u_g^M]$ [6].

Дана модель є досить грубим відображенням процесу реального функціонування оператора, але дозволяє якісно оцінити можливості оператора в розглянутому контурі управління. Зокрема, очевидним стає факт нездатності забезпечити жорсткі вимоги до якості управління в умовах (1) – (3): якщо розмірність системи перевищує рівень, що відповідає фізіологічним здібностям оператора ($1 \gg L$ і $m \gg M$), то частина компонентів вектору $x_{zad} t$ стає невизначеною і відповідно не керованою. Це означає, що в рамках даного принципу управління, частина фазових координат стану виявляється некерованою відносно оператора, що і є методичною причиною неможливості забезпечення необхідної високої якості управління у рамках силового принципу формування управління.

Для рішення розглянутої задачі пропонується застосувати принцип формування управління, сутність якого полягає в урахуванні внутрішньої структури і енергоінформаційних процесів в об'єкті управління для досягнення необхідного фазового стану системи шляхом самоорганізації її структури [1]. У цьому випадку основні положення принципу формування управління полягають у наступному:

– управління полягає у завданні такої області бажаних фазових координат і відповідного регулятора, що, використовують внутрішні процеси самоорганізації в об'єкті і забезпечують досягнення об'єктом необхідного кінцевого фазового стану. Адекватним засобом опису об'єктів у цьому випадку є теорія інваріантів, атракторів і функціоналів [1].

– процес управління полягає в наступному: оператор задає область фазових станів об'єкта $x^* t_k$, яку необхідно досягнути в t_k момент часу (бажаний атрактор системи). На основі даної інформації автоматична частина системи формує такий алгоритм управління $U t$, що використовує ефекти самоорганізації об'єкта управління та забезпечує самостійний рух фазового стану об'єкта до бажаного атрактору.

При цьому розмірність атрактору (множини бажаних станів) $x^* t_k$ виявляється істотно менше, ніж розмірність об'єкта управління, що визначає принципову можливість рішення розглянутого виду задач автоматизації (1) – (3) і є характерною перевагою даного принципу побудови систем управління.

Для систем автоматичного керування була запропонована процедура «розширення – стиску» простору фазових станів [1], що є методичною основою реалізації принципу синергетичного управління. Для випадку людино-машинних (ергатичних) систем управління дана процедура не є адекватною – бо вона не враховує специфіку взаємодії людини і автоматичних пристроїв.

Для реалізації алгоритмічного синтезу людино-

машинних систем за принципом синергетичного управління пропонується процедура послідовної оптимізації [7], що складається з двох етапів: оптимізації системи за гомеостазисним критерієм $J_g(x, u_g, t)$ на першому етапі

$$u_g^* : \min_{t} J_g(x, u_g, t) = J_g^*, \quad u_g \in \Omega_g \quad (5)$$

та наступної оптимізації за цільовим критерієм на другому етапі

$$u^* : \min J_c(x, u, u_g^*, t) = J_c^* \quad \text{при } J_g = J_g^* \quad u_g \in \Omega_g, u \in \Omega_u \quad (6)$$

Сутність даної процедури полягає у тому, що вона дозволяє, на першому етапі, визначити структуру й параметри автоматичної системи управління для забезпечення прийнятних умов функціонування оператора, а на другому етапі – забезпечити необхідну якість управління, що задана цільовим критерієм.

Перевагою запропонованої процедури алгоритмічного синтезу ергатичних систем управління є те, що вона дозволяє звести задачу оптимізації управління в умовах антагоністичного конфлікту із цільовою невизначеністю і стохастичними обмеженнями (1) – (3) до послідовного рішення відомих у технічній кібернетиці задач, а саме: задачі розподілу функцій управління між оператором і автоматичними системами [4], та задачі синтезу нелінійного регулятора виходячи з заданого розподілу функцій [5].

Висновки

Таким чином, зробимо наступні висновки:

1. Одна з причин, що обмежує подальшу автоматизацію управління складними багатоелементними об'єктами, полягає у принципових обмеженнях традиційного силового підходу при побудові систем управління.

2. Стає можливим системне рішення розглянутих видів задач автоматизації (1) – (3) за умови зміни принципу побудови систем управління, а саме:

переходу від зовнішнього силового впливу на об'єкт управління для досягнення необхідного фазового стану (принципу силового управління) до управління з максимальним урахуванням внутрішньої структури і енергоінформаційних процесів в об'єкті управління у вигляді ефектів самоорганізації (принципу синергетичного управління).

3. Адекватною процедурою реалізації принципу синергетичного управління при синтезі систем ергатичного управління є послідовна оптимізація системи по гомеостазисному та цільовому критеріям. У цьому випадку задача синтезу зводиться до послідовного рішення задач розподілу функцій управління між оператором (операторами) і автоматичними системами та синтезу нелінійного регулятора, що є напрямком подальших досліджень у цій галузі.

Список літератури

1. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – М.: Энергоатомиздат, 1994г. – 256 с.
2. Кононов О.А., Пастушенко В.П. Возможности иснующего методического аппарата при обеспечении функциональной стойкости эргатических систем керування перспективними бойовими авіаційними та авіаційно-космічними комплексами // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. № 9(58). – С. 40-44.
3. Справочник по теории автоматического регулирования / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
4. Кондратенков В.А. Эргономический аспект безопасности полетов. – К.:КВВАИУ, 1988. – 140 с.
5. Павлов В.В. Начало теории эргатических систем. – К.: Наукова думка, 1975. – 240 с.
6. Боднер В.А. Автоматическое управление при полете строем. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1955. – 46 с.
7. Большие технические системы: проектирование и управление / Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиятдинов, И.А. Попов, А.В. Марченко / Под ред. И.А. Попова. – Х.: Факт, 1997. – 400 с.

Надійшла до редколегії 15.09.2008

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук співробітн. І.М. Ратніков, Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ПОСТРОЕНИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

А.А. Кононов

В статье рассматриваются методические основы решения современных задач автоматизации управления сложными многоэлементными объектами с учетом стохастических требований к качеству управления. Предлагается методический подход к алгоритмическому синтезу эргатических (человеко-машинных) систем управления в рамках синергетического принципа построения.

Ключевые слова: многоэлементный объект, синергетический принцип, эргатическая система управления.

METHODOICAL GOING NEAR REALIZATION OF SINERGISTICAL PRINCIPLE OF CONSTRUCTION OF ERGATIC CONTROL THE SYSTEM

A.A. Kononov

In the article methodical bases of decision of modern tasks of automation of management difficult multyelement objects are examined taking into account stochastic requirements to quality of management. The methodical going is offered near the algorithmic synthesis of ergatic (human-machine) control the system within the framework of sinergistical principle of construction.

Keywords: multiple-unit object, sinergistical principle, ergatic control system.