

УДК 621.389: 621.317

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПОЛІГАРМОНІЙНОГО СИГНАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ ЛАГРАНЖА

Тимошук О.М., Дакі О.А.

METHOD OF OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF MEASURING POLYHARMONY SIGNAL WITH USE OF LAGRANGE FUNCTION

Tymoshchuk O., Daki O.

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.

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 рухом засобів водного транспорту.

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

Вступ. 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].

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 та 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 [2–4].

Постановка проблеми. При проведенні контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту процес автоматизації обмежується використанням вимірювальних сигналів прямокутної, трикутної та трапецеїдальної форм [4,5]. Ці сигнали передбачають використання аналізаторів для визначення параметрів радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, які потребують обов'язкового втручання оператора [5].

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 [6].

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.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Провідними закордонними фахівцями в даній галузі, зокрема, Ван Схонвелд, Ван Оудер, А. Томпсон, І. Коллар, Т. Уілсон, 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 [1], [4–8].

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.

Мета статті. 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 [4–6].

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 [6–8].

Таким чином, метою статті є розроблення методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту 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 досліджень. *Критерій мінімуму середнього квадратичного відхилення модулів комплексних коефіцієнтів Фур'є опорного та полігармонійного сигналів.* Математична постановка задачі синтезу полягає в пошуку найкращого середньоквадратичного наближення спектра синтезованого вимірювального полігармонійного сигналу $F(\alpha)$ до спектра опорного сигналу $f(\alpha)$ [6]:

$$\sigma = \min \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(|\dot{d}_n| - |\dot{D}_n| \right)^2, \quad (1)$$

$$\text{де } \dot{D}_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(\alpha) e^{-jn\alpha} d\alpha = \frac{1}{2} C_n e^{j\varphi_n};$$

$$\dot{d}_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\alpha) e^{-jn\alpha} d\alpha = \frac{1}{2} c_n e^{j\psi_n} \quad - \text{відповідно комплексні коефіцієнти Фур'є сигналів } f(\alpha) \text{ та } F(\alpha) \text{ при}$$

$n \neq 0$; $\alpha = \omega_0 t$ – фазовий кут ($0 \leq \alpha \leq 2\pi$); ω_0 – основна кругова частота; c_n і ψ_n , C_n і φ_n – амплітуди й початкові фази n -ї гармоніки сигналів $f(\alpha)$ та $F(\alpha)$.

Проведення перетворення [11] виразу (1) дозволяє записати його так:

$$\sigma = \min \sum_{n=-\infty}^{\infty} |\dot{d}_n|^2 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} |\dot{D}_n|^2 - 2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} |\dot{d}_n| |\dot{D}_n|, \quad (2)$$

У цьому співвідношенні перша сума має фіксоване значення та залежить винятково від необхідного спектра амплітуд гармонік $\{c_n\}$ опорного сигналу:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |\dot{d}_n|^2 = c_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \rho_n c_n^2, \quad (3)$$

де $c_0 = d_0$ – постійна складова сигналу $f(\alpha)$; N – номер верхньої частоти в спектрі опорного сигналу; ρ_n – вагові коефіцієнти, причому $\rho_n = 1$, якщо n -а гармоніка входить до сітки частот контролю, і $\rho_n = 0$, якщо не входить.

Друга сума виразу (2) на підставі рівності Парсевалю [5,6] відповідає повній потужності сигналу P і залежить тільки від його рівня F_0 :

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |\dot{D}_n|^2 = P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F^2(\alpha) d\alpha = F_0^2, \quad (4)$$

причому дана формула справедлива у випадку, коли амплітуди додатних та від'ємних імпульсів рівні за модулем.

На підставі співвідношень (3) та (4) зробимо висновок, що мінімум критерію (1) буде отриманий для такого сигналу $F(\alpha)$, у якого величина

$$G = 2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} |\dot{d}_n| |\dot{D}_n|, \quad (5)$$

досягає максимального значення.

Для подальшого перетворення формули (5) зробимо наступні припущення: при контролі радіонавігаційних приладів спектр опорного вимірювального сигналу є рівномірним, тобто $|\dot{d}_n| = \text{const}$; постійна складова вимірювального сигналу, як правило, не приймає участі в процесі контролю технічного стану радіонавігаційних приладів, тому можна прийняти $c_0 = 0$ [5,6]. З урахуванням даних обставин критерій оптимізації (1) полягає в максимізації середнього значення амплітуд гармонік \bar{C} сигналу в корисному діапазоні частот:

$$G = \max \bar{C} = \max \frac{1}{K} \sum_{n=1}^N \rho_n C_n, \quad (6)$$

де K дорівнює кількості корисних гармонічних складових.

