

УДК 681.513.2

IMPLEMENTATION OF STABLE SOLUTIONS FOR CONTROL TASKS OF INERTIAL MULTIPARAMETER OBJECTS

V. Ivashchuk, A. Ladanyuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Multiparameter
Stability
Guaranteed control
Inertial
Dynamic*

Article history:

Received 01.07.2016
Received in revised form
16.07.2016
Accepted 14.08.2016

Corresponding author:

V. Ivashchuk
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The aim of this research is to define the methods for synthesis of stable control for objects having poor dynamic characteristics. Guaranteeing the control for implementation of optimal coordination parameters for dynamic objects had been determined in the paper. The requirements for multivariate control application have been pointed. The order of coordinating the controllable variables for implementation of stable transient response to target values for state coordinate has been specified. The reevaluation of the set of correlated state coordinates that provides stable control intensity relatively of the static norm of an object model had been done for variable parametric trajectory. The problems of using multi process control for technological production had been specified. The need to ensure the conditions for existing constraints of control resources had been pointed. The mechanism for stable control of the object, which is characterized by limited handling, had been presented. The presented method is appropriate for realization as guaranteed parametric controls of movement object and this is a base for prospects of further application for solving problems of multidimensional guaranteed control.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКИХ РОЗВ'ЯЗКІВ У ЗАДАЧАХ КЕРУВАННЯ ІНЕРЦІЙНИМИ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

В.В. Іващук, А.П. Ладанюк

Національний університет харчових технологій

У статті визначено порядок формування гарантованого керування для забезпечення оптимальної, відносно інтегральної оцінки, стратегії для багатопараметричних об'єктів. Окреслено вимоги до умов застосування багатомірного керування, розглянуто порядок координації змінних керування для забезпечення стійкого перехідного процесу системи до цільових значень координат. Для змінюваної параметричної траєкторії здійснено переоцінку сукупності корельованих координат стану, що забезпечує незміщеність інтенсивності керування відносно статичної норми моделі об'єкта. Проана-

лізовано проблеми використання багатокординатного керування для технологічних об'єктів. Сформовано умови забезпечення існуючих обмежень на ресурси керування. Запропоновано механізм для забезпечення стійкості керування об'єктом, який характеризується обмеженою керованістю. Представлена методика є доцільною для реалізації гарантованого керування параметричним рухом об'єкта та основою перспектив подальшого застосування для розв'язання задач багатомірною гарантованого керування.

Ключові слова: багатопараметричний, стійкість, гарантоване керування, інерційний, динамічний.

Постановка проблеми. Бізнес і технології пов'язані наявністю ризиків, які мінімізуються при добре визначеному або навіть гарантованому результаті реалізації технології. Спрощення процесів і наближення до дискретно-неперервного типу в промисловому виробництві набуло широкого розповсюдження серед підприємств, що розвиваються. В той же час об'єкти, що мають невеликий ланцюг процесів, не володіють гнучкістю, необхідною для засвоєння нових видів продукції за обраним напрямком переробки. Так, особливого значення для багатоасортиментного виробництва набуває гарантоване керування, коли за частотої зміни регламенту для технологічного комплексу постає необхідність налаштування виробництва: у термінах, передбачених виробничим планом, у забезпеченні енергоощадного керування цільовими параметрами процесів, без втрати характеристик продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Типовим класом задач, що розглядає теорія автоматичного керування, є методи керування процесами, в яких виникають суттєві відхилення при зміні завдання. Типовий порядок реалізації керуючих дій оцінюється як мінімальна квадратична норма, яка зближує цільову координату з динамікою, що відповідає найбільш впливовому за оцінкою чутливості каналу керування. Останнє суттєво обмежує якість керування динамічних об'єктів в задачах зміни завдання [1], оскільки відбувається накопичення помилки, що в інтегральному підсумку залежатиме від динамічних характеристик каналу керування. Суттєвою проблемою, з точки зору економії витрат, що застосовується під час керування з єдиним контуром, є забезпечення швидкості переходу та мінімізації динамічної помилки, яка виникає через невідповідність динаміки контуру керування до динаміці обраного для керування каналу. Так, часто канал, до якого застосовують керувальні дії, має нелінійні характеристики в робочому діапазоні керування об'єкта [2]. Для нелінійних функцій оцінка визначається як лінеаризація поведінки через заміщення функціями Ляпунова з подальшою оцінкою їх наближеної поведінки на стійкість [3]. Численні системи, що відносяться до класу гарантованого керування, беруть за основу відповідність зведення задачі керування у клас асимптотично стійких через використання додаткового контуру керування, що більш відомий як асимптотичний спостерігач [4]. Задачею, яку розв'язують асимптотичні керовані системи, є наближення цільової координати до заданого значення через компенсацію зовнішніх збурень, включаючи невимірювані. Визначення адекватних статич-

