УДК 519.873: 621.389

Володимир Богом'я, д.т.н.

*(професор кафедри, Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій),
Олена Дакі, к.філ.н.*

(декан факультету, Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій).

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

За результатами аналізу відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту пропонується розроблення оптимального методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром та проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розроблення рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління.

Ключові слова: експлуатація, радіонавігаційні комплекси, управління рухом, засоби водного транспорту, методи, вимірювальні сигнали, автоматизація контролю.

Вступ. Актуальність дослідження, проведеного у статті, обумовлена:

- зростанням ролі та значення засобів контролю сучасних і перспективних радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту у підтриманні їх готовності до функціонування за призначенням [1– 4];
- загальною тенденцією підвищення вимог до своєчасного виявлення відмов за рахунок автоматизації (підвищення точності та оперативності контролю) контрольно-діагностичних робіт при експлуатації радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту [3–7];
- необхідністю розробки сучасного науково-методичного апарату щодо підвищення достовірності контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту при експлуатації [5– 8];
- недостатнім вивченням питань контролю поточного технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту при їх експлуатації [7–10].

Відомі моделі контролю та діагностування технічних об'єктів при експлуатації не завжди враховують особливості операцій технічного обслуговування та діагностування складових частин і елементів засобів водного транспорту [1– 10].

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-9

Перспективним напрямком розвитку методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту є їх автоматизація та універсалізація [9–12, 17].

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Результати контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту є базою для прийняття рішень про необхідність проведення відповідних заходів технічного обслуговування, визначення часу його проведення й об'ємів, про строки проведення чергових операцій контролю.

Заходи технічного обслуговування радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту здійснюються з використанням багатьох засобів контролю. Причому кожний тип засобів контролю, у свою чергу, також потребує своєчасного проведення перевірки або калібрування [5–7].

Окрему ланку серед таких засобів контролю займають радіовимірювальні прилади, які, на відміну від інших типів (електричних, лінійно-кутових, теплотехнічних величин тощо), є більш складними і мають більшу кількість нормованих метрологічних характеристик [9–11].

Останнє призводить до зростання трудомісткості та часу, відведеного на їх перевірку (калібрування), а отже, до зниження коефіцієнта використання як засобів контролю зокрема, так і радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту у цілому.

Крім того, при проведенні контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту процес автоматизації обмежується використанням вимірювальних сигналів прямокутної, трикутної та трапецеїдальної форм [11,12]. Ці сигнали передбачають використання аналізаторів для визначення параметрів радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, які потребують обов'язкового втручання оператора [12].

Відсутність автоматизованих високоточних засобів контролю для вимірювання параметрів сигналів прямокутної, трикутної та трапецеїдальної форм (присутність оператора) збільшує час і зменшує достовірність контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту [13,17].

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 відповідності до протиріччя наукова проблема, що буде розв'язуватися у подальших дослідженнях, полягає в розробленні методів синтезу вимірювальних сигналів і обробленню відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Мета і завдання дослідження. Подолання зазначеного протиріччя з метою розв'язання сформульованої наукової проблеми полягає в розробленні комплексу заходів, спрямованих на забезпечення потрібної точності вимірювань параметрів радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту при проведенні контролю їх технічного стану за фіксований або зменшений інтервал часу [12].

З цією метою в сучасних засобах контролю широко застосовуються такі технічні рішення, як розроблення методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них; використання модульного принципу побудови та наявність стандартного інтерфейсу, що забезпечує можливість роботи засобів контролю у складі інформаційно-вимірювальних систем [5,13]; впровадження мікропроцесорної техніки, яка дозволяє проводити діагностику та самоконтроль основних вузлів засобів контролю, самокалібрування, введення поправок тощо [11, 13].

Таким чином, завданнями дослідження є:

- проведення аналізу відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту;
- розроблення методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту;
- проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розроблення рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Матеріали та методи дослідження.

