

Дакі О.А., Асланов А.В., Билима Р.М., Дениченко А.А., Дехтяр В. В.

## МЕТОД СИНТЕЗУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан суднових радіонавігаційних комплексів потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку. З іншого боку спостерігається відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.

Реалізація традиційного підходу до вимірювання характеристик амплітудно-частотного спектру динамічних об'єктів, потребує значної трудомісткості вимірювань. Уникнути даного недоліку можна за рахунок використання вимірювальних сигналів. Постановка задачі отримання оптимальних параметрів вимірювальних сигналів передбачає визначення конкретних критеріїв синтезу.

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 суднових радіонавігаційних комплексів.

**Ключові слова:** експлуатація, суднові радіонавігаційні комплекси, засоби водного транспорту, методи, вимірювальні сигнали, автоматизація контролю, технічний стан.

**Вступ.** Актуальність дослідження, проведеного у статті, обумовлена зростанням ролі та значення засобів контролю сучасних і перспективних суднових радіонавігаційних комплексів 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) контрольовано-діагностичних робіт при експлуатації суднових радіонавігаційних комплексів [1–4].

**Постановка проблеми.** При цьому виникає відоме у практиці контролю технічного стану складних систем протиріччя: забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан суднових радіонавігаційних комплексів 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 розробка методів синтезу вимірювальних сигналів і обробки відгуків на них, яка дозволяє отримувати перешкодозахищені вимірювальні сигнали з потрібними показниками спектра, зокрема, коефіцієнтами корисної потужності та нерівномірності, середнього значення гармонік у корисному діапазоні частот.

**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 [3–7].

Проте лише оглядово розглянуто методи синтезу параметрів полігармонійних вимірювальних сигналів, які дозволяють отримувати перешкодозахищені вимірювальні сигнали з потрібними показниками спектра.

**Мета статті.** Таким чином, метою статті є розроблення аналітичного апарату (методу), що пов'язує амплітудний спектр полігармонійного сигналу з нормованим спектром.

**Результати досліджень.** Реалізація традиційного підходу до вимірювання характеристик амплітудно-частотного спектру динамічних об'єктів, що ґрунтується на застосуванні генераторів синусоїдних коливань, потребує значної трудомісткості вимірювань, оскільки потрібно послідовно задавати на генераторі контрольні частоти об'єкту, що досліджується.

Уникнути даного недоліку можна за рахунок використання вимірювальних сигналів. Постановка задачі отримання оптимальних параметрів вимірювальних сигналів передбачає визначення конкретних критеріїв синтезу, основними з яких є максимізація коефіцієнта використання потужності, досягнення задовільного рівня найменшої за амплітудою корисної гармоніки у спектрі, мінімізація розкиду амплітуд спектральних складових на частотах аналізу тощо [4–6].

Періодичні сигнали складної форми, що мають нормовані параметри амплітудного спектра, знаходять широке застосування в метрологічній практиці [7,8]. Вибір таких сигналів як вимірювальних впливів для ідентифікації технічного стану динамічних об'єктів у частотній області дозволяє отримати високу перешкодозахищеність контролю, оскільки у кожен момент часу сигнали приймають значення або  $F_0$ , або  $-F_0$ , забезпечуючи при будь-якому рівні перешкоди високий показник "відношення сигнал / шум".

### Метод синтезу бінарних сигналів із заданим амплітудним спектром

Періодичні СНС бінарної форми, що мають нормовані параметри амплітудного спектра, знаходять широке застосування в метрологічній практиці [1-4]. Вибір таких сигналів як тестові впливи для ідентифікації різних ЛДС у частотній області дозволяє одержати високий показник "відношення сигнал/шум", оскільки вони мають мінімальний серед усіх сигналів коефіцієнт амплітуди, що дорівнює одиниці. Так само однією з основних переваг бінарних СНС є достатньо проста апаратурна реалізація калібраторів сигналів, що забезпечує їм економічну ефективність.

