



УДК 519.873:[629.052.3:656.6] DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-16

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИНТЕЗУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Богом'я В. І., д. т. н., <https://orcid.org/0000-0003-4403-3130>
*Дунайський факультет морського та річкового транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ*
e-mail: bog260341@gmail.com, tel.: +38 (050) 3984796

Тимощук О. М., д. т. н., <https://orcid.org/0000-0003-3684-6182>
Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
e-mail: mnielena7@gmail.com, tel.: +38 (097) 3246789

Дакі О. А., к. філ. н. <https://orcid.org/0000-0003-3932-462X>
*Дунайський факультет морського та річкового транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ*
e-mail: df_duit@ukr.net, tel.: +38 (098) 7288893

Анотація – в статті розглянуто наявність у практиці контролю технічного стану складних систем протиріччя, а саме забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.

У рамках зазначеного протиріччя актуальною науковою проблемою є створення теоретичних основ синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту, а саме розроблення методів синтезу вимірювальних сигналів і оброблення відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

У статті обґрунтовано напрям і сформульовано часткові задачі наукового дослідження. Для розв'язання поставлених часткових задач у роботі пропонується використовувати теорію чутливості динамічних систем, методи варіаційного числення та динамічного програмування, теорію оптимізації функцій і теорію матриць.

Реальні системи призначені для роботи всередині визначеного діапазону значень сигналів. У цьому діапазоні структура системи з відомою точністю описується деяким оператором. Тому, можливі значення сигналу обмежені



областю, всередині якої точність апроксимації оператора системи не нижче точності, з якою визначаються в процесі контролю параметри системи.

Ключові слова: засоби водного транспорту, радіонавігаційні комплекси, контроль технічного стану, вимірювальні сигнали, синтез, обробка, управління рухом, прилади контролю та діагностування.

Постановка проблеми. Застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту дозволило забезпечити судноводіїв повною й достовірною інформацією про обстановку навколо такого засобу [1].

Перспективним напрямком розвитку методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту є їх автоматизація та універсалізація [2].

При цьому виникає відоме у практиці контролю технічного стану складних систем *протиріччя*: забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.

У рамках зазначеного протиріччя актуальною *науковою проблемою* є створення теоретичних основ синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту, а саме розроблення методів синтезу вимірювальних сигналів і оброблення відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Аналіз останніх досліджень. Провідними закордонними фахівцями в даній галузі, зокрема, Ван Схонвелд, Ван Оудер, А. Томпсон, І. Коллар, Т. Уїлсон, а також відомими вітчизняними вченими, такими як М. Я. Мінц, Д. В. Корольков, Ю. М. Парійський, Ю. Ф. Павленко, В. К. Волосюк, В. М. Чинков, П. А. Шпаньон, В. Г. Алексишин, Л. А. Козырь, С. В. Симоненко, Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал та ін. розроблено ряд робіт, які доказують можливість використання складних вимірювальних сигналів, окрім періодичних синусоїдних і прямокутних, для контролю технічного стану технічних систем [2–5].

Проте, лише оглядово розглянуто методи синтезу вимірювальних сигналів складної форми для контролю технічного стану радіотехнічних систем. Це пов'язано з відсутністю на той час технічної можливості створити відповідні моделі для перевірки синтезованих сигналів складної форми.



Формулювання цілей статті. У статті запропоноване розв'язання цієї проблеми на базі створення теоретичних основ синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

З урахуванням результатів проведеного аналізу вимірювальних сигналів і методів їх синтезу для контролю технічного стану РТС [3, 4] як основних складових систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден шляхи підвищення ефективності заходів обслуговування можна звести до двох напрямків:

– удосконалення та розробка нових методів синтезу вхідних вимірювальних сигналів і обробки відгуків на них, оптимальних за рядом критеріїв;

– дослідження нових підходів до побудови апаратурної реалізації калібраторів вимірювальних сигналів і аналізаторів відгуків на такі сигнали, що сприяє підвищенню рівня автоматизації, універсалізації (уніфікації), а також зниженню вагогабаритних характеристик і енергоспоживання.

Основні матеріали дослідження. Для розв'язання поставлених часткових завдань доцільно використовувати теорію чутливості динамічних систем, теорію контролю технічних систем, методи варіаційного числення, теорію оптимізації функцій і теорію матриць, методи математичного моделювання.

Методологічною основою дослідження є системний підхід при розробленні теоретичних основ синтезу та обробки вимірювальних сигналів.