Аналіз вхідних вимірювальних сигналів для контролю технічного стану РТС навігації та управління рухом морських суден показує, що вони мають ті чи інші недоліки та застосовуються для різних систем. Вимірювальний сигнал, який би був оптимальним (з найкращими характеристиками за певними показниками) за точністю та кількістю отриманої інформації, та мав необхідний рівень перешкодозахищеності та оперативності, відсутній.

Основними методами синтезу вимірювальних сигналів є: класичний, часовий, частотний і операторний. Ці методи дозволяють синтезувати вимірювальні сигнали синусоїдної та прямокутної форм [1–9].

Класичний метод (метод диференціальних рівнянь) заснований на складанні лінійного диференціального рівняння n -го ступеня відповідно закону Кірхгофа. Диференціальне рівняння зв'язує відому функцію вхідного сигналу $U_{\text{вх}}(t)$ і невідому (потрібну) функцію вихідного сигналу (реакцію) $U_{\text{вих}}(t)$ [7, 9–13]

$$b_0 U_{\text{вих}}(t) + b_1 \frac{dU_{\text{вих}}(t)}{dt} + b_2 \frac{d^2 U_{\text{вих}}(t)}{dt^2} + \dots + b_m \frac{d^m U_{\text{вих}}(t)}{dt^m} = \\ = a_0 U_{\text{вх}}(t) + a_1 \frac{dU_{\text{вх}}(t)}{dt} + a_2 \frac{d^2 U_{\text{вх}}(t)}{dt^2} + \dots + a_n \frac{d^n U_{\text{вх}}(t)}{dt^n},$$

де $b_0, b_1, \dots, b_m$ і $a_0, a_1, \dots, a_n$ – для лінійних ланцюгів з постійними параметрами є постійними дійсними коефіцієнтами.

Шукана функція сигналу на виході ланцюга $U_{\text{вих}}(t)$ визначається у вигляді суми двох функцій

$$U_{\text{вих}}(t) = U_{\text{вих1}}(t) + U_{\text{вих2}}(t),$$

де $U_{\text{вих1}}(t)$ – частковий розв'язок диференціального рівняння, який безпосередньо залежить від вигляду вхідного впливу та описує змушений режим;

$U_{\text{вих2}}(t)$ – загальний розв'язок рівняння при $U_{\text{вх}}(t)=0$, який описує перехідні процеси в ланцюзі.

Розв'язок диференціального рівняння можна знайти використанням формалізованих процедур перетворення Лапласа (операторним методом).

Серед недоліків виділимо такі:

- використовується для аналізу простих ланцюгів, які описуються диференціальними рівняннями не вище 2-го порядку;
- застосовується тільки для визначення значень параметрів контролю, які знаходяться у межах допусків (метод непридатний для існуючих (старіючих) зразків РТС навігації та управління рухом морських суден);
- використовується вхідний сигнал, як правило, гармонійний (для спрощення технічної реалізації засобів вимірювальної техніки), що призводить до збільшення часу обробки вимірювальної інформації, зменшення перешкозахисності та точності визначення параметрів.

Часовий метод (метод інтеграла Дюамеля) заснований на використанні імпульсної або перехідної характеристик ланцюга та розміченого сигналу на короткі імпульси. Використовується переважно для аналізу перехідного режиму ланцюга [7, 9–11].

Імпульсна характеристика $h(t)$ є функцією реакції ланцюга на вхідний вплив у вигляді одиночної дельта-функції:

$$U_{\text{вх}}(t) = \delta(t) \text{ і } U_{\text{вих}}(t) = h(t) = \Phi[\delta(t)],$$

де $\Phi[\]$ – оператор ланцюга.