Найбільші функціональні можливості щодо управління спектральним складом мають бінарні ЧІМ СНС, коли формування необхідного спектра сигналу досягається за рахунок зміни моментів переключення його рівнів. Розглянемо методи синтезу таких СНС та наведемо основні математичні вирази для оптимального набору їх параметрів за двома критеріями: за критерієм максимуму середнього значення корисних гармонік при обмеженні на корисну потужність СНС та за критерієм нерівномірності спектра.

### Синтез бінарного СНС за критерієм максимуму середнього значення корисних гармонік при обмеженні на корисну потужність

Математична постановка задачі синтезу такого СНС полягає в пошуку найкращого середньоквадратичного наближення спектра бінарного сигналу  $F(\alpha)$  до спектра бажаного сигналу  $f(\alpha)$ , що визначається виразом (1):

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

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

відповідно комплексні коефіцієнти Фур'є сигналів  $f(\alpha)$  та  $F(\alpha)$  при  $n \neq 0$ ;  $C_n$  і  $\varphi_n$  – амплітуда й фаза  $n$ -ї гармоніки сигналу  $F(\alpha)$ .

Після певних перетворень критерій оптимізації (5) стає еквівалентним максимізації середнього значення амплітуд гармонік  $\bar{C}$  бінарного сигналу в корисному діапазоні частот:

$$G_1 = \max \bar{C} = \max \frac{1}{S} \sum_{n=1}^N \rho_n C_n. \quad (2)$$

Формулювання функції обмежень на певні параметри СНС у даному випадку може виходити з тієї необхідності, що вхідний сигнал повинен давати можливість відстежити як завгодно малі зміни АЧХ ЛДС. Така постановка приводить до задачі про максимізацію корисної потужності  $P_{\text{кор}}$ , що виділяється у навантаженні:

$$g_1 = \max P_{\text{кор}} = \max \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \rho_n C_n^2. \quad (3)$$

Формули (2) та (3) зв'язані між собою співвідношенням

$$D = \frac{2}{S} P_{\text{кор}} - \bar{C}^2, \quad (4)$$

де  $D$  – дисперсія амплітуд гармонік корисних частот.

Аналіз виразу (4) показує, що при фіксованому значенні корисної потужності  $P_{\text{кор}} = P_{\text{зад}}$  зменшення дисперсії корисних гармонік може бути досягнуто за рахунок максимізації їх середнього значення  $\bar{C}$ .

### Синтез бінарного СНС за критерієм нерівномірності спектра

Для отримання рівномірного спектра бінарного СНС як критерій оптимізації доцільно обрати мінімум різниці між максимальною та мінімальною амплітудами гармонічних складових у корисному діапазоні частот:

$$G_2 = \min (\max \{C_n\} - \min \{C_n\}). \quad (5)$$

У загальному випадку оптимізація СНС за критерієм (5) так само може відбуватися за наявності ряду обмежень, наприклад, щодо значення коефіцієнта корисної дії калібратора, рівня найменшої корисної гармонічної складової в спектрі СНС тощо.

Для безпосередньої реалізації синтезу бінарних СНС за співвідношеннями (2), (3), (5) приведемо кінцевий вираз, що зв'язує амплітуди гармонік  $C_n$  СНС з вектором точок його переключення:

$$C_n(\alpha) = \frac{2F_0}{\pi n} \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad (6)$$

$$\text{де } a_n = \sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \cos(n\alpha_i), \quad b_n = \sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \sin(n\alpha_i),$$

$F_0$  – амплітуда бінарного сигналу;  $\alpha$  – вектор фазових координат (точок) переключення, причому  $i = \overline{1, M}$ ,  $\alpha_{i-1} < \alpha_i < \alpha_{i+1}$ ,  $\alpha_1 = 0$ ,  $\alpha_M = 2\pi$ ;  $M_0$  – нижній індекс підсумовування, що дорівнює  $M_0 = 1 + |(-1)^{M+1} - 1|/2$ .

