УДК 681.532

Д.М. Гудков

Київська державна академія водного транспорту
імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Київ

МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ОПЕРАТОРІВ У СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Стаття присвячена розробці методики застосування нелінійних операторів для систем автоматичного управління і регулювання для високої якості управління водним транспортом при апріорній невизначеності і розширює можливості автоматичних систем. Запропоновано метод, який може знайти застосування при вирішенні завдань автоматики і при створенні систем управління складними об'єктами.

Ключові слова: *управління, нелінійний оператор, рівняння, методика, коефіцієнти.*

Вступ

Основним завданням судноводіння, є використання автоматичних систем водного транспорту з можливістю визначення з підвищеною точністю їх місцезнаходження [1]. В останні роки у зв'язку з впровадженням в практику цифрових методів обробки сигналів з'явилася можливість використання ефективних засобів та приладів для отримання необхідних показників якості прийому різних параметрів. Тому важливим напрямком наукових пошуків у цій галузі є розробка та дослідження керуючих впливів для вироблення оптимального рішення [1] в умовах апріорної невизначеності параметрів систем управління водного транспорту.

Аналітичний огляд літератури. Аналіз джерел [2 – 4] показав, що серед різноманітних методів забезпечення систем автоматичного регулювання до збурюючих впливів важливу роль відіграє використання спеціальних коригувальних пристроїв, що забезпечують абсолютну інваріантність системи до збурюючих впливів заданого функціонального виду [3, 4]. Умова забезпечення інваріантності в третій формі [3], має вигляд

$$K\left[x\left(t\right)\right]=0, \tag{1}$$

де $x\left(t\right)$ – реалізація квазідетермінованого збурюючого впливу; $K\left[x\right]$ – оператор, який перетворює збурюючий вплив у регульовану величину.

У зв'язку з цим **метою статті** є розробка методики застосування операторів у системах автоматичного регулювання водного транспорту для використання спеціальних коригувальних пристроїв, які здатні забезпечувати адаптацію системи до збурюючих впливів.

Виклад основного матеріалу

Постановка завдання. Задача забезпечення адаптивних систем керування третьої форми ідейно близька до відомої радіотехнічної задачі побудови режектуючих фільтрів, наприклад [4], у задачі забезпечення інваріантності систем зв'язку методом інваріантного оператора. Ці задачі вирішувалися в основному в класі лінійних операторів.

Добре відомі [3] лінійні оператори $K\left[x\right]$, які задовольняють умову (1) для таких порівняно простих впливів, як

$$x\left(t\right)=\alpha e^{-\beta t}; \tag{2}$$

$$x\left(t\right)=A\sin\left(\omega t+\phi\right), \tag{3}$$

де α,β,ω – відомі величини.

Відомо, що можливості лінійних операторів з точки зору забезпечення інваріантності в третій формі за відсутності апріорної інформації про параметри збурюючих впливів вельми обмежені [3]. Тому доцільно розширити їх за рахунок нелінійних операторів. У загальному випадку задача може бути сформульована таким чином.

Заданий квазідетермінований процес

$$x\left(t\right)=x\left(t,b_1,b_2,b_3,...,b_M\right), \tag{4}$$

де $\vec{b}$ – випадкові або апріорно невідомі параметри.

Знайти оператора $K\left[x\right]$, що задовольняє умові

$$K\left[x\left(\vec{t}\right)\right]\equiv 0. \tag{5}$$

Вирішення цього завдання може бути отримано на основі використання системи диференціальних рівнянь, що породжують вихідний процес.

Побудуємо рівняння, що включає похідні процесу $x\left(t\right)$ і множину коефіцієнтів $\vec{b}$:

$$f\left(x,\dot{x},\ddot{x},...,\vec{b}\right)=f\left(\vec{x}^{(m)},\vec{b}\right)=0, \tag{6}$$

Таке рівняння завжди може бути побудовано для процесу заданого аналітично разом зі своїми похідними. Застосуємо до лівої і правої частин рівність (6) функціональне перетворення, що полягає у використанні оператора L_n, у результаті отримуємо нове рівняння такого виду

$$L_n\left\{f\left(\vec{x}^{(m)},\vec{b}\right)\right\}=0\,. \qquad (7)$$

Вводячи в розгляд сукупність операторів $\{L_n\}_{n=0}^{M}$, складемо систему із M+1 рівнянь виду (7), де M – число параметрів $\vec{b}$. Вирішуючи цю систему відносно параметрів $\vec{b}$, можливо визначити вид оператора $K[x]$. У деяких випадках ця задача може бути вирішена до кінця в загальному вигляді.

При умові, що породжуюче рівняння лінійне, а L_n належить класу лінійних операторів вираз (7) можливо записати у вигляді

$$L_n\sum_{m=0}^{M}q_m x^{(m)}(t)=\sum_{m=0}^{M}q_m L_n x^{(m)}(t)=0,, \qquad (8)$$

де коефіцієнти q_m однозначно пов'язані з коефіцієнтами b_m вихідного рівняння. Використовуючи оператори L_n, складемо систему із M+1 рівнянь

$$\sum_{m=0}^{M}q_m L_i x^{(m)}(t)=0,\quad i=\overline{0,M}\,. \qquad (9)$$

Визначивши із перших M рівнянь параметри q_m і підставивши їх в останнє рівняння, ми виключимо коефіцієнти q_m і тим самим вирішимо задачу визначення оператора $K[x]$. Неважко довести, що цей оператор записується у вигляді такого визначника

$$K[x]=\begin{vmatrix} L_0x^{(0)} & L_0x^{(1)} & \dots & L_0x^{(M)}\\ L_1x^{(0)} & L_1x^{(1)} & \dots & L_1x^{(M)}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ L_Mx^{(0)} & L_Mx^{(1)} & \dots & L_Mx^{(M)} \end{vmatrix}. \qquad (10)$$