Критерій максимуму чутливості контролю частотної характеристики досліджуваного об'єкта. Даний критерій впливає з того, що вхідний сигнал

повинен давати можливість відстежити як завгодно малі зміни частотної характеристики об'єкта контролю (особливо для радіонавігаційних приладів) [5–7]. Для цього запишемо вихідний сигнал $Y(\alpha)$ досліджуваної системи при подачі на її вхід вимірювального сигналу $F(\alpha)$:

$$Y(\alpha) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} H(\omega_n) \dot{D}_n e^{jn\alpha} = \sum_{n=1}^{\infty} |H(\omega_n)| C_n \cos(n\alpha + \varphi_n + \theta_n). \quad (7)$$

де $H(\omega_n)$ і θ_n – відповідно комплексний коефіцієнт передачі об'єкта контролю та його аргумент на круговій частоті ω_n .

Зміна вихідного сигналу (7) при відхиленні коефіцієнта $H(\omega_n)$ від свого номінального значення на величину $\Delta H(\omega_n)$ буде дорівнювати

$$Y(\alpha) = \sum_{n=1}^{\infty} \Delta H'(\omega_n) C_n \cos(n\alpha + \varphi_n) - \sum_{n=1}^{\infty} \Delta H''(\omega_n) C_n \sin(n\alpha + \varphi_n). \quad (8)$$

де $\Delta H'(\omega_n)$ та $\Delta H''(\omega_n)$ – зміна дійсної та уявної частин комплексного коефіцієнта передачі відповідно.

З виразу (8) знаходимо коефіцієнти чутливості вихідного сигналу:

$$\xi'_n(\alpha) = \frac{\partial Y(\alpha)}{\partial \Delta H'(\omega_n)} = C_n \cos(n\alpha + \varphi_n);$$

$$\xi''_n(\alpha) = \frac{\partial Y(\alpha)}{\partial \Delta H''(\omega_n)} = -C_n \sin(n\alpha + \varphi_n).$$

Сумарна середньоквадратична чутливість контролю об'єкта дорівнює

$$G = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sum_{n=1}^N \rho_n ([\xi'_n(\alpha)]^2 + [\xi''_n(\alpha)]^2) d\alpha. \quad (9)$$

Підставивши вирази для коефіцієнтів чутливості $\xi'_n(\alpha)$ і $\xi''_n(\alpha)$ до формули (9), приходимо до висновку, що критерій максимуму чутливості контролю частотної характеристики досліджуваного об'єкта приводить до задачі про максимізацію корисної потужності $P_{кор}$, що виділяється в навантаженні:

$$g_1 = \max G = \max P_{кор} = \max \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \rho_n C_n^2. \quad (10)$$

Отже, оптимізація параметрів вимірювального полігармонійного сигналу з використанням одного з критеріїв – (6) або (10) – не має достатньої гнучкості керування спектром: максимум середнього значення гармонік, які беруть участь у процесі контролю, і максимум корисної потужності сигналу можуть бу-

ти досягнуті за рахунок однієї або декількох спектральних складових, що приведе до неприпустимої концентрації потужності в них, тобто виходу з ладу об'єкта контролю. Тому, в задачу оптимізації параметрів вимірювального полігармонійного сигналу потрібно ввести обмеження на нерівномірність гармонік у певному частотному діапазоні [6].

Розробка узагальненого критерію умовної оптимізації цільової функції Лагранжа. Величину розкиду гармонік вимірювального полігармонійного сигналу на частотах аналізу доцільно характеризувати дисперсією

$$D = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^N \rho_n (C_n - \bar{C})^2.$$

Перетворивши цей вираз, одержимо співвідношення:

$$D = \frac{2}{K} P_{кор} - \bar{C}. \quad (11)$$

Аналіз формули (11) показує, що зменшення дисперсії гармонік може бути досягнуте зменшенням корисної потужності $P_{кор}$ й максимізацією середнього значення гармонік \bar{C} . Це співвідношення дозволяє запропонувати задачу на умовний екстремум: знайти параметри такого вимірювального сигналу, який максимізує середнє значення гармонік (6) при заданому значенні корисної потужності $P_{зад}$ (10).