Після підстановки формули (6) до відповідних цільових функцій та функцій обмежень отримуємо класичну задачу знаходження умовного екстремуму:

$$\left\{ \begin{array}{l} \arg \min_{\alpha \in [0, 2\pi]} G(\alpha) \\ \text{при } g_j(\alpha) = 0, \quad j \in \Theta = \{1, \dots, m_{NL}\}, \\ g_j(\alpha) \leq 0, \quad j \in \Omega = \{m_{NL} + 1, \dots, m_{NL} + m_L\}, \end{array} \right. \quad (7)$$

де  $\Theta$ ,  $m_{NL}$  – відповідно множина та кількість нелінійних обмежень;  $\Omega$ ,  $m_L$  – множина та кількість лінійних обмежень, до яких відносяться, наприклад, прості обмеження на складові вектора фазових точок переключення бінарного СНС.

Задача (7) є задачею нелінійного програмування, розв'язанням якої буде стаціонарна точка функції Лагранжа:

$$L(\alpha, \lambda) = G(\alpha) + \sum_{j \in \Theta \cup \Omega} \lambda_j g_j(\alpha), \quad (8)$$

що задовольняє необхідним умовам першого порядку (Каруша – Куна – Такера) [1,3]:

$$\begin{aligned} \nabla L(\alpha^*, \lambda^*) &= \nabla G(\alpha^*) + \sum_{j \in \Theta \cup \Omega} \lambda_j^* \nabla g_j(\alpha^*) = 0; \\ g_j(\alpha) &= 0, \quad \lambda_j^* g_j(\alpha^*) = 0, \quad j \in \Theta; \\ g_j(\alpha) &\leq 0, \quad \lambda_j^* \geq 0, \quad j \in \Omega, \end{aligned}$$

де  $\lambda^*$  – оптимальний вектор множників Лагранжа;

$\nabla L(\alpha^*, \lambda^*)$ ,  $\nabla G(\alpha^*)$ ,  $\nabla g_j(\alpha^*)$  – відповідні градієнти лагранжіана (8), цільової функції та обмежень.

Найбільш ефективним методом розв'язання задачі (8) є метод послідовного квадратичного програмування, що використовується в багатьох сучасних пакетах математичних програм для знаходження умовних екстремумів [5,7]. Цей метод оптимізації є ітераційним, тобто наближення до оптимального вектора точок переключення  $\alpha^*$  здійснюється за формулою:

$$\alpha_{k+1} = \alpha_k + s_k d_k,$$

де  $\alpha_{k+1}$  та  $\alpha_k$  – відповідні набори точок переключення  $\alpha$  на  $(k+1)$ -й та  $k$ -й ітераціях;  $s_k$ ,  $d_k$  – відповідно значення кроку та вектор напрямку на  $k$ -й ітерації.

Аналогічно СНС типу мультисинус проведемо моделювання бінарного ЧІМ сигналу

для отримання спектра, що складається з 20-ти гармонік. На рисунку 1, а, б, подано відповідно бінарний СНС та його спектр, оптимізований за критерієм максимуму середнього значення корисних гармонік при обмеженні на корисну потужність сигналу  $P_{кор} \geq 0,95 \text{ В}^2$ .

Діаграми на рисунку 1, в, г, відповідають оптимальному сигналу та спектру при  $P_{кор} \geq 0,85 \text{ В}^2$ . Результатом оптимізації будуть СНС, що мають відповідно значення  $\bar{C} = 0,232 \text{ В}$ ,  $P_{кор} = 0,947 \text{ В}^2$  та  $\bar{C} = 0,29 \text{ В}$ ,  $P_{кор} = 0,85 \text{ В}^2$ . Отже, запропонований метод дозволяє отримати СНС з наперед заданими параметрами спектра. За початкове наближення вектору точок переключення в обох випадках обрано моменти переходу через нуль бажаного СНС типу “мульти-синус” з довільними фазами. Як видно з рисунку 1, при підвищених вимогах до корисної потужності СНС має значний розкид між амплітудами на частотах аналізу. У першому випадку розкид складає  $0,703 \text{ В}$ , а в другому –  $0,17 \text{ В}$ .

