УДК 681.532

Гудков Д.М., Богомья В.І., Тихонов І.В.

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОТОЧНИХ ВИМІРІВ У СУДНОВИХ СИСТЕМАХ

У ході експлуатації суднових систем виникають завдання розподіленого та достовірного оброблення поточніх параметрів. Так, розглядають питання, пов'язані з можливістю уточнення отриманих параметрів у процесі обчислювання результатів поточніх вимірювань у суднових системах з розподіленими параметрами. У статті показано аналітичний апарат для обчислювання отриманих результатів з використанням теорії чутливості.

***Ключові слова**: система, чутливість, відхилення параметрів, номінальні значення.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Складність завдання судноводіння пов'язано з тим, що на судно, яке розглядають як об'єкт керування, впливає різноманіття зовнішніх впливів середовища, необхідність обробки великої кількості даних (як від внутрішніх, так і зовнішніх джерел інформації), особливостями функціонування навігаційної апаратури й силових засобів керування при обмеженому часі для прийняття рішень, а також низкою інших обставин [1]. При цьому комплекси, що керують рухом сучасних морських суден, містять автоматизовані системи й елементи системи автоматичного регулювання і керування. Особливістю цих пристроїв є чутливість їхніх елементів і датчиків, які призначені для вимірювання різних фізичних величин: температури, тиску, витрат, рівня рідини, швидкості обертання тощо. При цьому чутливість кожного елемента різна. Це пов'язано з конструктивними особливостями побудови й принципами дії, що характеризується природою вимірюваної величини і способом її вимірювання. Тому нині приділяється велика увага завданню впливу змін параметрів на властивості системи [1, 2]. Сукупність понять і методів, що виникли під час вирішення цього завдання, привело до розвитку систем керування на основі теорії чутливості даних систем. Використання теорії чутливості дає можливість судити про вплив відхилень параметрів (що характеризують як власні властивості системи, так і властивості зовнішнього середовища, в яких функціонує система) на її характеристики [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень та публікацій [1, 3, 4] свідчить, що під час аналізу чутливості в основному спираються на класичні методи теорії малих обурень з відповідності їх інтерпретації.

Поширеним методом є метод використання функцій чутливості, що має низку особливостей:

по-перше, при визначенні функцій чутливості необхідно знати стан вихідної (номінальної) суднової системи;

по-друге, визначення функцій чутливості пов'язане з розв'язанням рівняння чутливості;

по-третє, не вдається виявити точного зв'язку між структурою і відхиленням параметрів суднової системи і структури відхилення їх характеристик, що в значній мірі утрудняє створення малочутливих або нечутливих систем.

Формулювання цілі статті

Представляє інтерес дослідження чутливості суднових систем без використання рівнянь чутливості, тобто створення методу, який з'явився для порівняння точності результатів, що якраз і є метою цієї статті. Таким чином, методом дослідження чутливості може бути метод, заснований на використанні поняття безперервних груп, перетворень простору й простору характеристик самої системи.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для вивчення чутливості систем з розподіленими параметрами скористаємося методом, запропонованим у роботі [5], заснованим на вживанні деяких понять теорії безперервних груп. Основна ідея полягає в тому, що вихідний процес вкладений в деяку сукупність процесів, близькість яких визначається можливістю розгляду їх як результату інфінітезимальних перетворень, застосованих до вихідного (номінальному) процесу.

Розглядається процес, поведінка якого описується нелінійною системою диференціальних рівнянь у похідних першого порядку

$$\psi_k = \left(x, y, \frac{\partial y}{\partial x}, a \right) = 0, \quad \left(k = \overline{1}, \overline{m} \right) , \tag{1}$$

де $x \equiv (x_1, x_2, ..., x_n)$ – незалежні змінні;

$a \equiv (a_1, a_2, ..., a_b)$ – параметри системи, які можуть набувати значень з деякої безлічі **Ω**;

$\Phi \equiv (y_1, y_2, ..., y_m)$ – вектор-функція, що характеризує стан системи в точці x;

$\frac{\partial y}{\partial x}$ $(i = 1, n; \quad k = 1, m)$ – позначена сукупність частних похідних.

