

УДК 621.34

В.Ф. Лавріненко

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

## ІНВАРІАНТНИЙ МЕТОД СИНТЕЗУ СТРУКТУР СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЇВ СУДНА

На основі математичного обґрунтування здійснюється оптимальна побудова структур автоматичного управління для пристроїв керування судна. При цьому одним з важливих місць є визначення необхідних критеріїв в умовах динамічної експлуатації систем і пристроїв управління водного транспорту. Тому в статті представлений один з шляхів вирішення завдання побудови структур для автоматизованих систем керування і працездатності судових комплексів автоматики в різних динамічних умовах.

**Ключові слова:** синтез, структура, система автоматичного управління, динамічні умови.

### Вступ

На сьогоднішній день існуючі оцінки якості для синтезу структур систем автоматичного регулювання та керування в пристроях водного транспорту є мало прийнятними [1, 2].

Для розробки і розвитку методів даного виду синтезу доцільним є прямий або непрямий критерії якості, які були б зручними для синтезу структур, а також враховували би існуючі показники якості або можливість досягнення їх при синтезі параметрів [2, 3].

**Математичний аналіз синтезу структур систем автоматичного управління, що описаний в літературі.** Однією з оцінок якості структури систем стабілізації або відтворення можна вважати ступінь реалізованості умов повної інваріантності або, просто кажучи, «чистих» похідних, які необхідно ввести в даній структурі, для виконання умов повної інваріантності [3, 4÷6]. У разі відтворення що задається, необхідно, щоб порядок полінома при заданому впливі дорівнював порядку полінома, котрий є лівою частиною рівняння лінеаризованої системи.

Чим більше ступінь поліномів обох частин рівняння, тим до більш високої похідної може бути виконана умова інваріантності і при відповідному підборі параметрів може бути досягнутий вищий порядок астатизму [1, 2].

Отже, різниця порядків поліномів правої і лівої частин рівняння характеризує якість системи відтворення.

У разі стабілізації регулювання координат під якістю структури системи можна також розуміти різницю найвищих порядків двох поліномів при збурюючому впливу (правій частині рівняння системи) або величину відмінності (різницю) найвищих значень різниць, відповідних окремим доданкам правої частини рівняння, котра отримана по

різниці порядків чисельника і знаменника передавальних функцій ланок, що входять в ці складові [3, 4].

Таким чином, метою представленої роботи є вироблення рішення щодо побудови структур для автоматизованих систем керування і працездатності судових комплексів автоматики в різних динамічних умовах.

### Виклад основного матеріалу. Проведення досліджень

Однією з оцінок якості структури може бути також порядок астатизму, який реально виходить в дану структуру відповідним підбором параметрів [5].

Для розробки методів синтезу структур динамічних систем на підставі першого критерію якості скористаємося симетричною формою запису рівнянь.

Будемо вважати, що рівняння лінійної синтезованої системи відтворення має такий вигляд [3]:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \dots \end{vmatrix} = c\psi, \quad (1)$$

де під елементами  $a_{ij}$  ( $i \neq j$ ) розуміються передавальні функції ланок окремих зв'язків, запроваджених за  $i$ -ою координаті в  $j$ -й ланці, а під елементами  $a_{ij}$  розуміються величини, що зворотні передавальним функціям основних ланок системи.

Рівняння системи (1) в операторному вигляді можна представити таким чином

$$\begin{aligned} [a_{11}a_{22}a_{33}\dots + a_{21}a_{12}a_{33}\dots]x(p) = \\ = c'[a_{12}a_{23}\dots + a_{22}a_{13}\dots]\psi(p). \end{aligned} \quad (2)$$

Різниця порядків поліномів чисельника і знаменника кожного  $k$ -го доданка ( $M_k$ ) визначається алгебраїчною сумою відповідних різниць окремих множників даного доданка ( $m_{ij}$ ).