них коефіцієнтів моделі керованого каналу дозволяє мінімізувати статичну похибку, що є важливим фактором для відтворення регламенту та мінімізації інтегральних показників технологічних витрат. Так, приведення багатомірної системи до статично стійкого стану було використано у працях, де розкриваються характеристики для застосування на лінійних системах [5].

Метою дослідження є обґрунтування методики забезпечення стійкості для гарантованого керування динамічними об'єктами, яка доповнюється умовами реалізації обраних критеріїв при обмеженій керованості об'єкта.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перевагою гарантованого підходу в задачах багатоасортиментного керування є передбачуваність подій, що дає змогу підготувати керування змінними об'єктами як ініціалізоване детермінованим завданням. Визначення необхідної швидкості перебудови режиму технологічного процесу, у випадку динамічних об'єктів, обмежує ресурси, що необхідні для керування E . Протягом зміни режимів технологічних процесів багатопараметричного об'єкта з динамічними складовими інтегральна вартість динамічної похибки I , за кожною окремою координатою стану, зростає відповідно до динаміки корельованих технологічних змінних T_i .

Для реальних багатомірних систем характеристикою, яка все ще залишається актуальною, є забезпечення стійкості процесу керування. Стійкість приймається характеристикою, що визначає тенденцію наближення в процесі керування до цільових значень обраного критерію, за яким приймається рішення про достатню точність керування. Розімкнені системи розраховуються на робастне керування, що пов'язано з неідеальними моделями, які змінюють свої параметри та структуру залежно від меж застосування вхідних координат. Отже, для випадку використання системи керування без зворотного зв'язку задача стійкості буде залежати від адекватності моделі

керування до моделі об'єкта в координатному просторі $\sum_{i=1}^n Y$ задачі керування.

Актуальним є дослідження об'єкта для цільового простору варіацій, а саме: для зменшення відхилень цільових координат з будь-якими початковими умовами y_{i_0} в межах, що допустимі технологічними режимами

$[y_{i_{\min}}, y_{i_{\max}}]$. Для функцій, які є суттєво нелінійними важливу роль відіграє

існування єдиного напрямку $\text{grad } y_i$ та просторового положення $\sum_{j=1}^m X$ в

наступному кроці. Оскільки із збільшенням меж реальної системи $[y_{i_{\min}}, y_{i_{\max}}]$ залежності f_{XY} між параметрами стану набувають нелінійного вигляду, то є підстава для застосування вирішувача, що повертатиме розв'язок до стійкого стану сходження координатної помилки ε_y .

Для об'єктів, що описуються в просторі станів (1) множиною змінних керування u та спостереження x , визначені характеристики динаміки, де корельовані величини, з числа змінних керування, віднесені до мультиплікативних складових міжпараметричних залежностей, всі інші — до адитивних

складових. До групи останніх відноситься чисельна кількість невимірюваних величин, що разом впливають на зміщення статичної оцінки і мають бути враховані, як такі, що розподілені через часові відносини $\zeta(t)$:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + \zeta(t) \end{cases} \quad (1)$$

де C — матриця стану вихідних координат; A, B — матриці коефіцієнтів Якобі для вхідних змінних стану та змінних керування.