У просторі залежних змінних E_m стану системи визначається вектором Φ. Кожному параметру a в цьому просторі відповідає сповна певний вектор $\Phi = (x, y, a)$. Передбачається, що малому відхиленню параметра $a \in \Omega$ від номінального відповідає відхилення вектор-функції Φ.

Надалі розглядається таке завдання чутливості: потрібно знайти відхилення характеристик системи $y_1, y_2, ..., y_m$, зумовлені відхиленнями параметрів $a_1, a_2, ..., a_b$ від номінальних значень.

Покажемо, що це завдання можна вирішити за допомогою безперервної групи перетворень вектор-функції Φ і параметрів системи, що залишає інваріантними рівняння (1), які трактуватимемо як рівняння різноманіття Н, регулярно заданого в просторі Евкліда з координатами $x, y, \frac{\partial y}{\partial x}, a$. Система (1) допускає r-параметричну групу Лі ($\varepsilon \equiv (\varepsilon_1, \varepsilon_2, ..., \varepsilon_r)$ – груповий параметр)

$$\begin{aligned} y^{1i} &= g^i(y, \varepsilon), \quad i = 1, m; \\ a^{1j} &= A^j(a, \varepsilon), \quad j = 1, e. \end{aligned} \tag{2}$$

Якщо різноманіття Н є диференціальним інваріантним різноманіттям групи G_r. Для цього необхідно і досить виконання нерівностей [3, 5]

$$\tilde{X}_a \psi_k \Big|_{(1)} = 0, \quad a = 1, r; \; k = 1, m,$$

де $\tilde{X}_a$ – оператор продовженої групи, отриманий продовженням оператора

$$X_a = \xi_a^i \frac{\partial}{\partial y^i} + \eta_a^j \frac{\partial}{\partial a^j} \;,$$

відносно похідних $\frac{\partial y^k}{\partial x^i}$.

Тут

$$\xi_a^i = \frac{\partial g^i}{\partial \varepsilon_a} \Bigg|_{\varepsilon = 0}; \quad \eta_a^i = \frac{\partial A^j}{\partial \varepsilon_a} \Bigg|_{\varepsilon = 0}. \tag{3}$$

З врахуванням (3) інфінітезимальне перетворення G_r можна записати у вигляді

$$y^{1i} = y^i + \varepsilon^a \xi_a^i \ ; \tag{4}$$

$$a^{1i} = a^i + \varepsilon^a \eta_a^j \ . \tag{5}$$

Введемо позначення

$$\delta a^j = \varepsilon^a \eta_a^j \ . \tag{6}$$

Задаючи відхилення δa^j параметрів від номінальних a^j і вирішуючи лінійну систему (6) відносно істотних параметрів групи $\varepsilon_1, \varepsilon_2, ..., \varepsilon_r$ (передбачаючи, що ранг матриці системи (6) дорівнює рангу розширеної матриці цієї самої системи), відключення характеристик системи (1) можна визначити згідно з (4) за формулою

$$\delta y^i = \varepsilon^a \xi_a^i \ ; \quad i = \overline{1,m}, \quad a = \overline{1,r}.$$

Як приклад розглянемо рівняння ламінарного пограничного шару на пористій пластині у формі Крокко [6]

$$\nu Z^2 Z_{\bar{u}} - u_e^3 \bar{u} Z_x = 0 \tag{7}$$

з граничним умовами

$$\begin{aligned} \nu Z^2 Z_{\bar{u}} &= u_e^3 v_0 \quad \text{при} \quad \bar{u} = 0; \\ Z &= 0 \qquad\quad \text{при} \quad \bar{u} = 1; \\ Z &= Z(\bar{u}) \qquad \text{при} \quad x = 0. \end{aligned} \tag{8}$$