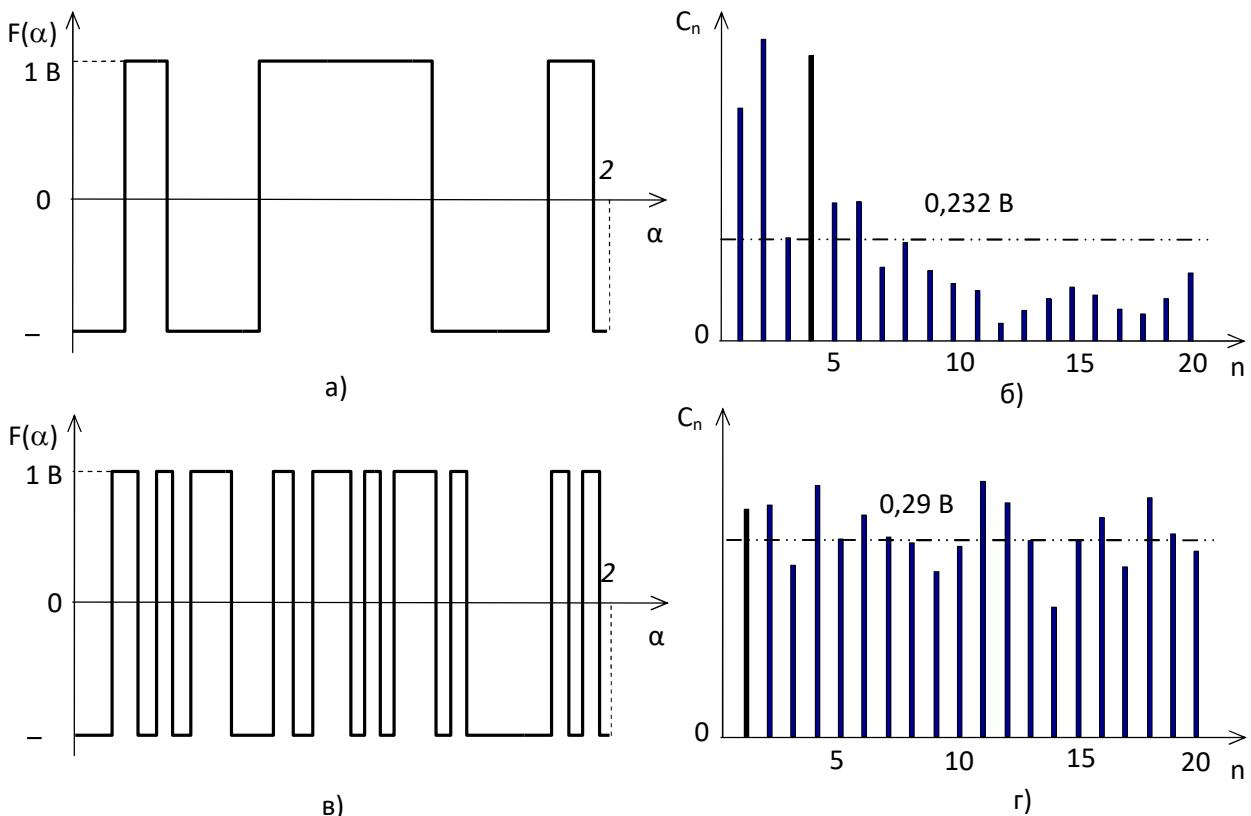


Рис. 1. Результати синтезу бінарного ЧІМ СНС за критерієм максимуму середнього значення

Рівномірний спектр для бінарного ЧІМ сигналу можна отримати, якщо провести оптимізацію бінарного СНС за критерієм (3). Для прикладу розглянемо результати роботи методу послідовного квадратичного програмування для трьох початкових наборів фазових координат переключення (рис. 2), де відображені оптимальні бінарні СНС та відповідно їх спектри з 22-ма точками переключення (рис. 2, а, б), з 24-ма точками переключення (рис. 2, в, г) і з 26-ма точками переключення (рис. 2, д, ж). Аналіз даних діаграм дозволяє зробити висновок: чим більша кількість точок переключення бінарного СНС, тим більше гармонік можна отримати з рівними амплітудами. Зокрема для першого, другого та третього наборів відповідно перші 16, 18 та 20 гармонік будуть мати приблизно однакові амплітуди. Значення відносної нерівномірності, під якою розуміється відношення різниці між максимальною та мінімальною гармонічними складовими у квазірівномірному спектрі до середнього значення квазірівномірних гармонік, для трьох розглянутих вище варіантів складають відповідно  $0,004 \%$ ,  $0,013 \%$  та  $0,23 \%$ .