Умови досягнення варіацій керованих координат

$$f_{XY} : (y_i; y_{i_zad}) \xrightarrow{\min \Delta y_i} \varepsilon_{y_i_zad} \quad (2)$$

можуть бути отримані як умови адекватності моделі

$$f_{XY} = \begin{cases} C : X \rightarrow Y \\ A : BU \rightarrow \dot{X} \end{cases}, \exists f_{XY} : [y_{i_min}, y_{i_max}], i \in R[1, n] \quad (3)$$

стосовно простору взаємозв'язаних змінних об'єкта. Для функціональних зв'язків між параметрами відбувається рекурсія (3) нелінійної задачі з метою отримання упередженої мінімізації відхилень при багатомірному керуванні. Оціночно можна вказати, що за обмеження варіативного простору відповідає адекватність перерахунку коефіцієнтів моделі об'єкта в модель керування за (3). Вказані умови (2) визначаються через мінімізацію різниці у динамічних характеристиках об'єкта $\langle A, B \rangle$, що мінімізує перерегулювання та через приведення статичною оцінкою коефіцієнтів передачі C в моделі керування до їх аналогів в об'єкті. Оскільки розглядається технологічна система, то склад функції (3) в системі передбачає участь технологічних потоків, які щонайменше опосередковано пов'язані через вихідну змінну. Априорі статистична корельованість між керувальними змінними встановлюється оцінкою взаємкореляційних функцій. Для технологічних змін згідно із завданням оцінені квадратичні норми на сукупності просторових координат, де

$$A_{ij_norm} = \left\| \Delta A_{ij} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta A_{ij} \right]^{-1} \right\|_2 \quad (4)$$

прийнята для переоцінки структури координат об'єкта, де ΔA_{ij} — як мінімальна різниця в коефіцієнтах Якобі для суміжних моделей представлення стану по входам.

Варіація інтенсивності кожної змінної x априорі обмежена за ефективності реалізації задачі оцінкою автокореляційної функції x_corr , що узагальнено виступає частотним обмеженням впливу оцінюваного технологічного потоку

$$\text{var } A < \sup \tau_{x_corr}, \quad (5)$$

де τ_{A_corr} — час спаду автокореляційної функції.

Порівняльний аналіз перехідних процесів системи керування з єдиним контуром і з багатомірним керуванням дозволяє встановити наслідки корельованого впливу та нелінійного характеру між координатами керування (рис. 1).

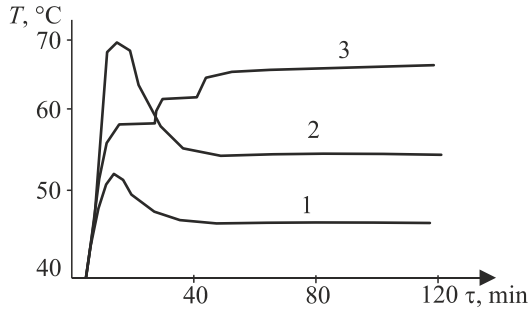


Рис. 1. Порівняльний аналіз реалізації керування багатопараметричної системи:

- 1 — з однопараметричним керуванням у межах ресурсу керування;
- 2 — з однопараметричним керуванням, без компенсації внутрішніх міжпараметричних зв'язків;
- 3 — з багатопараметричним керуванням

Для забезпечення обмежень варіацій, необхідних для стійкого керування, здійснюється прорідження багатопараметричного регулятора та редукція задачі керування окремих контурів до примітивних динамічних моделей. Оскільки розглядається вплив на єдину вихідну координату серед керованих, як проекції всіх корельованих, що прийняті до керування, то амплітудо-фазові характеристики розглядаються в єдиній координатній площині. Для задачі зміни координатного напрямку здійснювалося оцінювання відповідних проекцій координатних траєкторій через CA_{char}^{-1} стосовно напрямку зміни координати, що прийнята за характеристичну y_{char} . В оцінці наближення до цільового режиму приймаються координати, що, відповідно до цілей керування, мають найгірше значення: задача оптимізації швидкодії — найгірші динамічні показники впливу керованих координат, економії теплових витрат — найбільш ізольоване від джерела серед регламентованих режимом параметрів процесу.