Перехідна характеристика $g(t)$ є функцією реакції ланцюга на вхідний вплив у вигляді одиночного стрибка (функції Хевисайда):

$$U_{\text{вх}}(t) = \sigma(t) \text{ і } U_{\text{вих}}(t) = g(t) = \Phi[\sigma(t)].$$

При цьому

$$\begin{aligned} U_{\text{вих}}(t) &= h(t) \otimes U_{\text{вх}}(t) = \int_0^t h(\tau) U_{\text{вх}}(t - \tau) d\tau = \int_0^t h(t - \tau) U_{\text{вх}}(\tau) d\tau = \\ &= \int_0^t \left(g(t) \frac{dU_{\text{вх}}(t - \tau)}{d\tau} \right) d\tau = \int_0^t \left(g(t - \tau) \frac{dU_{\text{вх}}(\tau)}{d\tau} \right) d\tau - \text{чотири види інтегралів Дюамеля.} \end{aligned}$$

Основними недоліками розглянутого методу є:

- суттєві труднощі при технічній реалізації високоточних вимірювальних генераторів сигналів складної форми;
- використання, переважно, прямокутних імпульсних вхідних сигналів, іноді – трикутних і трапецеїдальних. Такі вхідні сигнали ускладнюють технічну реалізацію засобів аналізу вихідних вимірювальних сигналів, знижують рівень автоматизації процесу вимірювання параметрів контролю.

Спектральний (частотний) метод полягає у використанні якостей передатної частотної характеристики ланцюга $K(j\omega)$ і відомої спектральної щільності вхідного сигналу $S_{\text{вх}}(j\omega)$. Застосовується для аналізу ланцюгів у сталому режимі. Реалізується послідовністю дій [7, 9]:

- визначення частотної характеристики ланцюга $K(j\omega)$;
- визначення спектра вхідного сигналу за допомогою прямого перетворення Фур'є:

$$S_{\text{вх}}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} U_{\text{вх}}(t) e^{-j\omega t} dt;$$

– знаходження спектра вихідного сигналу:

$$S_{\text{вих}}(j\omega) = S_{\text{вх}}(j\omega)K(j\omega) = S_{\text{вх}}(\omega)K(\omega)e^{j[\varphi_{\text{вх}}(\omega)+\varphi_K(\omega)]},$$

де $K(\omega)$ – амплітудно-частотна характеристика;

$\varphi_K(\omega)$ – фазочастотна характеристика;

$S_{\text{вх}}(j\omega), \varphi_{\text{вх}}(\omega)$ – відповідно модуль і фаза спектра $U_{\text{вх}}(t)$;

– визначення вихідного сигналу за допомогою зворотного перетворення Фур'є:

$$U_{\text{вих}}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{вих}}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega.$$

Цей метод широко застосовується завдяки якості гармонійних сигналів не змінювати свою форму при проходженні через лінійні ланцюги і фізичної наочності, коли достатньо знайти спектр $U_{\text{вих}}(t)$, для того щоб визначити викривлення $U_{\text{вх}}(t)$. На основі цього методу формуються вимоги до без викривленої передачі сигналів: АЧХ ланцюга повинна бути постійною, а ФЧХ – лінійною в межах ефективної ширини спектра вхідного сигналу.

Основними недоліками методу є [8,9]:

– великий час на обробку вимірювальних гармонійних вхідних сигналів (зниження оперативності визначення технічного стану об'єкта контролю);

– низька перешкозахисність і точність вимірювання параметрів (за рахунок застосування гармонійних сигналів);

– низький рівень чутливості, що потребує більшої потужності вхідного вимірювального сигналу.

Операторний метод (метод перетворення Лапласа), як більш загальний, розв'язує проблему обмеження спектрального методу відносно абсолютної інтегрованості функцій $U_{\text{вх}}(t)$.

