

УДК 656.61.052

Кучерук Н. В.

Київська державна академія водного транспорту ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного.  
Україна, м. Київ

### СИНТЕЗ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХУ ВОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

*У статті представлено напрямок пов'язаний з побудовою адаптивних автоматизованих систем управління технічних засобів судна до зовнішніх впливів. Особливість побудови адаптивних систем управління заснована на виробленні оптимального управління з використанням підсистеми оцінювання і корекцією керуючого впливу. Використання даного підходу дозволяє підвищити безпеку руху водних транспортних засобів в критичних погодних умовах. У роботі здійснюється обґрунтування і можливість реалізації даного підходу для побудови адаптивних систем управління.*

*Ключевые слова:* оптимальне керування; оцінювання стану; вектор; обробка інформації.

#### Постановка проблеми

У сучасних умовах до якості управління судна пред'являються підвищені вимоги, відносно визначення місця розташування, а також до точності роботи систем автоматичного управління технічних засобів [1, 2]. Існуюча практика синтезу систем управління рухом судна не дозволяє повністю враховувати особливості взаємодії між судовими системами і дією випадкових обурень [2, 3]. Оскільки при розробці таких систем в даному випадку розглядаються детерміновані дії і не завжди враховує вплив на його складових елементів і на функціонування системи управління в цілому [3]. Таким чином, в загальному випадку управління рухом судна базується на отриманій інформації, яка відбивається в меті управління судна (включаючи вимоги до її досягнення) у тому числі особливостях і стані об'єкту управління і зовнішнь-

ого середовища дії [1]. Тому виникає необхідність розглянути питання, пов'язані з синтезом оптимального управління руху судна як єдиної складної системи, що складається з об'єкту управління, інформаційної частини, а так само взаємних зв'язків з врахуванням дій випадкових обурень і погіршень датчиків вимірів.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз публікацій [2, 3, 4], показав що для синтезу систем автоматичного управління, в яких враховуються стохастичні процеси застосовується принцип розділення системи управління на підсистеми обробки статистичної інформації і управління, що наводить до підвищення точності обчислень (рис. 1). Відповідно до цього принципу статистичні дані спочатку поступає в підсистему обробки інформації, де проводиться визначення поточних