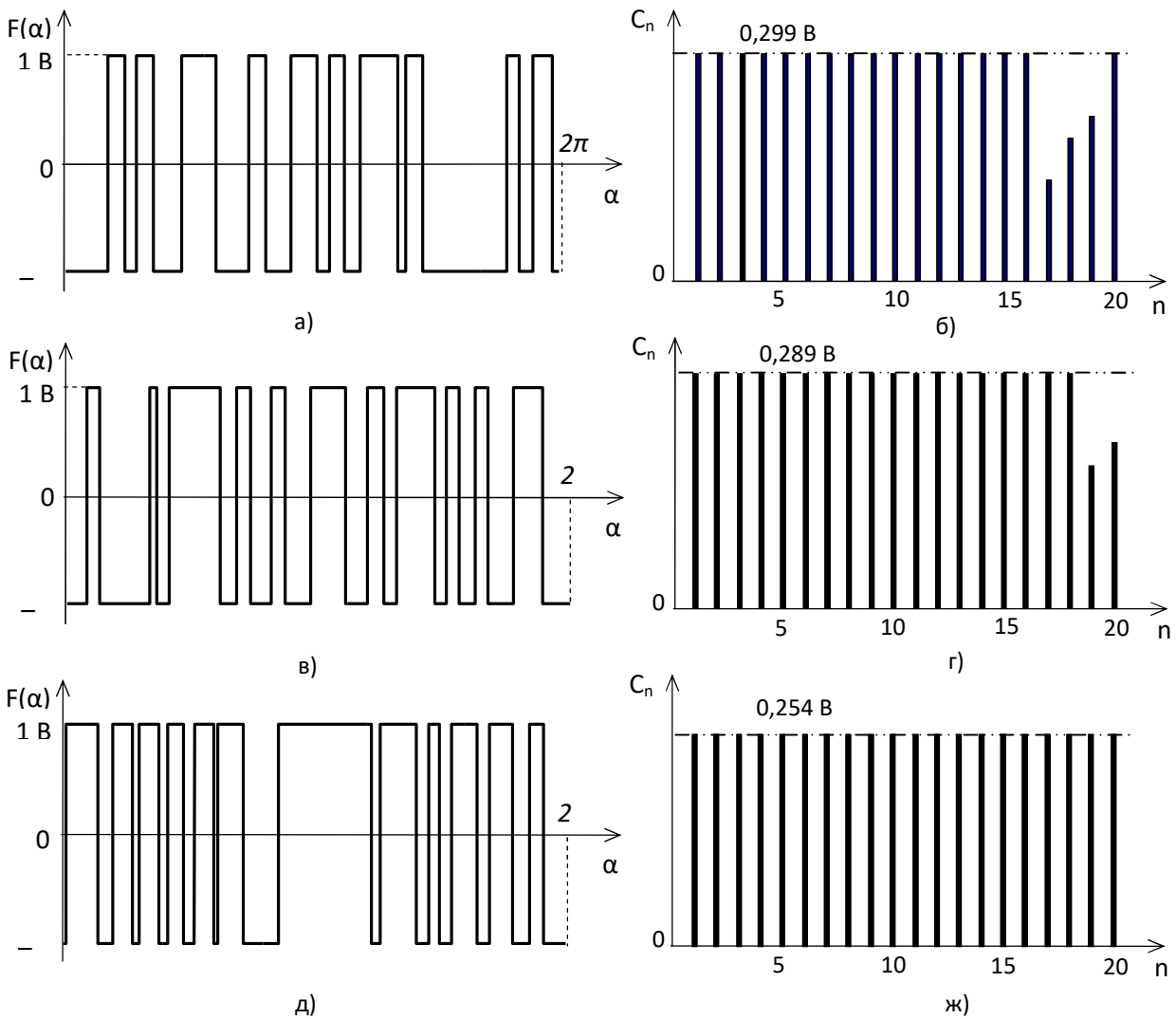


Рис. 2. Результати синтезу бінарного ЧІМ СНС за критерієм нерівномірності

### Метод синтезу СНС з амплітудно-часово-імпульсною модуляцією

Такий вид СНС є аналогом бінарного сигналу за винятком того, що амплітуди кожного імпульсу можуть приймати довільні значення. За початкове наближення для такого СНС можна прийняти точки переключення, отримані за результатами оптимізації бінарних СНС із застосуванням одного з розглянутих вище методів. Отже, синтез АЧІМ СНС полягає в пошуку таких амплітуд імпульсів, які б задовольняли обраним цільовим функціям та, за необхідності, певним обмеженням. Аналогічно виразу (4) запишемо співвідношення, що зв'язує амплітудний спектр АЧІМ СНС з точками переключення та амплітудами імпульсів:

$$C_n(F_i, \alpha) = \frac{1}{\pi n} \sqrt{a_n^2 + b_n^2},$$

$$\text{де } a_n = \sum_{i=1}^{M-1} F_i (\cos(n\alpha_{i+1}) - \cos(n\alpha_i)), \quad b_n = \sum_{i=1}^{M-1} F_i (\sin(n\alpha_{i+1}) - \sin(n\alpha_i)),$$

$F_i$  – амплітуда  $i$ -го імпульсу.