Визначник (10) рівний нулю при будь-якому виді оператора L_n. Конкретний вид L_n залежить від завдань, які покликаний вирішувати даний пристрій (у більшості випадків це або оператор диференціювання або інтегрування в сенсі обчислення першообразної). Таким чином, методика визначення оператора зводиться до такого:

1. По заданому функціональному виду процесу $x(t)$ в припущенні, що всі параметри апріорно відомі, відшукується породжуюче диференціальне рівняння виду (6).
2. Вибирається конкретний вид оператора L_n.
3. З використанням сукупності операторів L_n, складається система рівнянь виду (9).
4. Складається визначник системи відносно невідомих коефіцієнтів q_m виду (10).
5. Визначається оператор $K[x]$ шляхом рішення визначника (10).

Викладену вище методику проілюструємо наступними прикладами. Нехай $x(t)=A\sin(\omega t+\phi)$, де A,ϕ,ω - невідомі параметри. Тоді породжуюче рівняння процесу $x(t)$ має вигляд

$$\ddot{x}+\omega^2 x=0\,. \qquad (11)$$

Виберемо в якості лінійного оператора L_n оператор диференціювання, в якому n позначає порядок диференціювання. Для виключення з (11) параметра ω складемо систему з двох рівнянь

$$L_0\ddot{x}+\omega^2 L_0 x=0\,,\quad L_1\ddot{x}+\omega^2 L_1 x=0\,,$$

яка, очевидно, приводиться до вигляду

$$\ddot{x}+\omega^2 x=0\,,\quad \dddot{x}+\omega^2\dot{x}=0\,.$$

Шуканий нелінійний оператор

$$K[x]=\begin{vmatrix} x & \ddot{x}\\ \dot{x} & \dddot{x}\end{vmatrix}=x\dddot{x}-\dot{x}\ddot{x}\,, \qquad (12)$$

тобто $K[x]\equiv 0$ при будь-яких A,ϕ,ω.

Розглянемо другий приклад. Нехай

$$x(t)=A_1\sin(\omega_1 t+\phi_1)+A_2\sin(\omega_2 t+\phi_2)\,,$$

де $A_1, A_2, \phi_1, \phi_2, \omega_1, \omega_2$ – апріорно невідомі параметри. Визначимо породжуюче рівняння

$$\ddddot{x}+\left(\omega_1^2+\omega_2^2\right)\ddot{x}+\omega_1^2\omega_2^2 x=0\,. \qquad (13)$$

Вибираємо в якості L_n оператор диференціювання і складемо систему управлінь

$$\begin{cases} x^{(4)}+\left(\omega_1^2+\omega_2^2\right)x^{(2)}+\omega_1^2\omega_2^2 x=0,\\ x^{(5)}+\left(\omega_1^2+\omega_2^2\right)x^{(3)}+\omega_1^2\omega_2^2 x^{(1)}=0,\\ x^{(8)}+\left(\omega_1^2+\omega_2^2\right)x^{(4)}+\omega_1^2\omega_2^2 x^{(2)}=0. \end{cases} \qquad (14)$$

Складемо визначник Δ системи (14):

$$\Delta=\begin{vmatrix} x & x^{(2)} & x^{(4)}\\ x^{(1)} & x^{(3)} & x^{(5)}\\ x^{(2)} & x^{(4)} & x^{(6)}\end{vmatrix}. \qquad (15)$$

Визначимо оператор $K[x]$, порахувавши визначник (15).

Висновки

В статті запропонована методика визначення оператора $K[x]$ для систем інваріантних до перешкоджаючих збурюючих впливів при виробленні керуючих операцій.

Особливістю розробленої методики, є те, що в тих випадках, коли застосування диференціального оператора неможливо з технічних причин (не вдається реалізувати багаторазове диференціювання), можна застосувати для отримання системи рівнянь виду (9) будь-який лінійний оператор.

Таким чином, розроблений методичний апарат цікавий тим, що відомі методи, засновані на використанні лінійних операторів, не дозволяють забезпечити інваріантність у третій формі.

Список літератури

1. *Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.*
2. *Ткаченко А.Н. Судовые системы автоматического управления и регулирования / А.Н. Ткаченко. – Л.: Судостроение, 1984. – 288 с.*
3. *Корнилов Э.В. Системы дистанционного автоматизированного управления судовыми двигателями / Э.В. Корнилов, П.В. Бойко. – Одесса, Фенікс, 2006. – 260 с.*
4. *Емельянов С.В. Новые типы обратной святи. Управление при неопределенности / С.В. Емельянов, С.К. Коровин – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.*

Надійшла до редколегії 20.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Л. Баранов, Київська державна академія водного транспорту, Київ.

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Д.М. Гудков

Статья посвящена разработки методики применения нелинейных операторов для систем автоматического управления и регулирования для высокого качества управления водным транспортом при априорной неопределенности и расширяет возможности автоматических систем. Представлен метод, который может найти применение при решении задач автоматики и при создании систем управления сложными объектами.

Ключевые слова: *управление, нелинейный оператор, уравнение, методика, коэффициенты.*

METHODS OF OPERATORS IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS WATER TRANSPORT

D.M. Gudkov

The article is devoted to the development of a methodology for the application of non-linear operators of automatic control and regulation for the management of high-quality water transport in the a priori uncertainty and enhances the automation systems. A method that can be used to solve problems of automation and control systems to create complex objects.

Keywords: *management, nonlinear operator equation technique factors.*