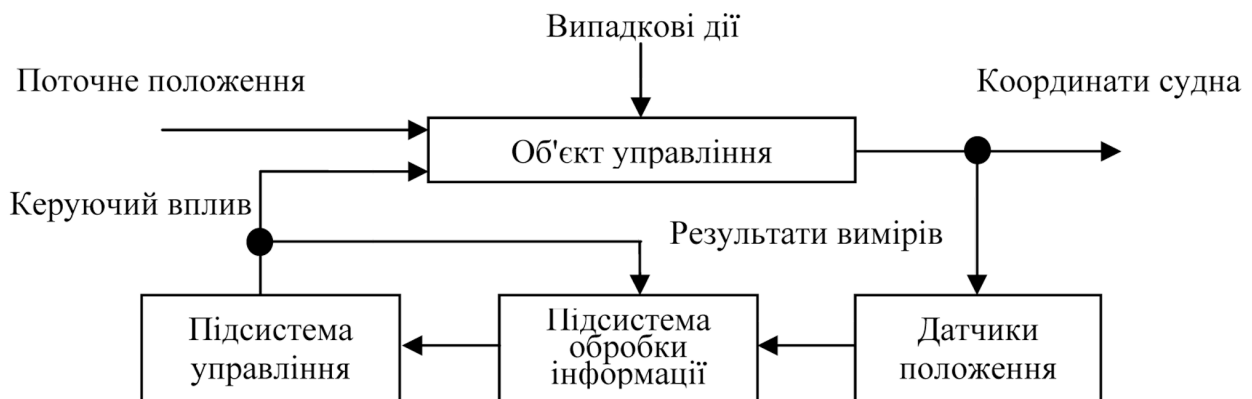


Рис. 1. Структурна схема принципу розділення системи управління

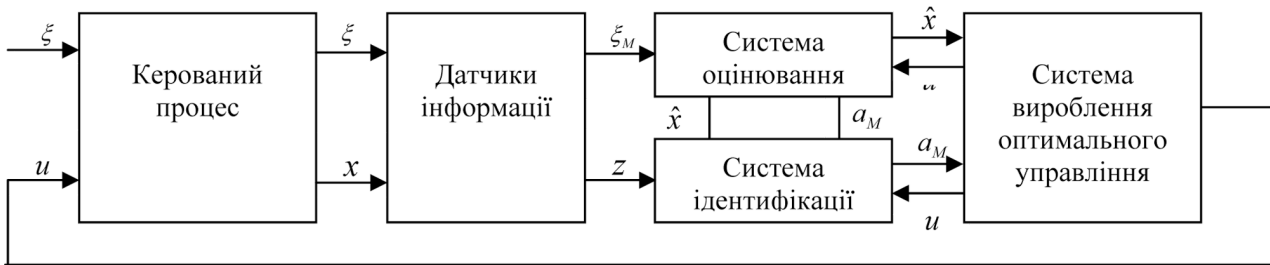


Рис. 2. Система вироблення оптимального управляючого впливу

координат судна, які з тієї або іншої ступені повноти характеризує поточні координати, отриманих з врахуванням всіх апріорних даних і статистичної інформації [3]. При цьому, з кожним роком вимоги Міжнародної морської організації до точності визначення місця розташування морських об'єктів підвищується, що зв'язане розвитком «Стандартів точності судноводіння Міжнародної морської організації» для забезпечення безпеки навігації плавання і можливістю реалізації навігаційних систем [4]. Окрім цього, на сьогоднішній день існує можливість комплексування і інтеграції навігаційного устаткування на базі спеціалізованих обчислювальних систем, обробки інформації, що дозволяють реалізувати оптимальні алгоритми, і виробити дії, що управляють, для підвищення точності навігації.

### Мета статті

Враховуючи вищевикладене, а також необхідність рішення задачі пов'язаною із здійсненням оптимального судноводіння з врахуванням впливу зовнішніх дій виникає необхідність створення адаптивної системи управління руху на основі побудови систем управління з оптимальним виробленням дій, що управляють. Тому метою даної статті є, можливість показати дороги пошуку і реалізації синтезу з можливістю вироблення оптимального управління на основі синтезу оптимальних алгоритмів управління тих, що враховують зовнішні дії.

### Виклад основного матеріалу

Найбільш характерними рисами автоматизованих комплексів є комплексна обробка інформації від різних джерел в обчислювачах підсистем в спеціалізованих, а також істотно вищий рівень автоматизації обробки інформації і управління в цілому. Враховуючи особливості побудови судових систем [2, 3, 5], розробимо адаптивну систему управління для водних транспортних засобів на основі оцінюванки отриманих даних і вироблення оптимальної дії, що управляє (рис. 2).

Система вироблення оптимальної дії, що управляє, здійснюється на основі здобуття інформації від

системи оцінювання і управління (вектори  $\hat{x}$ ,  $u$ ,  $\xi_M$ ) і посилки інформації про параметри керованого процесу (вектор  $a_M$ ), що дозволяє побудувати адаптивну до зовнішніх дій модель. Система оптимального управління, отримуючи інформацію від системи оцінювання посилає сигнали  $u$  не лише в керований об'єкт, але і в систему оцінювання. Адаптивна модель здійснює ідентифікацію керованого процесу, а система управління, використовуючи інформацію про вектор стану і параметри моделі керованого процесу, здійснює оптимальне управління цим процесом.