Обґрунтування напряму досліджень. Постановка часткових завдань дослідження. Передбачається така методологія досліджень:

– спочатку необхідно обґрунтувати критерії оптимальності синтезу полігармонійних вимірювальних сигналів. Для цього треба зв'язати цільові функції та обмеження з характеристиками сигналів (змінними оптимізації);

– з урахуванням вигляду (характеру) отриманих цільових функцій та обмежень розробити методи синтезу вхідних сигналів і дослідити їх;

– використовуючи отримані теоретичні результати, розробити теоретичні та прикладні основи побудови цифрових калібраторів вимірювальних сигналів і аналізаторів відгуків на такі сигнали – методи обробки відгуків на вхідні вимірювальні сигнали;

– розробити метод прогнозування технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден за результатами контролю.



У рамках даної методології досліджень сформулюємо часткові проблеми та задачі, які необхідно розв'язати для досягнення мети роботи [5]:

– відсутність методів і засобів контролю поточного технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден при їх експлуатації за станом. Пропонується розробити методи синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден при експлуатації за поточним станом. Отримані результати дозволять удосконалити алгоритми роботи ЗВТ з контролю (вимірювання) параметрів систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

– використання частотних і часових методів синтезу вимірювальних сигналів. Ці методи призначені для синтезу тільки синусоїдних і прямокутних сигналів. Раніше сигнали іншої форми не використовувались з технічних причин, але на сьогодні синтез сигналів будь-якої форми технічно можливий без суттєвих труднощів. Пропонується розробити нові методи синтезу, засновані на методах варіаційного числення, динамічного програмування. Отримані результати дозволять синтезувати вхідні вимірювальні сигнали складної форми (полігармонійні сигнали) і автоматизувати проведення контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

– неможливість точного визначення параметрів контролю на їх границі (а це актуально для систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден, які експлуатуються поза встановлений термін) за допомогою вхідних вимірювальних сигналів, які синтезовані на основі частотних і часових методів. Застосування методів варіаційного числення та динамічного програмування дозволить отримати рішення навіть у тих випадках, коли параметри систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден знаходяться на границі допустимої області. Отримані результати підвищать достовірність контролю технічного стану старіючих зразків систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден (що відпрацювали встановлений ресурс);

– застосування інерційних блоків (елементів) для збільшення коефіцієнта перешкодостійкості, що підвищує час на проведення контролю. Пропонується розробити методи синтезу вимірювальних сигналів, які є перешкодостійкими, що зменшить час контролю. Отримані результати дозволять підвищити перешкодостійкість вимірювальних сигналів.

Отже, для досягнення поставленої в роботі мети необхідно вирішити такі часткові завдання [6,7]:



- провести аналіз відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

- удосконалити метод обґрунтування критеріїв (кількісних оцінок) оптимальності синтезу вимірювальних сигналів для автоматизованого контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

- удосконалити метод обробки вихідного сигналу систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

- удосконалити метод визначення технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден при їх автоматизованому контролі;

- провести експериментальну перевірку отриманих теоретичних результатів і розробити рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден.

В основу протиріччя покладені фактори, які впливають на процес визначення технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден, і стан процесу контролю технічного стану. Серед факторів, які впливають на процес визначення технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден, виділимо наступні [5–7, 9]:

- низька точність визначення параметрів контролю на їх границі (а це актуально для систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден, які експлуатуються поза встановлений термін);

- використання синусоїдних і прямокутних сигналів;

- відсутність методів і засобів визначення та діагностування поточного технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден при їх експлуатації за станом;

- накладання обмежень незалежно від форми вимірювального сигналу з боку генератора (калібратора). Це призводить до додаткових похибок, тобто до зменшення достовірності контролю технічного стану.

Серед недоліків стану процесу контролю систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден виділимо такі [6,7]:

- значні часові витрати на контроль технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден у поза призначений термін експлуатації;

- значні часові витрати на обробку вимірювальної інформації при контролі технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;



– постійна потреба в уточненні технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден протягом експлуатації в міжконтрольний період;

– низький рівень автоматизації процесу вимірювання параметрів при контролі технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден.

Розв'язання зазначених часткових проблем і задач, які сформульовані в рамках протиріччя досліджень, дозволить досягти мети дослідження.