Використовується представлення вхідного та вихідного сигналів перетвореннями Лапласа:

– пряме перетворення – $S_{\text{вх}}(p) = \int_0^{\infty} U_{\text{вх}}(t) e^{-pt} dt$;

– зворотне перетворення – $U_{\text{вих}}(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-\infty}^{c+\infty} S_{\text{вих}}(p) e^{pt} dp$,

де $U_{\text{вх}}(t), U_{\text{вих}}(t), S_{\text{вх}}(p), S_{\text{вих}}(p)$ – відповідно оригінал і зображення вхідного та вихідного сигналів;

$p = \alpha + j\omega$ – оператор Лапласа.

При цьому

$$S_{\text{вих}}(p) = S_{\text{вх}}(p)K(p),$$

де $K(p)$ – передатна функція ланцюга, яка отримується з виразу коефіцієнта передачі $K(j\omega)$ шляхом заміни змінної $j\omega$ на p .

Знаходження $U_{\text{вих}}(t)$ при заданому $U_{\text{вх}}(t)$ і $K(p)$ вміщує три процедури:

– перетворення $U_{\text{вх}}(t) \rightarrow U_{\text{вх}}(p)$;

– знаходження $U_{\text{вих}}(p) \rightarrow K(p)U_{\text{вх}}(p)$;

– перетворення $U_{\text{вих}}(p) \rightarrow U_{\text{вих}}(t)$.

Серед недоліків методу виділяються недоліки, які пов'язані з використанням гармонійних і прямокутних вхідних сигналів [9, 10]:

- великий час на обробку вимірювальних гармонійних вхідних сигналів;
- низька перешкозахищеність і точність вимірювання параметрів (за рахунок застосування гармонійних сигналів);
- низька чутливість, що потребує значної потужності вхідного сигналу;
- складність технічної реалізації засобів аналізу вихідних вимірювальних сигналів при прямокутних вхідних сигналах, знижується рівень автоматизації процесу вимірювання параметрів контролю.

Зазвичай використовуються часові та частотні методи синтезу вимірювальних сигналів. Розповсюдження зазначених методів обумовлено простотою технічної реалізації вимірювальних сигналів синусоїдної та прямокутної форм. На рисунках 1,2 наведені функціональні схеми проведення контролю технічного стану РТС навігації та управління рухом морських суден за допомогою синусоїдальних і прямокутних сигналів відповідно.

Наведено, що контроль технічного стану РТС визначається за результатами дослідження відгуку $y(t)$ на вхідний сигнал $u(t)$. Після проходження через РТС навігації та управління рухом морських суден синусоїдальний вхідний сигнал $u(t)$ змінює амплітуду, фазу або частоту (рис. 1), а прямокутний – форму (рис. 2), що дозволяє визначити параметри контролю РТС.

Рис. 1. Функціональна схема проведення контролю технічного стану РТС навігації та управління рухом засобів водного транспорту синусоїдним сигналом: для комплексного контролю (КК) і контролю за елементами (КЕ)

Але такі сигнали мають певні недоліки [11– 14]. Крім того, головним недоліком частотних і часових методів є обмеження у використанні в автоматизованих ЗВТ з причини їх низької точності та перешкозахищеності, складності технічної реалізації [14,15].

Подання потрібного вимірювального (тестового) сигналу з певними характеристиками (полігармонійного сигналу) на ОК для його автоматизованого контролю, порівняно з часовими та частотними методами вимірювань, має такі переваги [15–17]:

- підвищення якості, перешкозахищеності та оперативності вимірювальних операцій при обслуговуванні;
- збільшення термінів безвідмовної роботи приладів за рахунок високої технологічності виготовлення мір фізичних величин;
- можливість створення універсальних вимірювально-інформаційних систем, побудованих за модульним принципом та на сучасній мікропроцесорній техніці, з

оснащенням їх пристроями сполучення з комп'ютером та зручними інтерфейсними програмами;

– використання самокалібрування та самодіагностики основних вимірювальних вузлів ЗВТ (каналів вимірювально-інформаційних систем), що дозволяє зменшувати похибки вимірювань, своєчасно виявляти відмови та виходи характеристик за межі встановлених норм;

– зменшення масогабаритних характеристик та енергоспоживання вимірювальної апаратури.