Статична відповідність для процесу збіжності цільової координати стану забезпечується у межах просторових координат:

$$Y_{ik} \in [y_{i_min}, y_{i_max}], k = [1, l], \quad (6)$$

де l — кількість стійких станів, що реалізується в моделі (1) за вихідною координатою y_i , а отже:

$$f_{y_i} \sim f_{y_slow}, dy_{i_slow} dt^{-1} = \min \dot{Y}, y_i \in Y \quad (7)$$

статистична відповідність групи $\langle A, B \rangle \sim f_{y_slow}, dy_{i_slow} dt^{-1} = \min \dot{Y}$, орієнтованої до найбільш повільної з обраних для багатомірного керування змінних. Оскільки умови мінімізації варіативного простору для стійкого розв'язку вимагають забезпечення мінімальної розмірності задачі координації, то кількість динамічних каналів обирається з позицій:

- забезпечення ресурсом керування варіації обраних координат в області, де функція, визначена за (7), існує і зберігає своє відображення в моделі (1);
- апіорі обмеженої для передбаченого простору додаткової координати керування як запасу стійкості для компенсації динаміки об'єкта внаслідок обмеження ресурсів окремої з обраних координат;
- для перерахунку статичної адекватності визначаються критичні точки, що відповідають моделі функціоналу за (7), що відрізняється не більше як на помилку δ від діапазону варіації (6), що обирається для цільової координати стану y_i регламентом задачі як точність встановлення режимного параметру процесу.

Оскільки для розімкненої системи керування стійкість характеризує спрямування процесу координації в єдиній напівплощині аж до досягнення скінченних результатів з покращення точності, швидкості за умови, що під час прийняття керування параметри алгоритму залишаються єдиними і безальтернативними. Зворотний зв'язок з відпрацювання завершення процесу координації ініціалізує перерахунок коефіцієнтів моделі керування лише у випадку отримання прогресивної зміни похідної величини у бік зростаючої більш як на $\delta = f(\varepsilon_{y_i_zad})$ з (2) або такої, що залишається незмінною на порядок астатизму керування координати, що встановлюється регламентами технологічного процесу, як похибки координації цільової величини. Довірчий діапазон для лінійної системи апіорі встановлюється для кожної з обраних

змінних керування x_i . При цьому по групі корельованих з множини $\sum_{i=1}^n Y$ цільових вихідних змінних задіюється обмеження на варіацію в межах (6), порушення яких змінює ранг k для задачі координації та передає задачу координації до іншої цільової координати з $i \in [1, n]$ стану по групі Y . Відсутність астатизму можлива лише за рахунок використання максимально наближених статичних коефіцієнтів Якобі в моделі (1).

Більш швидкі динамічні канали реалізують своє керування з максимальним часом сходження автокореляційної функції, яка може бути визначена для каналу попередньо. Таким чином, ідентифікація реалізації відгуку керування здійснюється за оцінкою динаміки сходження, що надає можливість оцінити отриманий крок і реалізувати наступний крок як

$$\Delta y_{i+1}(x_{j+1} - x_j)^{-1} = \Delta y_i(x_{j+1} - x_j)^{-1}, \quad (8)$$

де $\Delta y_i = (y_{i\min_norm} - y_0)$, $y_{i0} = y_{i-1_norm}$. Оскільки кожний параметр стану має своє допустиме відхилення, яке визначається максимальною і мінімальною y_{\min_norm} нормою, відповідно виділяється задача оптимізації:

$$\Delta y_i : y_{i0} \rightarrow y_{\min_norm}, \min \Delta y_i \rightarrow \begin{cases} \min E \\ \max \tau \end{cases}, \quad (9)$$