Обґрунтування методів розв'язання часткових завдань дослідження. У теорії контролю систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден основними кількісними характеристиками, що визначають якість контролю систем, є чутливість, точність визначення параметрів і кількість інформації про стан системи [7–9].

Основою визначення технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден є операції з вимірювання їх параметрів, тобто визначення впливу зміни (варіації) параметрів контролю систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден на можливість їх подальшого функціонування у штатному режимі. Тому основною кількісною характеристикою вважається чутливість систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден [6, 7, 9].

Основне завдання теорії чутливості – аналіз додаткового руху, викликаного варіацією параметрів. Цей аналіз включає кількісні оцінки, дослідження стійкості, моделювання, синтез систем з урахуванням заданих вимог до якості додаткового руху, розробку методів активної дії на параметри системи управління з метою досягнення заданої якості додаткового руху.

Основні положення теорії розробили Виховський М. Л., Томовіч Р., Кокотович П. В. та ін. Воді Р. ввів поняття чутливості як відношення відносної варіації параметра q_j , $j = \overline{1, n}$, до викликаної їм відносної варіації передатної функції $W(s)$ (стосовно лінійних систем) [10]:

$$S_W^{q_j} = \frac{\partial q_j / q_j}{\partial W / W} = \frac{\partial \ln q_j}{\partial \ln W}.$$

Частіше застосовується зворотна величина

$$S_{q_j}^W = \frac{\partial W / W}{\partial q_j / q_j} = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln q_j}. \quad (1)$$

За прямі оцінки чутливості прийнято використовувати функції чутливості $u(t, q_j)$, що відіграють значну роль у кількісній оцінці ступеня впливу варіації параметрів q_j на динамічні якості системи. Функції чутливості у випадку нескінченно малих варіацій параметрів визначають так. Нехай початкова умова систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден описується диференціальним рівнянням [10,11]

$$F(\ddot{x}, \dot{x}, x, t, q_0) = 0, \quad (2)$$

де $x(t, q_0)$ – розв’язок рівняння;
 q_0 – параметр системи.

При зміні q_0 на величину Δq_0 відповідно зміниться рівняння (2)

$$F(\ddot{x}, \dot{x}, x, t, q_0 + \Delta q) = 0 \quad (3)$$

і його розв’язок $x = x(t, q_0 + \Delta q)$, що описує варіаційний рух.

Різниця $x(t, q_0 + \Delta q) - x(t, q_0)$ характеризує додатковий рух. Границя відношення цієї різниці

$$\lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{x(t, q_0 + \Delta q) - x(t, q_0)}{\Delta q} = \frac{\partial x(t, q_0)}{\partial q_0} = u(t, q_0)$$

є функцією чутливості $u(t, q_0)$. Якщо в системах і комплексах навігації та управління рухом морських суден, а, отже, і в диференціальному рівнянні, що їх описує, змінюються декілька параметрів, то функція чутливості визначається точно так, як і функція декількох параметрів $u(t, q_0, q_1, \dots, q_i, \dots, q_n)$. Функції чутливості можна визначити в результаті розв’язання диференціальних рівнянь (рівнянь чутливості), що отримуються з (2) або (3), якщо розв’язки їх є безперервними функціями параметрів. Дійсно, якщо визначити часткові похідні функції $F(\ddot{x}, \dot{x}, x, t, q_0)$ за q_0 , то з (2)

$$\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}} \frac{\partial \ddot{x}}{\partial q_0} + \frac{\partial F}{\partial \dot{x}} \frac{\partial \dot{x}}{\partial q_0} + \frac{\partial F}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial q_0} + \frac{\partial F}{\partial q_0} = 0, \quad (4)$$

де $\frac{\partial \dot{x}}{\partial q_0} = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial x}{\partial q_0}$; $\frac{\partial \ddot{x}}{\partial q_0} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \frac{\partial x}{\partial q_0}$.

При врахуванні того, що, згідно з визначенням коефіцієнта чутливості,

$$\frac{\partial x}{\partial q_0} = u(t, q_0); \quad \frac{\partial u(t, q_0)}{\partial t} = \dot{u}(t, q_0); \quad \frac{\partial^2 u(t, q_0)}{\partial t^2} = \ddot{u}(t, q_0),$$

то з (3) отримаємо рівняння чутливості

$$\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}} \ddot{u} + \frac{\partial F}{\partial \dot{x}} \dot{u} + \frac{\partial F}{\partial x} u = - \frac{\partial F}{\partial q_0}.$$

Отримані рівняння є лінійними, навіть якщо початкове рівняння (4) є нелінійним, тому що похідні $\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}$, $\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}$, $\frac{\partial F}{\partial x}$ не залежать від $u(t, q_0)$.

