

В.В. Ципоренко, к.т.н., доц.

В.Г. Ципоренко, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ БЕЗПОШУКОВОГО ЦИФРОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО КОРЕЛЯЦІЙНО-ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНОГО РАДІОПЕЛЕНГАТОРА З АНТЕННОЮ РЕШІТКОЮ ШЛЯХОМ МОДЕЛЮВАННЯ

Проведено дослідження завадостійкості безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з антенною решіткою шляхом моделювання. Показано суттєве покращання завадостійкості радіопеленгатора, порівняно з відомими.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. На сьогодні радіопеленгування радіоелектронних засобів здійснюється в умовах складної електромагнітної обстановки (ЕМО), великої апріорної невизначеності щодо параметрів радіовипромінювань, а також в умовах реального масштабу часу. Перспективним напрямком реалізації радіомоніторингу для вказаних умов є використання цифрових кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів [1–3].

Основною вимогою до сучасних засобів радіопеленгування є забезпечення їх високої завадостійкості. Тому розробка завадостійких цифрових кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів та дослідження їх завадостійкості є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми. В роботі [4] розроблено безпошуковий кореляційно-інтерферометричний метод пеленгування, що здійснює максимально правдоподібну оцінку часу затримки прямим аналітичним методом за один цикл кореляційного оброблення. Це дозволяє здійснювати кореляційно-інтерферометричне пеленгування джерел ширококугових радіовипромінювань в умовах реального масштабу часу. Дослідження можливості використання такого методу в умовах складної електромагнітної обстановки не проведено.

У роботі [5] запропоновано безпошуковий цифровий метод спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування з використанням антенної решітки (АР), особливостями якого є використання додаткової просторової селекції шумів та завад в складній ЕМО. Однак дослідження завадостійкості цього методу в роботі не виконано.

У роботі [6] виконано аналіз завадостійкості безпошукового цифрового методу спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування з використанням АР та отримано аналітичні оцінки завадостійкості з урахуванням впливу зовнішніх завад та власних шумів. Однак дослідження залежності завадостійкості від основних параметрів радіопеленгатора не отримано.

В роботах [7, 8] досліджено статистичні характеристики та завадостійкість класичного багатоітераційного кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора. Однак дослідження характеристик завадостійкості при безпошуковому спектральному кореляційно-інтерферометричному пеленгуванні не виконано.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Таким чином, невирішеною раніше частиною загальної проблеми забезпечення завадостійкості кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів є дослідження характеристик завадостійкості безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з АР шляхом моделювання.

Формулювання цілей статті. Відповідно до невирішених раніше частин загальної проблеми забезпечення завадостійкості кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів, цілями статті є: дослідження завадостійкості безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з АР шляхом моделювання.

Викладення основного матеріалу дослідження. Виконаємо дослідження завадостійкості безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з використанням АР та проміжної просторової селекції. Нехай приймається суміш $U(t)$ корисного випадкового сигналу $S(t)$ з рівномірним енергетичним спектром та його R перевідбитих копій лінійною АР із Z ідентичними пеленгаційними радіоканалами. Радіоканали АР мають власні адитивні стаціонарні нормальні шуми $n_z(t)$ з нульовим математичним очікуванням та однаковою спектральною густиною потужності N , що постійна в межах смуги частот одночасного аналізу $\left[\omega_{S,f}; \omega_{S,A} \right]$. Будемо вважати, що власні шуми радіоканалів АР не мають міжканальної кореляції та кореляції з сигналом і завадами, що приймаються. Також будемо вважати, що фазові флуктуації на шляху поширення сигналу та завад відсутні. Таким чином, початкові умови досліджень можуть бути представлені таким чином:

$$U_z(t) = S_z(t - \tau_z) + \sum_{r=1}^R a_r \cdot S_{z,r}(t - \tau_{z,r}) + n_z(t), \quad (1)$$