Рис. 2. Функціональна схема проведення контролю технічного стану РТС навігації та управління рухом засобів водного транспорту прямокутним сигналом: для комплексного контролю (KK) і контролю за елементами (KE)

Функціональна схема проведення контролю технічного стану РТС за допомогою запропонованого складного (полігармонійного) сигналу виду $y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} U_{i\max} \sin(\omega t + \varphi_i)$ представлена на рис. 3.

Калібратори зразкових сигналів можна застосовувати не тільки в стаціонарних умовах метрологічних лабораторій, а й за автономні прилади або вбудовані у ЗВТ засоби контролю [17].

Рис. 3. Функціональна схема проведення контролю технічного стану РТС навігації та управління рухом засобів водного транспорту запропонованим полігармонійним сигналом

Актуальність даного напрямку на сучасному етапі пов'язана, крім того, зі створенням мобільного комплексу еталонів, інтенсивним використанням пересувних лабораторій вимірювальної техніки та переходом до методів оцінки технічного стану вбудованих контрольно-вимірювальних засобів безпосередньо на технічних комплексах.

Тому до основних переваг використання калібраторів сигналів слід також віднести можливість створення мобільних повірочних комплексів, здатних працювати як в лабораторних, так і в польових умовах. Це сприяє значному скороченню часу на проведення обслуговування та є одним з основних заходів з підвищення оперативності проведення контролю (визначення) технічного стану РТС навігації та управління рухом засобів водного транспорту та, відповідно, збільшення коефіцієнта їх використання [16, 17].

Висновки. Отже, результати аналізу існуючих методів контролю технічного стану радіотехнічних систем навігації та управління рухом засобів водного транспорту підтверджують актуальність теми досліджень, направленої на розробку теоретичних основ автоматизації контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом засобів водного транспорту на основі синтезу полігармонійних вимірювальних сигналів.

Таким чином, після проведення аналізу відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту пропонується у подальших дослідженнях розроблення методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром та проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розроблення рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Результати роботи дозволять розв'язати проблему забезпечення достовірності контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом засобів водного транспорту при оптимальних часових характеристиках для забезпечення своєчасності та оперативності визначення можливих відмов при їх експлуатації та обслуговуванні за фактичним станом.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС. *СПб.: ЦНИИМФ*, 2008. 984 с.
2. Admiralty list of radio signals "Global maritime distress and safety system (GMDSS)". Vol. 5. NP 285. 2014. p. 449.
- 3.Международная конвенция по предупреждению столкновения судов в море 1972 г. (МППСС-72). *СПб.: ЗАО ЦНИИМФ*. 2004.118 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.О.А. Дакі, О.М. Тимошук, В.І. Богом'я. Методологія синтезу полігармонійних вимірювальних сигналів з нормованим спектром. *Новітні технології: збірник наукових праць*. 2018. Вип. 3 (7). С. 33-44. DOI:10.31180/2524-0102/2018.3.07.05.
- 7.С.В. Герасимов, О.А. Дакі, М.Ю. Яковлев. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2018. №79 (2).С. 73-76. DOI: 10.23939/istcm2018/02/073.
- 8.ДСТУ 2708 – 94. Повірка засобів вимірювань. Організація і порядок проведення. Чинний з 01.01.95. *К.: Держстандарт України*, 1994. 12 с.
- 9.Измерительные информационные системы. Под общей ред. Н.А. Рубичева. *М.: Дрофа*, 2010. 334 с.
10. Стеценко О.А. Радиотехнические цепи и сигналы. *М.: Высш. шк.*, 2007. 432 с.
11. Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В. (2012). Навігаційне забезпечення управління рухом суден. *К.:ДВВП «Компас»*. 336 с.