Наприклад, різниця порядків першого доданка дорівнює

$$[a_{11}a_{22}a_{33}\dots]_p = m_{11} + m_{22} + m_{33} + \dots = M_1. \quad (3)$$

Неважко перекоонатися на конкретних прикладах, що різниця порядків та вирази, котрі отримані після складання ряду доданків  $Q_i$  з різницями  $M_i$ , дорівнює різниці окремого доданка, у якого вона більше (або дорівнює), ніж у решти доданків, тобто можемо зазначити, що

$$[Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots]_p = M_{\max}. \quad (4)$$

Різницю порядків чисельника і знаменника передавальної функції синтезованої системи відтворення можна представити як

$$M = M_{c'} + M_{\Delta i} - M_{\Delta}, \quad (5)$$

де  $M_{c'}$ ,  $M_{\Delta i}$ ,  $M_{\Delta}$  – різниці порядків чисельника і знаменника передавальної функцій відповідно до коригувального пристрою, що стоїть в розімкнутій частині комбінованої системи, і ланок, що входять в праву і ліву частини рівняння (2).

Синтез системи в цьому випадку буде зводитися до пошуку структури системи, при якій число  $M$  дорівнюватиме нулю або буде близьким до нього. При цьому необхідно враховувати фізичну, або точніше, технічну реалізацію коригувальних пристроїв.

Обчислити величину різниці порядків можна по рівнянню системи, але це можна зробити і не виводячи рівняння системи (2). Для цього необхідно записати у вигляді своєрідного визначника (або своєрідної таблиці) величину різниці порядків окремих елементів [2]

$$M_{\Delta} = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \dots \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & \dots \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}_p, \quad (6)$$

і користуючись властивістю, що величина визначення дільника дорівнює алгебраїчній сумі членів, які є можливими добутками елементів визначника, взятих по одному в кожному рядку і в кожному стовпці, обчислити найбільшу різницю порядків, властиву тільки одному або, принаймні, декільком доданкам.

Очевидно, що різниця порядків чисельника і знаменника величини визначника буде сумою найбільших (або близьких до них) величин  $m_{ij}$ , узятих по одному в кожному стовпці і кожному рядку.

Аналогічно можна обчислити величину  $M_{\Delta 3}$  по мінору ( $n-1$ )-го порядку головного визначника системи.

Синтез структури системи відтворення полягатиме у пошуку місця подачі завдання впливу або в пошуку таких реально вводимих зв'язків, при яких різниця порядків чисельника і знаменника передавальної функції системи буде мати мінімальне значення.

При синтезі в визначник вигляду (6) записуються нулі, що свідчать про наявність реальних форсуючих (або інтегро-дифференціюючих) ланок, на місце тих елементів головного визначника системи, за якими існують зв'язки, можливі з технічних, економічних чи інших міркувань.

При неможливості введення тих чи інших зв'язків у визначнику ставляться у відповідних місцях точки.

У разі вибору зв'язку необхідно щоб різниця порядку в правій частині рівняння системи зростала швидше, ніж різниця порядків чисельника і знаменника функцій лівої частини рівняння. Очевидно, що цього можна домогтися веденням тільки тих зв'язків, які входять чи можуть укласти праву частину.

При синтезі цих зв'язків, особливо у випадку багатозв'язних систем, доцільно використовувати методику вибору елементів стабілізації інваріантних систем (точки у своєрідному визначникові - таблиці, як і нулі в звичайному визначнику, не враховуються при визначенні величини різниці порядків поліномів).

## Висновки

Таким чином, синтез структур за ступенем реалізації умов інваріантності дозволяє досить просто і швидко дозволяє визначити оптимальну структуру системи.

На підставі властивості, вираженої рівністю (4), і наочності запису різниці і порядку в формі (6), можна стверджувати, що синтез структури систем проводиться без виведення рівняння системи шляхом порівняння невеликої кількості варіантів, легко обраних з будь-якого (кінцевого) числа таких.