Головною теоретичною основою для реалізації побудови оптимальної системи управління є теорія оптимальної фільтрації (оцінювання) і теорія оптимального управління. Досить загальна постановка завдання оптимального оцінювання полягає в наступному:

є вектор виміру

$$z = h(x) + \xi_z, \quad (1)$$

є деякі апріорні відомості про вектор стану

$$x = x(t), \quad (2)$$

випадковому векторі помилок виміру  $\xi_z$  і векторі-функції  $h(x)$ ; потрібно побудувати алгоритм обробки сигналу  $z$  такий, щоб вихідний вектор цього алгоритму  $\hat{x}(t)$  в певному значенні найменшому образом відрізнявся б від вектора стану  $x(t)$ . Серед багаточисельних вирішень завдань оцінювання виділяється постановка і вирішення Кальмана і Бьюси. Алгоритм, відповідний цьому, називається фільтром Кальмана [1, 3]. Він набув широкого поширення у зв'язку із зручною формою використовуваної апріорної інформації про контрольований процес і формою самого алгоритму. Завдання оптимальної фільтрації по Кальману можна інтерпретувати простим чином в наступному вигляді.

Для контрольованого процесу

$$\dot{x} + ax = \xi_x \quad (3)$$

і вектора виміру

$$z = hx + \xi_z, \quad (4)$$

Вказати алгоритм обробки результатів вимірів (вектора  $z$ ), при якому виходила б найкраща незміщена оцінка  $\hat{x}$  вектора  $x$ . У теорії оптимальної фільтрації Кальмана найкращою вважається така оцінка  $\hat{x}$  вектора  $x$ , при якій дисперсії всіх компонентів помилки оцінювання  $\Delta x = x - \hat{x}$  мінімальні [1]

$$\min M[\Delta x_i^2], \text{ где } i=1,2,\dots,n. \quad (5)$$

Оптимальним фільтром є

$$\dot{\hat{x}} + a\hat{x} = k_{\Phi}(z - h\hat{x}), \quad (6)$$

$$k_{\Phi} = Rh^T S_z^{-1}, \quad (7)$$

$$\dot{R} + aR + Ra^T + Rh^T S_z^{-1} hR = S_x. \quad (8)$$

Інформація використовується для головної частини – управління судновими системами і його підсистемами. Тому настільки ж важливими є методи оптимізації виконавчої частини судового комплексу, що управляє, – системи автоматичного управління. Для синтезу систем автоматичного управління судна може використовуватися весь арсенал методів теорії і практики управління. Останніми роками для синтезу систем автоматичного управління разом з традиційними методами все ширше використовуються строгі методи оптимізації, засновані на мінімізації функціоналів якості управління. Синтез систем управління, заснований на мінімізації функціоналів і виконуваних аналітично, отримав назву «Аналітичного конструювання». Загалом постановка завдання синтезу системи автоматичного управління по методу аналітичного конструювання ставиться так. Якщо даний об'єкт

$$\dot{x} + ax = bu, \quad (9)$$

то оптимальним управлінням, що мінімізує функціонал

$$I = x^T(t_2)px(t_2) + \int_{t_1}^{t_2} x^T \beta x dt + \int_{t_1}^{t_2} u^T k^{-2} u dt, \quad (10)$$

є управління

$$u = -k^{-2} b^T A x, \quad (11)$$

де  $A = A^T$  – вирішення матричного рівняння Ріккати

$$\dot{A} - Aa - a^T A - Abk^{-2} b^T A = -\beta, \quad (12)$$

при граничній умові  $A(t_2) = p$ .

Подальшим розвитком і вдосконаленням методу аналітичного конструювання, направленим на істотне зменшення обчислювальних процедур, з'явилася постановка завдання синтезу системи

автоматичного управління по критерію узагальненої роботи.

Мінімізуючий функціонал в даному підході задається у вигляді

$$I = x^T(t_2)px(t_2) + \int_{t_1}^{t_2} x^T \beta x dt + \int_{t_1}^{t_2} u^T k^{-2} u dt + \int_{t_1}^{t_2} x^T ABk^2 B^T A x dt, \quad (13)$$

де  $A$  задовольняє лінійному матричному рівнянню

$$\dot{A} - Aa - a^T A = -\beta, \quad (14)$$

при граничній умові  $A(t_2) = p$ . При цьому оптимальне управління має колишній вигляд (11).