Безперервну групу перетворень шуканої функції $Z(x, \bar{u})$ і параметрів ν, u_e, v_0, відносно якої залишається інваріантним рівняння (7) і перше з краєвих умов у (8), шукатимемо у вигляді

$$Z' = Z + \varepsilon_1 Z \ ; \ \nu' = \nu + \varepsilon_2 \nu \ ; \ u_e' = u_e + \varepsilon_3 u_e \ ; \ v_0' = v_0 + \varepsilon_4 v_0 \ .$$

З умов інваріантності виходить

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 + 2\varepsilon_1 - 3\varepsilon_3 &= 0; \\ \varepsilon_2 + \varepsilon_1 - \varepsilon_3 - \varepsilon_4 &= 0. \end{aligned} \tag{9}$$

Таким чином, рівняння (1) і перше з краєвих умов у (3) допускають двопараметричну групу перетворень

$$Z' = Z + \frac{3\varepsilon_3 - \varepsilon_2}{2} Z \ ; \ \nu' = \nu + \varepsilon_2 \nu \ ; \ u_e' = u_e + \varepsilon_3 u_e \ ; \ v_0' = v_0 + \frac{\varepsilon_3 + \varepsilon_2}{2} v_0 \ . \tag{10}$$

Необхідною й достатньою умовою нечутливості (інваріантності) вирішення $Z(x, \bar{u})$ до відхилень режимних параметрів δu_e, δv_0, $\delta \nu$ є рівність

$$\varepsilon_2 = 3\varepsilon_3 ,$$

і група (10) перетворюється на однопараметричну групу з оператором

$$X = u_e \frac{\partial}{\partial u_e} + 3\nu \frac{\partial}{\partial \nu} + 2 v_0 \frac{\partial}{\partial v_0} \cdot$$

Висновки

Таким чином, у статті представлено результати досліджень, пов'язані з можливістю уточнення отриманих параметрів у процесі обчислювання результатів поточніх вимірювань у суднових системах з розподіленими параметрами. Крім того, зазначимо цікавий факт: якщо група параметрів тотожна apriori, то рівняння (1) не допускає жодної групи афінних перетворень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л. Л. Системи автоматичного управління рухом судна // Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цимбал. – Одеса: Фенікс, 2007. – 328 с.
2. Ткаченко А. Н. Судновые системы автоматического управления и регулирования // А. Н. Ткаченко. – Л .: Судостроение, 1984. – 288 с.
3. Небеснов В. И. Оптимальные режимы работы судовых комплексов // В. И. Небеснов. – М.: Транспорт, 1974. – 200 с.
4. Власов К. П. Теория автоматического управления // К. П. Власов. – Х.: Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
5. Подчукаев В. А. Аналитические методы теории автоматического управления // В. А. Подчукаев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 256 с.

Мусорин А. А., Богомья В.І., Тихонов І.В.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В СУДОВЫХ СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В ходе эксплуатации судовых систем возникают задачи, связанные с распределенной и достоверной обработкой текучих параметров. Так рассматриваются вопросы, которые связаны с возможностью уточнения полученных параметров в процессе вычисления результатов текучих измерений в судовых системах с распределенными параметрами. В статье показан аналитический аппарат вычисления полученных результатов с использованием теории чувствительности.

***Ключевые слова**: система, чувствительность, отклонение параметров, номинальные значения.*

Musorin O., Bohomia V., Tichonov Y.

IMPROVING THE ACCURACY OF THE RESULTS OF MEASUREMENTS IN SHIP SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

During the operation of judicial systems faced with the challenges associated with distributed processing and reliable fluid parameters. It deals with issues that are associated with the ability to refine the parameters obtained in the process of calculating the fluid measurement results in ship systems with distributed parameters. The article shows the analytical apparatus calculation results obtained using the sensitivity theory.

Keywords: system, sensitivity, deviation parameters, the nominal values

Рецензент: д.т.н., профессор Д.П.Пашков