Оскільки цільова функція (6) та умова (10) залежать від величин C_n , доцільно привести аналітичний вираз, що зв'язує амплітуди гармонік полігармонійного сигналу з набором точок перемикання [6–8]:

$$C_n = \frac{2F_0}{\pi n} \cdot \sqrt{\left[\sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \cos(n\alpha_i) \right]^2 + \left[\sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \sin(n\alpha_i) \right]^2}, \quad (12)$$

де α_i – i -та точка перемикання, $i = \overline{1, M}$, $\alpha_{i-1} < \alpha_i < \alpha_{i+1}$, $\alpha_1 = 0$, $\alpha_M = 2\pi$; M_0 – нижній індекс підсумовування, $M_0 = 1 + |(-1)^{M+1} - 1|/2$.

Позначивши у формулі (12)

$$\sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \cos(n\alpha_i) = a_n;$$

$$\sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \sin(n\alpha_i) = b_n.$$

приведемо співвідношення (6) та (10) до такого вигляду:

$$G(a) = \frac{2F_0}{\pi K} \sum_{n=1}^N \frac{\rho_n}{n} \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad (13)$$

$$g_1(a) = \frac{2F_0^2}{\pi^2} \sum_{n=1}^N \rho_n (a_n^2 + b_n^2) - P_{зад}. \quad (14)$$

Оскільки переважна більшість літератури з теорії оптимізації розглядає мінімізацію функцій, замість пошуку максимального значення функції (13) будемо знаходити її мінімум з урахуванням умови (14).

Крім обмеження (14) при оптимізації параметрів вимірювального сигналу необхідно також врахувати діапазони можливих значень складових вектора $\{\alpha\}$. Причому більш коректним при практичному розв'язанні оптимізаційної задачі на ПЕОМ, у порівнянні з поясненнями до виразу (12), буде наступний запис простих обмежень на точки перемикання сигналу:

$$a_1 \leq a_2 \leq \frac{(a_2 + a_3)}{2};$$

$$\frac{(a_{M-2} + a_{M-1})}{2} \leq a_{M-1} \leq a_M;$$

$$\frac{(a_{n-1} + a_n)}{2} \leq a_n \leq \frac{(a_n + a_{n+1})}{2}, \text{ для } n=3, \dots, (M-2).$$

Провівши перетворення двосторонніх нерівностей в односторонні, отримаємо $2(M-2)$ найпростіших лінійних обмежень, які в сукупності з формулами (13) та (14) представляють класичну постановку задачі знаходження умовного екстремуму [8].

$$\begin{cases} \text{знайти } \arg \min_{\alpha \in [0, 2\pi]} G(\alpha) \\ \text{при } g_j(\alpha) = 0, j \in \Theta = \{1\} \\ g_j(\alpha) \leq 0, j \in \Omega = \{2, \dots, 2(M-2) + 1\} \end{cases}, \quad (15)$$

Серед чисельних методів вирішення даного виду задач оптимізації найбільш поширеним є метод послідовного квадратичного програмування, що використовується в багатьох пакетах математичних програм та дозволяє знаходити умовні екстремуми за наявності функцій із значними нелінійностями [7, 8].

Для забезпечення ефективного застосування цього методу оптимізаційна задача повинна бути невеликою за розміром, гладкою та добре відмасштабованою.

Так, в [8, 9] доведено, що даний метод доцільно застосовувати при помірній кількості змінних (порядку декількох десятків), що в цілому відповідає потребам контролю технічного стану радіонавігаційних приладів, оскільки в переважній більшості задач частотної ідентифікації використовуються сигнали з кількістю корисних гармонік до 50-ти (це число приблизно дорівнює кількості точок переключення полігармонійного сигналу $F(\alpha)$). Аналіз співвідношень (13) і (14), показує, що задача (15) є гладкою, оскільки функції $G(\alpha)$ та $g_1(\alpha)$ диференційовані на усьому інтервалі $[0, 2\pi]$.

Було проведено комп'ютерне моделювання запропонованого методу. Наведемо результати синтезу сигналу запропонованим методом та одним з відомих методів, в якому критерієм оптимальності є мінімум середньоквадратичного відхилення сигналів $f(\alpha)$ та $F(\alpha)$ у часовій області [9, 10]. За початкове наближення обрано переходи через нуль опорного сигналу $f(\alpha)$, що складається з 10-ти гармонік однакових амплітуд та довільних фаз (рис. 1).

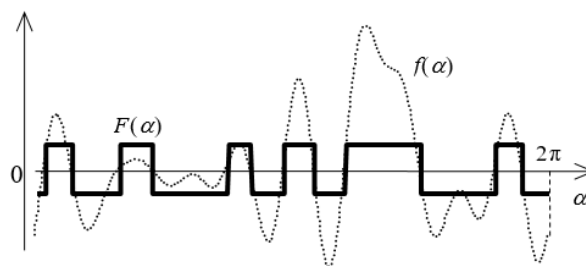


Рис. 1. Вихідний опорний сигнал $f(\alpha)$ та його апроксимація $F(\alpha)$

На рис.2 наведено синтезований полігармонійний сигнал і його спектр, що можна отримати з використанням відомого методу, розглянутого в [11], причому $P_{кор} = 0,843 \text{ В}^2$.