12. В.М. Чинков, С.В. Герасимов. Варіаційний метод і методики синтезу оптимального вимірювального сигналу для контролю технічного стану системи автоматичного управління. Український метрологічний журнал. 2014. № 1. С. 59-64.
13. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс. СПб.: НПО «Профессионал», 2008. 284 с.
14. 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.
15. O'Neill C.R., Arena A.S.Jr. (2005). Time-domain training signals comparison for computational fluid dynamics based aerodynamic identification. *Journal of Aircraft*. Vol. 42, № 2. P. 421-428.
16. Recio A., Rhode W.S. (2000). Basilar membrane responses to broadband stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 108, № 5. – P. 2281-2298.
17. В.І. Богом'я, А.В. Горбань, М.А. Павленко, О.І. Тимочко, О.М. Тимошук. За заг. ред.О.М. Тимошук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання. Київ. ДУІТ. 2018. 305 с.

REFERENCES

1. *Mezhdunarodnaya konvenciya po ohrane chelovecheskoj zhizni na more [International convention for the safety of life at sea, SOLAS]*. (2008). S-Pb.: CNIIMF.
2. *Admiralty list of radio signals "Global maritime distress and safety system (GMDSS)"*. NP 285. Vol.5. (2014). United Kingdom Hydrographic Office.
3. *Mezhdunarodnaya konvenciya po preduprezhdeniyu stolknoveniya sudov v more 1972 g. (MPPSS-72) [International Convention for the Prevention of Collision at Sea]*. (2004). S-Pb.: CNIIMF.
4. Aleksishin, V.G., Kozyr, L.A., & Simonenko, S.V. (2009). *Obespechenie navigacionnoj bezopasnosti plavaniya: uchebnoe posobie [Providing navigational navigation safety: a manual]*. Odessa: Feniks [in Russian].
5. Vagushenko, L.L., & Cymbal, H.H. (2007). *Sistemy avtomaticheskogo upravlenie dvizheniem sudna [Systems of automatic control of movement of the vessel]*. Odessa. Feniks [in Russian].
6. Daki, O.A., Timoshuk, O.M., & Bogom'ya, V.I. (2018). Metodologiya sintezu poligarmonijnih vimiryuvalnih signaliv z normovanim spektrom [Methodology of synthesis of polygharmonines measuring signals with a normal spectrum]. *Novitni tehnologii: zbirnik naukovih prac – Emerging technologies*, 3(7), 33-44. DOI:10.31180/2524-0102/2018.3.07.05 [in Ukrainian].
7. Gerasimov, S.V., Daki, O.A., & Yakovlev, M.Yu. (2018). Sintez poligarmonijnogo vimiryuvalnogo signalu z bud-yakoyu kilkistyu tochok peremikannya [Synthesis of polyharmonic measuring signal with any number of switching points]. *Vimiryuvalna tehnika ta metrologiya – Measurement equipment and metrology*, 79 (2), 73-76. DOI: 10.23939/istcmtm2018/02/073 [in Ukrainian].
8. *Povirka zasobiv vimiryuvan. Organizaciya i poryadok provedennya [Verification of measuring instruments. Organization and procedure]* (1994). DSTU 2708 – 94 from 01th Janiary 1995. Kyiv: Derzhstandart Ukrayinu [in Ukrainian].
9. *Izmeritelnye informacionnye sistemy [Measuring information systems]*. (2010). Moskva: Drofa [in Russian].
10. Stecenko, O.A. (2007). *Radiotekhnicheskie cepi i signaly [Radio circuits and signals]*. Moskva: Vyssh. Shkola [in Russian].
11. Bogomya, V.I., Davidov, V.S., Doronin, V.V., Pashkov, D.P., & Tihonov, I.V. (2012). *Navigacijne zabez-pechennya upravlinnya rukom suden [Navigation support for controlling the movement of ships]*. Kyiv: DVVP «Kompas» [in Ukrainian].
12. Chinkov, V.M., & Gerasimov, S.V. (2014). Variacijnij metod i metodiki sintezu optimalnogo vimiryuval-nogo signalu dlya kontrolyu tehničnogo stanu sistemi avtomatichnogo upravlinnya [Variation method and method of synthesis of optimum measuring signal for control of the technical state of the automatic control system]. *Ukrayinskij metrologichnij zhurnal – Ukrainian Metrology Magazine*, 1, 59–64 [in Ukrainian].
13. Fridman, A.E. (2008). *Osnovy metrologii. Sovremennyy kurs [Fundamentals of Metrology. The modern course.]*. S.Pb.: NPO «Professional» [in Russian].
14. Mozeson, E., & Levanon, N. (2003). Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio. *IEE Proc.-Radar Sonar Navigation*, Vol.150, 2, 71–77.
15. O'Neill, C.R., & Arena, A.S.Jr. (2005). Time-domain training signals comparison for computational fluid dynamics based aerodynamic identification. *Journal of Aircraft*, Vol. 42, 2, 421–428.
16. Recio, A., & Rhode, W.S. (2000). Basilar membrane responses to broadband stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 108, 5, 2281–2298.