Даний метод дозволяє виробляти синтез структур динамічних систем у десятки, а іноді і в сотні разів швидше в порівнянні з практично застосовуваним методом перебору можливих варіантів поведінки рівняння системи, в які входять всілякі елементи зв'язку.

Цей метод легко поширюється і на випадок синтезу нелінійних систем, особливо систем, в яких нелінійні елементи знаходиться у незмінній частині.

Розроблений метод дозволяє довести і ряд теоретичних положень.

Реальними коригуючими пристроями у випадку, коли основні ланки системи описуються передавальними функціями, порядок в чисельнику яких нижче порядку знаменника, неможливо добитися повної інваріантності в комбінованих системах відтворення, а також в комбінованих системах стабілізації для випадку незалежності регульованої координати щодо «свого» впливу, тобто впливу, прикладеного до ланки, вихідна координата якого є регульованою.

У системах, що працюють за принципом відхилення, також неможливо повна інваріантність регульованлі координати щодо «свого» обурення, точніше, у них можна реалізувати умови повної інваріантності, але не можна досягти стійкості системи.

Можливе досягнення повної інваріантності із реальними коригуючими пристроями є можливим тільки в системах стабілізації згаданих принципів дії при компенсації впливу «чужого» обурюючого впливу. У таких системах повинен бути здійснений двоканальний принцип, виявлений Петровим [4, 6, 7].

Цікаво відзначити, що в багатовимірних системах, що працюють за принципом відхилення, можливі випадки компенсації і декомпенсації впливів без зміни порядку і коефіцієнтів характеристичного рівняння, тобто можлива незалежність (інваріантність) характеристичного рівняння від ступеня здійсненості умов компенсації впливу впливів у системах по відхиленню (така ж, як в комбінованих систем).

При цьому слід відмітити, що досяжність повної компенсації можливо реалізувати реальними коригуючими пристроями.

## Список літератури

1. Вагуценко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагуценко, Н.Н. Цымбал. — Одесса: Фенікс, 2007. — 328 с.
2. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. — М.: Наука, 2003. — 752 с.
3. Корилов А.М. Основы теории управления / А.М. Корилов. — Томск: Изд-во НТЛ, 2002. — 392 с.
4. Баранов А.П. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации / А.П. Баранов, М. М. Раимов. — СПб.: Элмор, 1997. — 232 с.
5. Кириленко О.В. Математичне моделювання в електроенергетиці / О.В. Кириленко, М.С. Сегеда, О.Ф. Буткевич, Т.А. Мазур. — Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2010. — 608 с.
6. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2 Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Д.П. Ким. — М.: Физматлит, 2004. — 464 с.
7. Власов К.П. Теория автоматического управления / К.П. Власов. — Х.: Гуманитарный центр. — 2007. — 526 с.

Надійшла до редколегії 21.12.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.П. Пашков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

## ИНВАРИАНТНЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА СТРУКТУР СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВ СУДНА

В.Ф. Лавриненко

*На основе математического обоснования осуществляется оптимальное построения структур автоматического управления для устройств управления судна. При этом одним из важных мест является определения необходимых критериев в условиях динамической эксплуатации систем и устройств управления водного транспорта. Поэтому в статье представлен один из путей решения задачи построения структур для автоматизированных систем управления и работоспособности судовых комплексов автоматизации в различных динамических условиях.*

**Ключевые слова:** синтез, структура, система автоматического управления, динамические условия.

## INVARIANT METHOD OF SYNTHESIS OF AUTOMATIC CONTROL STRUCTURES OF DEVICES OF THE VESSEL

V.F. Lavrinenko

*Optimal building structures of automatic control devices controlling the ship are based on the mathematical study. Thus one of the important places is to define the necessary criteria in terms of the dynamic operation of control devices and water transport. Therefore, the article presents one way of solving the problem of building structures for automated control systems and performance of ship automation systems in various dynamic conditions.*

**Keywords:** synthesis, structure, automatic control system, dynamic conditions.