де $U_z(t)$ – суміш, що приймається z -им пеленгаційним каналом; $S_z(t - \tau_z)$ – корисний сигнал, що приймається z -им пеленгаційним каналом; τ_z – затримка корисного сигналу в z -му каналі відносно певного опорного каналу, що залежить від напрямку на ДРВ; $a_r \cdot S_{z,r}(t - \tau_{z,r})$ – перевідбита копія корисного сигналу в z -му каналі, що сформувалась при проходженні через r -ту трасу поширення; $a_r, \tau_{z,r}$ – випадкові коефіцієнт послаблення та час затримки сигналу відповідно на шляху r -ої траси поширення для z -го каналу; $R \gg 1$ – кількість променів поширення; $n_z(t)$ – адитивний гаусів шум з рівномірним розподілом густини потужності $N(\omega)$ в межах смуги частот одночасного аналізу z -го каналу.

Для вказаних умов доцільним є реалізація безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного пеленгування з використанням еквівалентного просторового каскадного цифрового синтезу першої та другої багатопелюсткових діаграм спрямованості (БПДС) з адаптацією параметрів першої БПДС шляхом просторової селекції завад та шумів і виділення підмасиву сигнальних її вихідних відліків, які відповідають групі сигнальних головних пелюсток, що спрямовані на джерело радіовипромінювання (ДРВ) сигналу $S(t)$.

При такому способі безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування з використанням АР завадостійкість, що визначається еквівалентним відношенням сигнал/шум+завада μ після прийому сигналу двома БПДС, оцінюється згідно з рівнянням [6]:

$$\mu = \frac{\left(\frac{P_s \cdot K_{Wf}}{\Delta\omega_a \cdot T_a} \right)^2 \cdot K_{A1}^2 \cdot K_{A2}^2}{P_{Nkl} + P_C \cdot K_{A1}^2}, \quad (2)$$

де P_s – середня потужність корисного сигналу $S(t)$; K_{Wf} – коефіцієнт шумової смуги вагової функції «вікна» цифрового часового спектрального аналізу; K_{A1}, K_{A2} – коефіцієнти підсилення першої та другої БПДС відповідно в напрямку на ДРВ корисного сигналу $S(t)$; $\Delta\omega_a = \omega_{s,A} - \omega_{s,I}$ – ширина смуги аналізу, що співпадає з шириною спектра корисного сигналу $S(t)$; T_a – тривалість процесу аналізу радіовипромінювання; P_{Nkl} – потужність власних шумів пеленгатора на виході першої БПДС; P_C – потужність зовнішньої завади локалізованого ДРВ; K_{A1} – рівень бічної пелюстки першої БПДС, що відповідає напрямку на ДРВ завади.

Аналіз рівняння (2) показує, що завадостійкість доцільно досліджувати з урахуванням трьох просторових секторів, межі яких визначаються співвідношенням діаграм спрямованостей кожної пари відповідних головних пелюсток першої та другої БПДС. Перший сектор ($\hat{A}_1 \hat{A}_2$) відповідає збігу бічних пелюсток, другий ($\hat{A}_1 \tilde{A}_2$) – збігу бічних пелюсток першої БПДС і головної пелюстки другої БПДС, третій ($\tilde{A}_1 \tilde{A}_2$) – збігу головних пелюсток першої та другої БПДС (рис. 1).

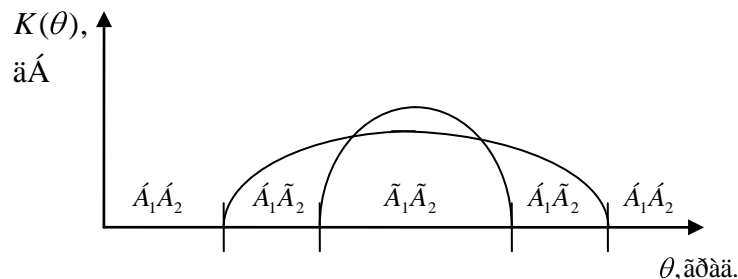


Рис. 1. Розподіл секторів пеленгування

На рисунку 1 позначено: $K(\theta)$ – коефіцієнт підсилення АР; θ – значення напрямку прийому АР.