Застосування виразів (1) та (2) при оптимізації АЧІМ СНС недоцільно, навіть з

уведенням обмежень на діапазон можливих амплітуд імпульсів, оскільки СНС у даному випадку залишається бінарним та приймає граничні значення діапазону.

З цією метою як один з варіантів можна запропонувати синтез АЧІМ СНС за критерієм мінімуму відносного розкиду значень амплітуд гармонік у корисному діапазоні частот при обмеженні на коефіцієнт амплітуди  $K_a$  сигналу:

$$\begin{cases} \arg \min_{F_1 \in [F_H, F_B]} (\max\{C_n\} - \min\{C_n\})/\bar{C} \\ \text{при } K_a \leq K_a \text{ зад,} \end{cases} \quad (9)$$

де  $F_H$  та  $F_B$  – відповідно нижня та верхня допустимі границі АЧІМ СНС (наприклад, динамічний діапазон ЦАП).

Розв’язання задачі (9) також відбувається методом послідовного квадратичного програмування. Після виконання ітераційного алгоритму отримуємо СНС (рис. 3, а) та його спектр (рис. 3, б).

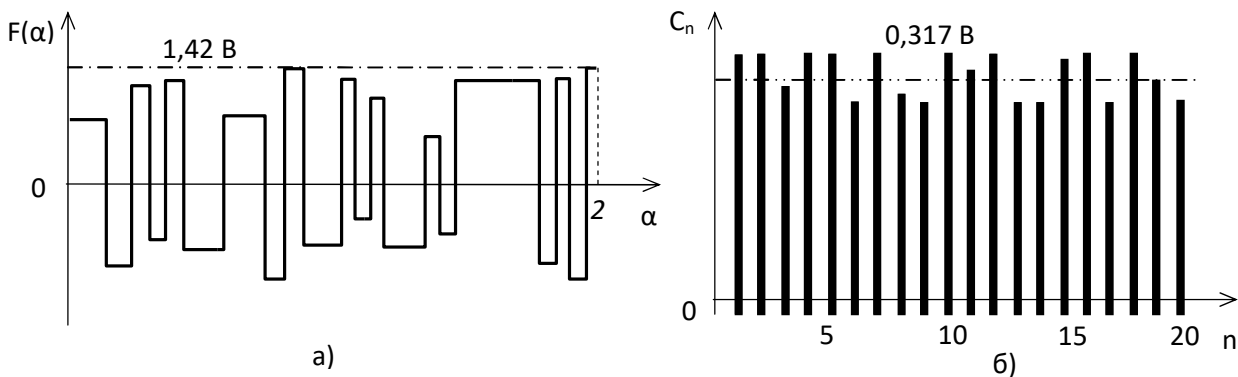


Рис. 3. Результати синтезу АЧІМ СНС за критерієм мінімуму відносного розкиду значень амплітуд гармонік у корисному діапазоні частот при обмеженні

