

УДК 681.532

В.Ф. Лавріненко

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

## АНАЛІЗ РЕАЛІЗАЦІЇ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ У ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

*Важливе місце в водному транспорті займають системи зв'язку і навігації для вирішення завдань управлінням забезпечення безпеки руху судна. Для якісного прийому радіосигналу необхідні системи автоматичного супроводження з мінімальними втратами. Тому виникає необхідність провести аналіз цифрових систем автосупроводження для якісного прийому сигналу радіосистем водного транспорту. У статті аналізується реалізація диференціальних зв'язків в цифрових радіосистемах з урахуванням мінімальної помилкою автосупроводження.*

**Ключові слова:** система автоматичного супроводження, керуючий вплив, помилка системи, алгоритм.

### Вступ

Особливу роль в інфраструктурі економіки займають транспортні перевезення, у тому числі і з використанням морських суден [1]. При цьому важливим при експлуатації будь-якого судна є його електротехнічний комплекс, від роботи якого залежить вся життєдіяльність транспортного засобу як автономного об'єкта управління. Для ефективного визначення місцеположення і безпечної роботи судна необхідно забезпечити високу якість вироблених на ньому робіт всього електротехнічного комплексу, в тому числі і пристроїв автосупроводження радіотехнічних систем для якісного прийому сигналів. Складність вирішення цього завдання пояснюється використанням різних енергетичних установок, радіостанцій, електростанцій, які здійснюють взаємовплив один на одного. За цим, виникає необхідність забезпечення паралельної роботи джерел технічних комплексів виконують різні завдання систем безпеки з мінімізацією їх впливу і в першу чергу на судові радіосистеми [1, 2].

Організація ефективної паралельної роботи різних комплексів є важливим питанням для будь-якого електротехнічного комплексу, але особливо для морського судна при сумірності потужностей джерел і споживачів. Тут можна виділити два аспекти, які пояснюють важливість цієї проблеми. По-перше, це пов'язано із забезпеченням безпеки судна і людей, що знаходяться на ньому, так як порушення паралельної роботи може вплинути на енергосистему судна і привести до втрати керованості, і по-друге, важлива економічна складова експлуатації будь-якого судна [1, 2].

Постановка завдання і аналіз предметної області. Тому зростаючі вимоги до систем автоматичного регулювання та керування по забезпеченню дина-

мічної точності, а також широке застосування принципу комбінованого регулювання, для здійснення якого потрібно безпосереднє зміна керуючого (впливаючого) впливу, є важливою науковою задачею. Зазначена трудність особливо відчутна при проектуванні високоточних систем автоматичного супроводження (САС) рухомих об'єктів. У цих випадках керуючий вплив можна виміряти, склавши помилки системи  $\theta(t)$  і регульованої величини  $\beta(t)$ . Даний метод непрямого виміру названий методом диференціальних зв'язків і розглянуто в роботах [1, 2]. Реалізація його стосовно до цифрових САС має особливості, обумовлені дискретним характером сигналів диференціальних зв'язків.

**Мета статті.** Таким чином, виникає задача аналізу ситуації для підвищення якості прийому сигналів при автоматичного супроводженні радіоджерела. Це пов'язано для підвищення безпеки судна в першу чергу з проектуванням високоточних систем автосупроводження в автоматизованих системах в умовах зовнішніх впливів і внутрішніх шумів, що є метою статті.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо деякі з реалізацій систем автосупроводження радіоджерела, а також питання вибору алгоритмів і параметрів цифрових диференціатора (ЦД), що формують компенсуючі сигнали (КС) по швидкості в САС [2 – 4].

#### 1. Цифрова САС з формуванням КС за методом диференціальних зв'язків.

Практична реалізація схеми (рис.1) ускладнюється складністю забезпечення еквівалентності динамічних характеристик ланок, що є в ланцюгах диференціальних зв'язків: чутливого елемента (ЧЕ) і блоку формування помилок (БФП), з одного боку, об'єкта управління (ОУ) і перетворювача «вал-

цифра»(ПВЦ) - з іншого. Порушення умови еквівалентності призводить до нестійкості системи. За аналогією з безперервними системами можна перевести САС в область стійкої роботи, зробивши відповідний вибір передавальної функції цифрового коригувального пристрою (ЦКП). Однак наявність люфтів, гнутих і пружних деформацій в ланцюзі привід - ОУ - ЧЕ, а також нестабільність параметрів БФП вимагають значного видалення системи від точки, відповідної еквівалентній налаштуванні, що призводить до зростання швидкісної складової помилки автосупроводження.

У цифрових САС легко реалізуємо інший спосіб переведення системи в область стійкої роботи: формування КС дискретно із запам'ятовуванням на перетворювачі «цифра-напруга» (ПЦС) протягом періоду дискретності  $T_k$ . Очевидно, порушення еквівалентності диференціальних зв'язків не призводить до нестійкості системи, якщо

$$T_k > t_n, \tag{1}$$

де  $t_n$  – тривалість перехідного процесу в замкнутому контурі системи при стрибкоподібному зміні КС.