### Виводи та пропозиції

У статті розглянуті особливості побудови адаптивних систем управління з можливістю вироблення оптимальних дій, що управляють, на основі оцінювання поточної інформації і запропонована система її реалізації. Це дозволить підвищити рівень безпека руху судів в складних метеорологічних умовах з можливістю їх обліку не знижуючи якісних характеристик. У даному напрямі необхідно досліджувати з різними підходами для динамічних умов. Це дасть можливість реалізувати оптимальну систему управління судном із заданими характеристиками.

### Література

- [1] Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна // Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
- [2] Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении [Электронное учебное пособие] / Л.Л. Вагущенко - Одесса: ОНМА, 2013. – 135 с.
- [3] Власов К.П. Теория автоматического управления / К.П. Власов. – Харьков: Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
- [4] Руководство по навигационному оборудованию МАМС NAVGUIDE 2010 / СПб.: ЗАО «НАВИТЕЛ», 2012. – 214 с.
- [5] Березин С.Я. Системы автоматического управления движением судна по курсу / С.Я. Березин, Б.А. Тетюев. – Л.: Судостроение, 1990. – 256 с.
- [6] Аналитическое конструирование регуляторов, оптимальных по точности и быстродействию / В.В. Сурков, Б.В. Сухинин, В.И. Ловчаков, А.Э. Соловьев. Тула: ТГУ, 2005. – 300 с.
- [7] Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Перев. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний. 2002. – 832 с.

Kucheruk N. V.

Kyiv State Maritime Academy named after hetman Petro Konashevich-Sahaydachniy.  
Ukraine, Kiev

## SYNTHESIS OF ADAPTIVE TRAFFIC CONTROL SYSTEM WATER VEHICLES

*The article presents a direction associated with the construction of adaptive automated control systems of technical equipment vessel to external influences. The peculiarity of adaptive control systems based on the development of optimal control using evaluation subsystem and the correction manipulated. Using this approach allows to increase the traffic safety of water transport in critical weather conditions. The work is carried out and studies the possibility of implementing this approach to build adaptive control systems.*

Keywords: optimal control; evaluation of the state; state estimation; vector; data processing.

### References

- [1] Vagushhenko L. L. Sistemy avtomaticheskogo upravlenija dvizheniem sudna // L. L. Vagushhenko, N. N. Cymbal. – Odessa: Fenix, 2007. – 328 p.
- [2] Vagushhenko L. L. Sovremennye informacionnye tehnologii v sudovozhdenii [Elektronnoe uchebnoe posobie] / L. L. Vagushhenko - Odessa: ONMA, 2013. – 135 p.
- [3] Vlasov K. P. Teorija avtomaticheskogo upravlenija / K. P. Vlasov. – Harkov: Izd-vo Gumanitarnyj centr, 2007. – 526 p.
- [4] Rukovodstvo po navigacionnomu oborudovaniju MAMS NAVGUIDE 2010 / SPb.: ZAO «NAVITEL», 2012. – 214 p.
- [5] Berezin S. Ja. Sistemy avtomaticheskogo upravlenija dvizheniem sudna po kursu / S. Ja. Berezin, B. A. Tetjuev. – L.: Sudostroenie, 1990. – 256 p.
- [6] Analiticheskoe konstruirovanie reguljatorov, optimalnih po tochnosti i bystrodejstviju / V. V. Surkov, B. V. Suhinin, V. I. Lovchakov, A. Je. Solov'ev. Tula: TGU, 2005. – 300 p.
- [7] Sovremennye sistemy upravlenija / R. Dorf, R. Bishop. Perv. s angl. B. I. Kopylova. – M.: Laboratorija Bazovyh Znanij. 2002. – 832 p.