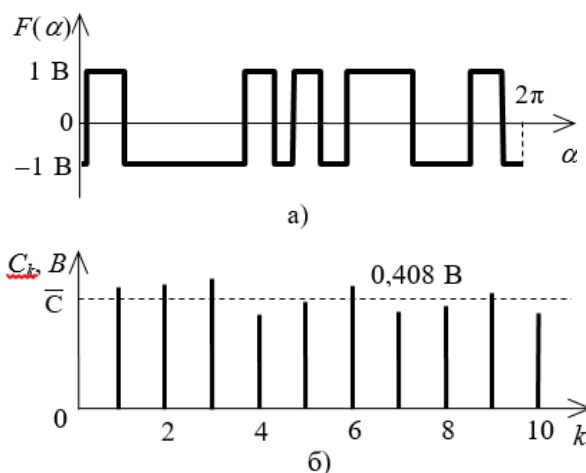


Рис. 2. Оптимальний сигнал (а) та його спектр (б) за критерієм мінімуму опорного та синтезованого у часовій області

Однак далі, щоб зменшити нерівномірність гармонік або підвищити корисну потужність вимірювального сигналу, треба здійснити модифікацію опорного сигналу й знову провести ітераційну процедуру [12]. Але і в цьому випадку отриманий сигнал може не відповідати потрібному, з зазначеними характеристиками. Запропонований метод навпаки більш гнучкий щодо керування спектром синтезованого вимірювального сигналу (рис. 3) [13, 14].

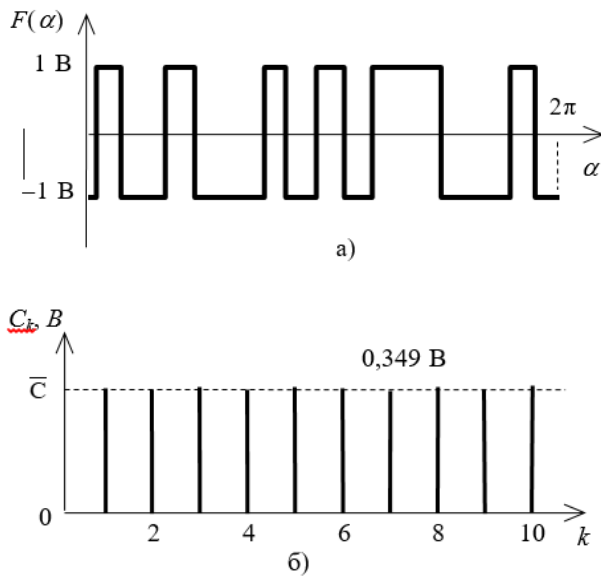


Рис. 3. Оптимальний сигнал (а) та його спектр (б), отриманий запропонованим методом при $P_{кор} = 0,6 \text{ В}^2$

Можна задати обмеження на корисну потужність та отримати полігармонійний сигнал з такими характеристиками, як, наприклад, $P_{кор} = 0,843 \text{ В}^2$ або $P_{кор} = 0,95 \text{ В}^2$. Майже рівномірний спектр отримуємо при $P_{кор} = 0,6 \text{ В}^2$.

Висновки. У статті запропоновано та досліджено метод оптимізації параметрів вимірювальних полігармонійних сигналів зі складним законом модуляції тривалості імпульсів, що дозволяє більш гнучко керувати спектральним складом та отримувати вимірювальні сигнали з наперед заданими параметрами.

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.

Таким чином, 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.

Література

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС. С-Пб.: ЦНИИМФ, 2008. 984 с.
2. Admiralty list of radio signals "Global maritime distress and safety system (GMDSS)". Vol 5. NP 285. 2000. 338 p.
3. Международная конвенция по предупреждению столкновения судов в море 1972 г. (МППСС-72). СПб: ЗАО ЦНИИМФ. 2004.118 с.