За початковий набір оберемо точки переключення бінарного ЧІМ сигналу, наведеного на рисунку 1, в. Результатом оптимізації буде зменшення розкиду амплітуд гармонічних складових у корисному діапазоні частот до величини 0,06 В та збільшення середнього значення гармонік до 0,317 В. При оптимізації було задано та досягнуто коефіцієнт амплітуди 1,3, що набагато нижче відповідного коефіцієнта амплітуди парного та непарного “мульти-синусів” для 20-ти гармонік. Отже, за критерієм перешкодозахищеності найкращим є бінарний СНС. АЧІМ СНС поступається в цьому відношенні бінарному сигналу, проте, оскільки для АЧІМ сигналу можна отримати заданий коефіцієнт амплітуди, він має більший показник “відношення сигнал / шум” у порівнянні з “мульти-синусом”.

**Висновки.** У статті запропоновано та досліджено методологію синтезу параметрів полігармонійних вимірювальних сигналів, які дозволяють отримувати перешкодозахищені вимірювальні сигнали з потрібними показниками спектра, зокрема, коефіцієнтами корисної потужності та нерівномірності, середнього значення гармонік у корисному діапазоні частот.

Отримав подальший розвиток метод синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром з використанням функції Лагранжа, який, на відміну від відомих дозволяє за критерієм оптимальності керувати спектральним складом потрібного вимірювального сигналу та відтворювати такі сигнали із заданими показниками спектра;

Результати імітаційного моделювання отриманих результатів показали, що для підвищення показників контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів необхідно використовувати сумарний синусоїдний сигнал, який складається з декількох гармонік

(складний за формою сигнал). Кількість гармонік такого сигналу дорівнює половині параметрів, що контролюються.

Наприклад, для аперіодичного ланцюга радіонавігаційного комплексу застосування запропонованих вимірювальних сигналів порівняно з відомим синусоїдним надає вигреш у чутливості до 20% (при незначному часі контролю) і до 10% при збільшенні часу контролю. Порівняно з відомими прямокутними сигналами вигреш від застосування запропонованих сигналів є ще більшим: до 40% при незначному часі контролю та до 20% при підвищенні часу контролю.

Показано, що збільшення чутливості контролю дозволяє підвищити достовірність контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту до 10% при незначному часі контролю та до 5% при значному часі контролю.

Це свідчить також про підвищення оперативності контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту при використанні розроблених вимірювальних сигналів (підвищенні коефіцієнта готовності радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту до функціонування за призначенням).

Крім того, отримані вимірювальні сигнали підвищують кількість інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту, що контролюється.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. В.І. Богомья, 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.
2. Баранов Г.Л. Р-модельовання складних динамічних систем / [Баранов Г.Л., Брайловський М.М., Засядько А.А. та інші.]. – К.: ДУИКТ, 2008. – 131 с.
3. 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.
4. 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.
5. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управление движением судна. Одесса. Феникс, 2007. 367 с.
6. Тимошук О.М., Богомья В.І., Дакі О.А. Методологія синтезу полігармонійних вимірювальних сигналів з нормованим спектром. *Новітні технології*. 2018. Вип. 3(7). С. 33–44. DOI: <https://doi.org/10.31180/2524-0102/2018.3.07.05>
7. Доронин В.В. Радионавигационные приборы и системы/ В.В. Доронин В.В. – К: КГАВТ, 2006. – 472 с.
8. 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.
9. Дакі О.А. Автоматичні прилади контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту. *Новітні технології: збірник наукових праць*. 2019. Вип. 1 (8). С. 95-104. DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.12.