Якщо початкове рівняння (4) лінійно відносно x, \dot{x}, \ddot{x} , то ліва частина рівняння чутливості має таку ж структуру та такі ж коефіцієнти, як і початкове. У цьому випадку $\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}$, $\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}$, $\frac{\partial F}{\partial x}$ дорівнюють коефіцієнтам при змінних x, \dot{x}, \ddot{x} в початковому рівнянні. Якщо рівняння чутливості (4) залежить від двох і більше параметрів $u(t, q_0, q_1, \dots, q_i, \dots, q_n)$, то вони визначаються аналогічно.

Методи розв'язання рівняння чутливості засобами обчислювальної техніки для малих обурень параметрів достатньою мірою розвинув Майсингер [11]. Їх широко застосовують для визначення функцій чутливості. Часто для визначення цих функцій, особливо лінійних систем, використовують структурні методи.

Метод варійованої ланки, розроблений Биховським М.Л., зручний тим, що для отримання функції чутливості досить лише мати в своєму розпорядженні вхідні та вихідні величини початкової системи і варійованої ланки і модель залежності характеристик тільки цієї ланки від варіації параметрів [12, 13]. Кокотович П.В. розповсюдив цей метод на ширший клас систем, включаючи нелінійні та нестационарні [12–14].

Для визначення функції чутливості потрібно дві моделі: початкової системи і системи, подібної до початкової, об'єднані зв'язуючою ланкою з передавальною функцією $\partial W / \partial q$. Якщо в системі змінюються n параметрів, то для визначення функцій чутливості необхідно мати n моделей, подібних до початкової. Це незручно, внаслідок чого на практиці вдаються до почергового визначення функцій чутливості за допомогою однієї моделі шляхом комутації зв'язуючих ланцюгів для кожної варіації q_R .



Для аналізу чутливості, окрім безпосереднього визначення функцій чутливості, застосовуються різні непрямі оцінки, наприклад частотні:

$$S_W^R(j\omega) = \frac{\partial \ln k(j\omega)}{\partial \ln W(j\omega)}; \quad S_q^R(j\omega) = \frac{\partial \ln k(j\omega)}{\partial \ln q},$$

де $k(j\omega)$ – АФХ системи;

$W(j\omega)$ – АФХ ланцюга, що змінюється.

Проте, безпосереднє обчислення додаткового руху за частотними характеристиками складне. Часто застосовуються квадратичні показники (наприклад, дисперсія $\sigma_{\Delta x}^2$) додаткового руху, викликаного варіацією параметрів. Достатньо повно розроблені й інші непрямі оцінки, наприклад, коефіцієнт чутливості нулів і полюсів передатної функції системи до варіації параметрів q_j . Основні положення теорії чутливості безперервних систем поширені й на розривні системи.

Теорію чутливості прийнято застосовувати в системах автоматичного управління [14, 15]. Функції чутливості несуть у собі надзвичайно цінну інформацію для вирішення завдань синтезу динамічних систем.

Одним з найважливіших завдань є синтез систем, що мають мінімальну чутливість до варіації параметрів. Такий синтез можна здійснити на основі певних умов, що накладаються на деякий функціонал $I[\Delta x(t)]$, що характеризує додатковий рух. На основі вимоги рівності нулю цього функціонала синтезуються системи, що володіють властивістю параметричної інваріантності, тобто нечутливі до варіацій параметрів.

Розроблені методи синтезу оптимальних за нечутливістю систем на основі мінімізації функціонала $I[\Delta x(t)]$. У роботах деяких авторів, наприклад, пропонується розглядати завдання чутливості як теоретико-ігрове завдання автомату управління в припущенні, що обурення, викликане зміною параметрів, є антагоністичним за відношенням до динамічних властивостей об'єкту та дії, що управляють [14,15].

Таке застосування методів ігор теорії в теорії чутливості – перспективно, особливо для синтезу оптимальних систем управління, нечутливих до варіації параметрів об'єкту і що до того ж володіють мінімаксними властивостями.