4. Алексисин В.Г., Козырь Л.А., Симоненко С.В. Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. Одесса: Феникс. 2009. 518 с.
5. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. Одесса. Феникс, 2007. 367 с.
6. В.М. Чинков, С.В. Герасимов. Вариацийний метод і методики синтезу оптимального вимірювального сигналу для контролю технічного стану системи автоматичного управління. Український метрологічний журнал. 2014. № 1. С. 59-64.
7. Mozeson E., Levanon N. (2003). Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio. IEE Proc.-Radar Sonar Navig. Vol. 150, № 2. P. 71-77.
8. 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.
9. 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.
10. О.А. Даки, 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.
11. С.В. Герасимов, О.А. Даки, М.Ю. Яковлев. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикавання. Вимірювальна техніка та метрологія. 2018. №79 (2).С. 73-76. DOI: 10.23939/istcmtm2018/02/073.
12. Измерительные информационные системы. Под общей ред. Н.А. Рубичева. М.: Дрофа, 2010. 334 с.
13. Стеценко О.А. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. шк., 2007. 432 с.
14. Богомья 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.

References

1. International Convention for the Safety of Life at Sea SOLAS. С-Пб.: ЦНИИМФ, 2008. 984 p.
2. Admiralty list of radio signals "Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS)". Vol. 5. NP 285. 2000. 338 p.
3. International Convention for the Prevention of Collision at Sea 1972 (MPPSS-72). SPb: ZAO TsNIIMF. 2004.118 p.
4. Aleksyshyn VG, Kozyr L.A., Simonenko SV Providing navigational navigation safety: a manual. Odessa: Phoenix. 2009. 518 p.
5. Vagushchenko L.L., Tsymbal H.H. Systems for automatic control of vessel movement. Odessa Phoenix. 2007. 367 p.
6. V.M. Chinkov, SV Gerasimov Variation method and method of synthesis of optimum measuring signal for control of the technical state of the automatic control system. Ukrainian Metrology Magazine. 2014. № 1. S. 59-64.
7. Mozeson E., Levanon N. (2003). Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio. IEE Proc.-Radar Sonar Navig. Vol. 150, № 2. P. 71-77.
8. O'Neill C.R., Arena A.S.Jr. (2005). Time-domain training signals comparison for calculating fluid dynamics based aerodynamic identification. Journal of Aircraft. Vol. 42, No. 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. Vol. 108, No. 5. - P. 2281-2298.
10. O.A. Daki, O.M. Tymoshchuk, VI Godmother Methodology of synthesis of polarharmonic measuring signals with a normalized spectrum. Newest technologies: a collection of scientific works. 2018. Vip. 3 (7). Pp. 33-44. DOI: 10.31180 / 2524-0102 / 2018.3.07.05.
 11. S.V. Gerasimov, O.A. Daki, M.Yu. Yakovlev. (2018). Synthesis of polyharmonic measuring signal with any number of switching points. Measuring equipment and metrology. No. 79 (2). S.73-76. DOI: 10.23939/istcm2018 / 02/073.
 12. Measuring information systems. Under the general ed. ON. Rubicheva. M. : Drofa. 2010. 334 p.
 13. Stetsenko O.A. Radio circuits and signals. M. : Exhaust Shk., 2007. 432 p.
 14. Bohomia V.I., Davydov V.C., Doronin V.V., Pashkov D.P., Tikhonov I.V. (2012). Navigation support for controlling the movement of ships. K.: DVVP "Compass". 336 s.

Тимошук Е.Н., Даки Е.А. Метод оптимізації параметрів вимірювального полігармонічного сигналу з використанням функції Лагранжа.

В статті розглянуті наявність в практиці контролю технічного стану складних систем протидія, а імені забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом водних транспортних засобів потребує збільшення об'єму і точності вимірювань при оцінці їх характеристик з однієї сторони, з другої - відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів і обробки відгуків на них для цього.

По результатам аналізу відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю стану радіонавігаційних комплексів управління рухом водних транспортних засобів пропонується розробка оптимального методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром і проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розробка рекомендацій по їх впровадженню для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом водних транспортних засобів.

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

Tymoshchuk O., Daki O. Method of optimization of parameters of measuring polymarmony signal with use of Lagrange function.

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.

According to the results of the analysis of known methods for measuring the synthesis of measuring signals for controlling the technical state of the radionavigation complexes of motion control of water transport vehicles, it is proposed to develop an optimal method for the synthesis of measuring signals with the required spectrum and conduct an experimental verification of the obtained theoretical results and develop recommendations for their implementation for the automated control of the technical state of the radionavigation control complexes the movement of water transport.

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

Тимошук О.М. – д.т.н., доцент, директор інституту, Київський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, вулиця Кирилівська, 9, Київ, 02000, E-mail: mnielena7@gmail.com

Даки О.А. – кандидат філологічних наук, доцент, декан факультету, Дунайський факультет морського і річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, 68606, г. Ізмаїл, вул. Іванівська, 44, E-mail: df_duit@ukr.net.

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Былецька Н.Б.**

Стаття подана 10.04.2019