де E — енергія, що буде затрачена на керування; τ — час перехідного процесу $y_{i0} \rightarrow y_{i_norm}$. Оцінювана варіація є мінімальною з позицій перехід-

ного процесу цільової координати, що визначена режимом. Оскільки метою побудови керування є забезпечення стійкості алгоритму сходження, то необхідною умовою залишається рекурсія помилки, а, відповідно, й статичних коефіцієнтів у моделі керування. Для забезпечення статичної адекватності здійснюється нормалізація траєкторії за (4). Оцінювана варіація є мінімальною з позицій сходження цільової координати, що визначена режимом. Супроводження параметричної множини до необхідних потужностей, що забезпечують обмеження за δ , дозволяють оптимізувати швидкість сходження в околі верхньої межі за (6), до якої наближаються через (2), що загалом створює необхідні умови для реалізації гарантованого керування параметричним рухом об'єкта. Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення умов стійкості алгоритму та процесу формування стану вихідних змінних моделі S в умовах нелінійної поведінки функціоналів, що описують міжпараметричні взаємодії корельованих змінних.

Висновки

Багатоасортиментне виробництво об'єктивно відноситься до окремого класу об'єктів керування, маючи ряд характерних ознак, що потребує використання адекватних методів для підвищення показників процесу керування. Відкривається можливість супроводження параметричної множини до необхідних потужностей, що забезпечують характеристики розміру одиниці продукції та одиничної продуктивності виробництва.

Література

1. *Syms R.* Dynamic competition model of regime change / Richard Syms, Laszlo Solymar // Journal of the Operational Research Society: IEEE Operational Research Society Ltd. — 2015. — Vol. 66. — P. 1939—1947.
2. *Луцька Н.М.* Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами: [монографія] / Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. — Київ: Видавництво «Ліра-К», 2015. — 288 с.
3. *Choi J.-Y.* Global stability analysis scheme for a class of nonlinear time delay systems / J.-Y. Choi // Journal Automatica: Elsevier Ltd. — 2009. — Vol. 45(10). — P. 2462—2466.
4. *Хобин В.А.* Системы гарантирующего управления технологическими агрегатами: основы теории, практика применения / В.А. Хобин. — Одесса: ТЭС, 2008. — 306 с.
5. *Duan G.-R.* LMIs in control systems; analysis, design and applications / G.-R. Duan, Yu. Hai-Hua. — U.S.: CRC Press, Taylor&Francis Group — 2013. — 483 p.
6. *Ivashchuk V.* Definition of depth for flexibility of technological system / V. Ivashchuk, A. Ladaniuk // Ukrainian Journal of Food Science. — 2015. — V. 3. — I. 2. — P. 233—243.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫМИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

В.В. Иващук, А.П. Ладанюк

Национальный университет пищевых технологий

В статье определяется порядок формирования гарантированного управления для обеспечения оптимальной (относительно интегральной оценки)

стратегии для многопараметрических объектов. Определены требования к условиям применения многомерного управления, рассматривается порядок координации переменных управления для обеспечения устойчивого переходного процесса системы к целевым значениям координат. Для изменяемой параметрической траектории осуществлена переоценка совокупности коррелированных координат состояния, которая обеспечивает несмещенность интенсивности управления относительно статической нормы модели объекта. Заявлены проблемы использования многокоординатного управления для технологического производства. Сформированы условия обеспечения существующих ограничений на ресурсы управления. Предложен механизм для обеспечения устойчивости управления объектом, который характеризуется ограниченной управляемостью. Представленная методика является целесообразной для реализации гарантированного управления параметрическим движением объекта и есть основой перспектив дальнейшего применения для решения задач многомерного гарантированного управления.

Ключевые слова: многопараметрический, устойчивость, гарантированное управление, инерционный, динамический.