Внаслідок того, що теоретичним фундаментом теорії чутливості є класичні методи теорії малих обурень, існує певний зв'язок між чутливістю і теорією стійкості в малому за Ляпуновим. Рівняння, що визначають функції чутливості за відношенням до малих змін

початкових умов диференціальних рівнянь, збігаються з рівняннями першого наближення в теорії стійкості Ляпунова А. М. Цей зв'язок має не тільки теоретичне, але і важливе практичне значення [15].

Теорію чутливості застосовують при побудові беспошукових самоналагоджувальних (адаптивних) систем. Використовуючи певну аналітичну залежність між сигналами основної системи і моделі чутливості, обчислюють функції чутливості, на основі яких визначають деякий функціонал

$$I = \int_0^T F(u_1, u_2, \dots, u_n, t) dt, \quad (5)$$

залежний від параметрів, що змінюються. Процес самонастроювання проводиться так, щоб цей функціонал прагнув до нуля. Основною складністю при побудові таких систем є обчислення функцій чутливості, пов'язане з необхідністю розв'язання інтегральних рівнянь типу згортки. У роботах ряду авторів пропонуються методи наближеного визначення згортки, і це значно спрощує обчислення функцій чутливості [4–8, 11,12].

Велике практичне значення має так звана зворотна задача чутливості, що полягає в оцінці варіації параметрів за спостереженням викликаного ними обурення вихідного сигналу. Обчислені варіації параметрів за відхиленням вихідного сигналу можна використовувати для активної дії на параметри системи управління з метою поліпшення якості роботи системи в цілому. Хоча математичний фундамент для розв'язання зворотної задачі є, проте питання практичного застосування її ще недостатньо розроблені.

Метод динамічного програмування дозволяє отримати розв'язок задачі навіть у тих випадках, коли вимірювальний сигнал знаходиться на границі допустимої області [11, 12]. Тому, методи оптимального управління можуть бути використані для синтезу вхідного вимірювального сигналу тоді, коли на нього накладене обмеження. За показник оптимізації в цьому випадку приймаємо чутливість контролю [11, 12].

Ці методи взагалі застосовуються для визначення найбільших значень функціоналів при обмеженнях [9, 11, 15]. При цьому задача при застосуванні принципу максимуму полягає у вирішенні системи диференціальних рівнянь. У методі динамічного програмування, який представляє собою ітераційну процедуру, пропонується за рекурентні співвідношення використовувати диференціальні (або відповідні ним рівняння різниці) рівняння, які описують динаміку системи.

Для удосконалення методів обробки вихідних вимірювальних сигналів систем і комплексів навігації та управління рухом морських



суден використовувалась теорія оптимізації функцій. Для розробки методу прогнозування технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден застосовувалась теорія матриць.

На основі отриманих результатів сформульовані принципи побудови і алгоритми роботи цифрових автоматизованих приладів для визначення параметрів систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден.

Висновки. Обґрунтований напрям і сформульовані часткові задачі наукового дослідження. Для розв'язання поставлених часткових задач у роботі пропонується використовувати теорію чутливості динамічних систем, методи варіаційного числення та динамічного програмування, теорію оптимізації функцій і теорію матриць.

Реальні системи призначені для роботи всередині визначеного діапазону значень сигналів. У цьому діапазоні структура системи з відомою точністю описується деяким оператором. Тому, можливі значення сигналу обмежені областю, всередині якої точність апроксимації оператора системи не нижче точності, з якою визначаються в процесі контролю параметри системи.

Отже, мета роботи, направлена на створення теоретичних основ синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту, досягнута.

Список використаних джерел

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС. Санкт-Петербург: ЦНИИМФ, 2008. 984 с.
2. Глобальні супутникові системи навігації та зв'язку на транспорті: навчальний посібник / Л. С. Беляєвський та ін. Київ: Даж Бог, 2009. 216 с.
3. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання / В. І. Богом'я та ін.; за заг. ред. О. М. Тимощук. Київ: ДУІТ, 2018. 305 с.
4. *Алексишин В. Г., Козырь Л. А., Симоненко С. В.* Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. Одесса: Феникс, 2009. 518 с.
5. *Вагуценко Л. Л., Цымбал Н. Н.* Системы автоматического управление движением судна. Одесса: Феникс, 2007. 367 с.
6. Р-моделювання складних динамічних систем / Г. Л. Баранов та ін. Київ: ДУИКТ, 2008. 131 с.
7. *Mozeson E., Levanon N.* Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio. *IEE Proc.-Radar Sonar Navig.* 2003. Vol. 150, № 2. P. 71-77.