17. Bogomya, V.I., Gorban, A.V., Pavlenko, M.A., Timochko, O.I., & Timoshuk, O.M. (2018). *Osoblivosti sistemnogo pidhodu do virishennya naukovih zavdan ekspluatatsiyi sudnovogo obladnannya* [Features of a systematic approach to solving scientific problems of the operation of marine equipment]. Kyiv: DUIT [in Ukrainian].

Володимир Богом'я, д.т.н., професор
(професор кафедри, Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій),
Олена Дакі, к.філ.н.
(декан факультету, Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій).

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

В статье рассмотрено 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 отзывов на них для этого.

По результатам анализа известных методов синтеза измерительных сигналов для контроля состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта предлагается разработка оптимального метода синтеза измерительных сигналов с нужным спектром и проведения экспериментально проверки полученных теоретических результатов и разработка рекомендации по их внедрению для автоматизированного контроля технического состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта.

Ключевые слова: эксплуатация, радионавигационные комплексы, управление движением, средства водного транспорта, методы, измерительные сигналы, автоматизация контроля.

Volodymyr Bohomia, Doctor of science.
(Professor of the Department, Danube Faculty of Marine and River Transport, State University of Infrastructure and Technologies)
Olena Daki, Ph.D.
(Dean of the Faculty, Danube Faculty of Marine and River Transport of the State University of Infrastructure and Technologies).

ANALYSIS OF METHODS OF SYNTHESIS OF MEASURING SIGNALS FOR THE CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF RADIONAVIGATION COMPLEXES OF MOTION CONTROL MEANS OF WATER TRANSPORT

The article deals with the features of the contradiction that exists in the practice of controlling the technical condition of complex systems. It consists in the fact that the maintenance of the given reliability of the information on the technical condition of

radionavigation complexes for controlling the movement of means of water transport requires an increase in the volume and accuracy of measurements in assessing their characteristics on the one hand, and on the other there is a lack of methods for automating the processes of synthesis of measuring signals and processing reviews for them for this.

According to the results of the analysis of known methods of synthesis of measuring systems for monitoring the state of radionavigation complexes of motion control of water transport means, it is proposed to develop an optimal method for synthesizing measurement signals with the required spectrum and to experimentally verify the obtained theoretical results and to develop recommendations for their implementation for automated- the control of the technical state of the radionavigation complexes of the traffic control of means of water transport.

The results of the work will solve the problem of ensuring the reliability of the control of the technical condition of the systems and complexes of navigation and control of the movement of water transport vehicles with optimal time characteristics in order to ensure the timeliness and operability of identifying possible failures during their operation and maintenance on the actual state.

Keywords: *operation, radionavigation complexes, traffic management, means of water transport, methods, measuring signals, automation of control.*