Однак виконання умови (1) призводить до порушення умов компенсації швидкісної помилки САС через зміну швидкості об'єкта управління за час  $T_k$ . З цієї ж причини відбувається стрибкоподібна зміна КС в момент часу  $nT_k$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ ), що покращує плавність автосупроводу і може викликати його зрив [3]. Далі розглянуті дві структури цифрових САС, котрі в значній мірі використовують зазначені недоліки схеми, представлені на рис. 1.

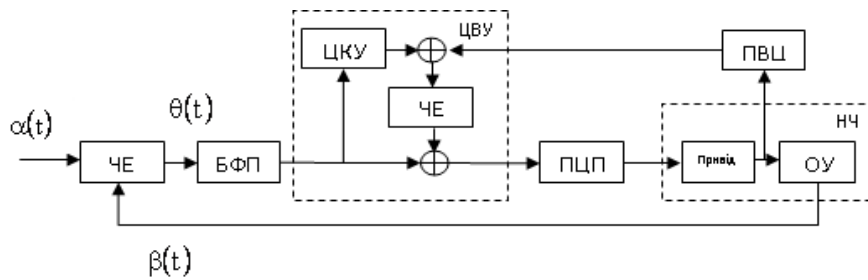


Рис. 1. Структурна схема цифрової САС з формуванням КС

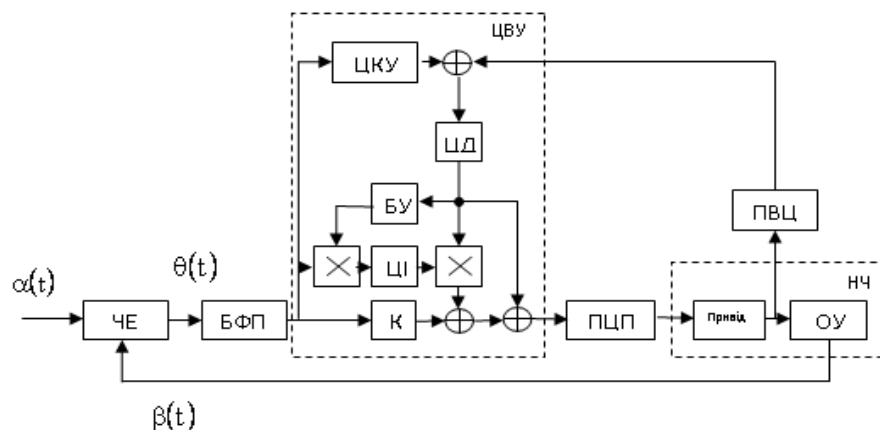


Рис. 2. Структурна схема цифрової САС з контуром самонастроювання компенсуючого сигналу

## 2. Цифрові САС з контуром самонастроювання компенсуючого сигналу.

Функціональна схема САС з контуром самонастроювання (КСН) компенсуючого сигналу показана на рис. 2. Відмінною особливістю схеми та її принципові можливості розглянуті в роботі [4].

Контур самонастроювання складається з двох розмножувальних пристроїв, цифрового інтегратора (ЦІ) і блоку сигнатури (БС). Сигнал, формований на виході КСН, описується такою залежністю:

$$\psi[nT] = K_n \dot{\alpha}_d \sum_v^n \theta[(n-v)T] \text{sign} \dot{\alpha}_d,$$

де  $K_n$  – коефіцієнт передачі ЦД;  $\dot{\alpha}_d$  – сигнал на виході ЦД;  $T$  – період дискретності на виході БФП.

Вважаємо, що умова (1) виконується, тому при аналізі динаміки САС вважаємо  $\dot{\alpha}_d = \text{const}$ . В якості математичної моделі використовувалося уявлення цифрової САС у вигляді граничної імпульсної системи. Вираз для максимальної усталеної помилки автосупроводження даної САС має вигляд

$$\theta_{\text{max}} = \frac{1}{(1-\gamma)K_\theta K_M} \frac{\omega_\gamma}{1-\omega_\gamma T_k}. \tag{2}$$

Тут  $\gamma$  – відносна помилка ЦД в момент часу  $nT_k$ ;  $K_M, K_\theta$  – коефіцієнти передачі відповідно розмножувального пристрою і послідовного з'єднання ЧЕ - БФП;  $\omega_\gamma = \dot{\alpha}_{\text{max}} / \ddot{\alpha}_{\text{max}}$  – частота синусоїдального вихідної дії САС. Як випливає з виразу (2), помилка автосупроводження при детермінованому керуючому дії  $\alpha(t)$  не залежить від  $\dot{\alpha}(t)$ , а визначається частотою його зміни.