8. O'Neill C. R., Arena A. S. Jr. Time-domain training signals comparison for computational fluid dynamics based aerodynamic identification. *Journal of Aircraft*. 2005. Vol. 42, № 2. P. 421-428.
9. Recio A., Rhode W.S. (2000). Basilar membrane responses to broadband stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2000. Vol. 108, № 5. P. 2281-2298.
10. Даки О. А. Автоматичні прилади контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту. *Новітні технології*. 2019. Вип. 1 (8). С. 95-104. DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.12.
11. Даки О. А., Кривошей Ф. О., Панов С. Л. Розробка автомата контролю лінійних і нелінійних систем управління та навігації засобів водного транспорту. *Наукоємні технології*. 2018. № 4 (40). С. 458-463. DOI: 10.18372/2310-5461.40.13272.
12. Измерительные информационные системы / под ред. Н. А. Рубичева. Москва: Дрофа, 2010. 334 с.
13. Доронин В. В. Радионавигационные приборы и системы. Киев: КГАВТ, 2006. 472 с.
14. Навігаційне забезпечення управління рухом суден / В. І. Богом'я та ін. Київ: Компас, 2012. 336 с.
15. Фридман А. Э. Основы метрологии. Современный курс. Санкт-Петербург, 2008. 284 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Богомья В. И., Тимощук Е. Н., Даки Е. А.

Аннотация – в статье рассмотрены наличие в практике контроля технического состояния сложных систем противоречия, а именно обеспечение заданной достоверности информации о техническом состоянии радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта требует увеличения объема и точности измерений при оценке их характеристик с одной стороны, с другой - отсутствие методов автоматизации процессов синтеза измерительных сигналов и обработки отзвонков на них для этого.

В рамках указанного противоречия актуальной научной проблемой является создание теоретических основ синтеза измерительных сигналов для контроля состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта, а именно разработка методов синтеза измерительных сигналов и обработки отзвонков на них для повышения достоверности и оперативности автоматизированного контроля технического состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта.

В статье обосновано направление и сформулировано частичные задачи научного исследования. Для решения поставленных частных задач в работе



предлагается использовать теорию чувствительности динамических систем, методы вариационного исчисления и динамического программирования, теории оптимизации функций и теорию матриц.

Реальные системы предназначены для работы внутри определенного диапазона значений сигналов. В этом диапазоне структура системы с известной точностью описывается некоторым оператором. Поэтому, возможные значения сигнала ограничены областью, внутри которой точность аппроксимации оператора системы не ниже точности, с которой определяются в процессе контроля параметры системы.

Ключевые слова: средства водного транспорта, радионавигационные комплексы, контроль технического состояния, измерительные сигналы, синтез, обработка, управление движением, приборы контроля и диагностики.

THEORETICAL BASES OF SYNTHESIS OF MEASURING SIGNALS FOR MONITORING THE CONDITION OF THE RADIONAVIGATION COMPLEXES OF MOTION CONTROL MEANS OF WATER TRANSPORT

V. Bogomya, E. Timoschuk, E. Daki

Summary

In the article the presence in the practice of controlling the technical condition of complex systems of contradiction is considered, namely, the provision of the given reliability of information about the technical state of the radionavigation complexes of the traffic control of water transport means requires an increase in the volume and accuracy of measurements in evaluating their characteristics on the one hand, and on the other - the lack of methods for automating processes the synthesis of the measurement signals and processing feedback on them for this.

Within the framework of this contradiction, the actual scientific problem is the creation of the theoretical foundations for the synthesis of measuring signals for monitoring the technical state of the radionavigation systems for controlling the movement of water transport vehicles, namely the development of methods for synthesizing measuring signals and processing responses for them to increase the reliability and efficiency of automated control of the technical state of radio navigation control complexes the movement of water transport

The article substantiates the direction and formulates the partial tasks of scientific research. To solve the set of partial problems in the work it is proposed to use the theory of sensitivity of dynamic systems, methods of variational calculus and dynamic programming, the theory of optimization of functions and the theory of matrices.

Real systems are designed to work within a defined range of signal values. In this range, the structure of a system with known accuracy is described by some operator. Therefore, the possible values of the signal are limited to the area within which the accuracy of the system operator's approximation is not less than the accuracy with which the parameters of the system are determined during the control process.

Keywords: means of water transport, radionavigation complexes, control of technical condition, measuring signals, synthesis, processing, traffic control, monitoring and diagnostic devices.