#### REFERENCES

1. V.I. Bohom'ya, A.V. Horban', M.A. Pavlenko, O.I. Tymochko, O.M. Tymoshchuk. Za zah. red. O.M. Tymoshchuk. Osoblyvosti systemnoho pidkходу do vyrishennya naukovykh zavdan' ekspluatatsiyi sudnovoho obladdannya. Kyiv. DUIT. 2018. 305 s.
2. Baranov H.L. P-modelyuvannya skladnykh dynamichnykh system / [Baranov H.L., Braylovs'kyu M.M., Zasyad'ko A.A. ti inshi.]. – K.: DUYKT, 2008. – 131 s.
3. 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.
4. 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.
5. Vahushchenko L.L., TSymbal H.H. Systemy avtomatycheskoho upravlenye dvyzhenyem sudna. Odessa. Fenyks, 2007. 367 s.



6. Tymoshchuk O.M., Bohom'ya V.I., Daki O.A. Metodolohiya syntezy poliharmoniynykh vymiryval'nykh syhnaliv z normovanyim spektrom. Novitni tekhnolohiyi. 2018. Vyp. 3(7). С. 33–44. DOI: <https://doi.org/10.31180/2524-0102/2018.3.07.05>
7. Doronyn V.V. Radyonavyhatsyonnye prybory y systemy/ V.V. Doronyn V.V. – К: К·НАVT, 2006. – 472 s.
8. Bohom'ya V.I., Davydov V.S., Doronin V.V., Pashkov D.P., Tykhonov I.V. (2012). Navihatsiyne zabezpechennya upravlinnya rukhom suden. К.:DVVP «Kompas». 336 s.
9. Daki O.A. Avtomatychni prylady kontrolyu parametriv system upravlinnya ta navihatsiyi zasobiv vodnoho transportu. Novitni tekhnolohiyi: zbirnyk naukovykh prats'. 2019. Vyp. 1 (8). S. 95-104. DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.12.

**Даки Е.А., Асланов А.В., Билима Р.Н., Дениченко А.А., Дехтяр В. В.**

### **МЕТОД СИНТЕЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*В статье обозначено противоречие, которое существует в практике контроля технического состояния сложных систем. 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 стороны наблюдается отсутствие методов автоматизации процессов синтеза измерительных сигналов и обработки отзввов на них для этого.*

*Реализация традиционного подхода к измерению характеристик амплитудно-частотного спектра динамических объектов, требует значительной трудоемкости измерений. Избежать данного недостатка можно за счет использования измерительных сигналов. Постановка задачи получения оптимальных параметров измерительных сигналов предусматривает определение конкретных критериев синтеза.*

*Предлагается разработка оптимального метода синтеза измерительных сигналов с нужным спектром и проведения экспериментальной 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.*

**Daki O.A., Aslanov A.V., Bylyma R.M., Denychenko A.A., Dekhtiar V.V.**

### **METHOD OF SYNTHESIS OF MEASURING SIGNALS FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF SHIPBOARD RADIO NAVIGATION COMPLEXES**

*The article presents the contradiction that exists in the practice of controlling the technical condition of complex systems. Provision of the given reliability of the information on the technical state of the radionavigation complexes of the traffic control of water transport means requires an increase in the scope and accuracy of measurements when evaluating their characteristics on the one hand. On the other hand, there is a lack of methods for automating the synthesis of measurement signals and processing responses to them for this.*

*Implementation of the traditional approach to measuring the characteristics of the amplitude-frequency spectrum of dynamic objects, requires a considerable complexity of measurements. Avoid this disadvantage due to the use of measuring signals. The statement of the problem of obtaining optimal parameters of measuring signals involves the definition of specific synthesis criteria.*

*It is proposed to develop an optimal method for synthesizing measuring signals with the required spectrum and conduct an experimental verification of the theoretical results and develop recommendations for their implementation for the automated control of the technical state of the radionavigation complexes for controlling the movement of water transport vehicles.*

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