Покажемо це на прикладі цифрового диференціювання за методом НЧ у вигляді

$$W_{\text{НЧ}}(\delta) = \frac{K_{\text{Н}}}{\delta(\tau_{\text{Н}}\delta + 1)},$$

тоді отримано наступний вираз для величини  $T_{\text{Д}}$ , при якому помилка за швидкістю розімкненого циклу САС, що включає ЦД і НЧ мінімальна:

$$T_{\text{ДО}} = \sqrt{\frac{\delta(1 - e^{-T_{\text{ДО}}/\tau_{\text{Н}}})}{0,5 + (1 - e^{-T_{\text{ДО}}/\tau_{\text{Н}}})^{-1}}} \ddot{\alpha}_{\text{max}}. \quad (4)$$

При цьому ж алгоритмі вираз для  $T_{\text{Д}}$ , мінімізує тільки помилку ЦД, виглядає так

$$T_{\text{ДО}} = \sqrt{\frac{\delta}{0,5\ddot{\alpha}_{\text{max}}}}. \quad (5)$$

Ставлення залежностей (5) і (4) може бути представлено у вигляді

$$\frac{T_{\text{Д}}}{T_{\text{ДО}}} = \frac{\sqrt{(1 - e^{-T_{\text{ДО}}/\tau_{\text{Н}}}) + 2}}{1 - e^{-T_{\text{ДО}}/\tau_{\text{Н}}}}. \quad (6)$$

Аналіз виразу (6) показує, що при зміні  $\frac{T_{\text{ДО}}}{\tau_{\text{Н}}}$  від 0 до  $\infty$  величина  $\frac{T_{\text{Д}}}{T_{\text{ДО}}}$  від  $\infty$  до  $\sqrt{3}$ . Отже, при будь-яких значеннях найбільшою постійної часу НЧ ( $\tau_{\text{Н}}$ ) оптимальний для ЦД період дискретності не є оптимальним для системи.

На ЕОМ проведено моделювання цифрової системи комбінованого регулювання при різних величинах  $T_{\text{Д}}$  і  $\delta$ . Визначення в результаті моделювання значення  $T_{\text{Д}}$ , при якій помилка САС мінімальна, відрзнялася від розрахованих за формулою (4) величини  $T_{\text{ДО}}$  не більше ніж на 15%.

## Висновки по роботі

У роботі проведено аналіз технічних рішень систем автосупроводження, що дозволяє вибрати в залежності від ситуації і їх реалізувати з підвищеним техніко-економічним ефектом паралельної роботи з різним судовим електротехнічним комплексом, який показує доцільність і ефективність вдосконалення їх системи управління.

Запропоновано алгоритм та визначено параметри цифрового диференатора налаштувань автоматичних регуляторів у САС. Обґрунтовано доцільність застосування адаптивної самонастроювальної системи автоматичного управління для реалізації розробленого алгоритму. Отриманий результат аналізу, мають практичне значення.

## Список літератури

1. Конкс Г.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта / Г.А. Конкс, В.А. Лаико. – М.: Машиностроение, 2005. – 512 с.
2. Вагуценко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна // Л.Л. Вагуценко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
3. Болотин Б.И. Инженерные методы расчетов устойчивости судовых автоматизированных систем / Б.И. Болотин, В. Л. Вайнер. – Л.: Судостроение, 1974. – 332 с.
4. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2 Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Ким Д.П. – М.: Физматлит, 2004. – 464 с.
5. Баранов А.П. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации / А.П. Баранов, М.М. Раимов. – СПб.: Элмор, 1997. – 232 с.
6. Математичне моделювання в електроенергетиці / О.В. Кириленко, М.С. Сегеда, О.Ф. Буткевич, Т.А. Мазур. – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2010. – 608 с.

Надійшла до редколегії 15.12.2015

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

## АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

В.Ф. Лавриненко

Важное место в водном транспорте занимают системы связи и навигации для решения задач управлением обеспечения безопасности движения судна. Для качественного приема радиосигнала необходимы системы автосопровождения с минимальными потерями. Поэтому возникает необходимость провести анализ цифровых систем автосопровождения для качественного приема сигнала радиосистем водного транспорта. В статье анализируется реализация дифференциальных связей в цифровых радиосистемах с учетом минимальной ошибкой автосопровождения.

**Ключевые слова:** система автоматического сопровождения, управляющее воздействие, ошибка системы, алгоритм.

## ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF DIFFERENTIAL CONNECTIONS IN A DIGITAL SYSTEMS OF AUTOMATIC TRACKING OF WATER TRANSPORT

V.F. Lavrinenko

Communication and navigation systems for solving problems of security control of the vessel takes an important role in water transport. Automatic tracking systems with minimal losses are very important for high-quality radio reception. That's why it is necessary to make an analysis of digital systems of auto-tracking for high-quality reception of radio systems of water transport. The article analyzes the implementation of differential links in digital radio systems, considering the minimum auto-tracking errors.

**Keywords:** automatic tracking system, controlling action, system error, algorithm.