Особливістю роботи безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з АР на відміну від відомих є забезпечення в секторі пеленгування ($\hat{A}_1 \tilde{A}_2$) можливості додаткового подавлення завад та шумів до рівня селективності, що дорівнює рівню бічних пелюсток K_{A1}

першої БПДС. Аналіз рівняння (2) також показує, що при інших незмінних умовах завадостійкість пеленгування суттєво залежить від рівня K_{A1} бічних пелюсток першої БПДС та ширини сектора пеленгування (A_1, A_2), які визначаються, в свою чергу, коефіцієнтом $K_{w\theta 1}$ виду вагової функції синтезу першої та другої БПДС, а також способом селекції підмасиву сигнальних відліків на виході першої БПДС. Перша та друга БПДС синтезуються цифровим методом на основі алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) [5]. Тому просторові вибіркові властивості їх визначаються рівнем бічних пелюсток K_{A1} та шириною головної пелюстки Δ , для реалізації яких використовують типові вагові функції синтезу (функції «вікна») [9], таких як Блекмана, Фон-Ганна, Хеммінга, трикутна, прямокутна.

Спосіб селекції кількісно характеризується кількістю сигнальних відліків M_S у підмасиві вихідних відліків першої БПДС, що виділяється відповідно до екстремальної пелюстки з напрямком Ω^* , що спрямований на ДРВ сигналу. Кількісно коефіцієнт M_S є цілочисельною величиною і може приймати значення в діапазоні 2–8 відліків залежно від типу «вікна».

Таким чином, дослідження завадостійкості безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора доцільно проводити за такими основними параметрами: середньоквадратична похибка пеленгування σ_θ , рівень бічних пелюсток K_{A1} , кількість сигнальних відліків M_S залежно від типу вагової функції «вікна», відношення сигнал/шум+завада μ .

Для оцінки ефективності досліджуваного методу його параметри доцільно оцінювати порівняно з відомим аналогічним цифровим безпошуковим спектральним кореляційно-інтерферометричним радіопеленгатором, який не використовує додаткової проміжної селекції і має завадостійкість, що визначається еквівалентним відношенням сигнал/шум+завада μ_1 згідно з рівнянням [6]:

$$\mu_1 = \frac{P_S^2 \cdot K_{A1}^2 \cdot K_{A2}^2}{P_{Nk1} + P_{N\theta 1} \cdot P_{Nk2} + P_{N\theta 2}} \quad (3)$$

де P_{Nk2} – потужність власних шумів пеленгатора на виході другої БПДС; $P_{N\theta 1}, P_{N\theta 2}$ – потужність просторових зовнішніх шумів завад на виході першої та другої БПДС відповідно.

Дослідження завадостійкості безпошукових цифрових спектральних кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів відомого та з додатковою проміжною просторовою селекцією виконано на основі програмного моделювання з використанням відомих програм MathCad та Numeri.

Моделювання проводилось за таких умов: кількість каналів АР, що використовується для синтезу першої БПДС – $Z_1 = 64$; кількість каналів АР, що використовується для синтезу другої БПДС – $Z_2 = 32$; відношення сигнал/завада в суміші, що приймається АР $P_S / P_C = 1$; перша та друга БПДС синтезуються з використанням однакового типу вагової функції «вікна».

Для вказаних умов визначені граничні значення параметрів завадостійкості залежно від типу «вікна» для досліджуваного та відомого пеленгаторів, що наведено в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1

Граничні значення параметрів завадостійкості досліджуваного безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з антенною решіткою

Тип «вікна»	K_{A2} , дБ	σ_θ , рад.	Δ_5 , hf	Δ_3 , hf
Блекмана	-58	$1,4 \cdot 10^{-3}$	5	4
Хеммінга	-43	$9,8 \cdot 10^{-3}$	4	3
Фон-Ганна	-32	$35 \cdot 10^{-3}$	4	3
Трикутний	-27	$63 \cdot 10^{-3}$	4	3

В таблиці 1 позначено: K_{A2} – рівень бічних пелюсток другої БПДС; Δ_3, Δ_5 – ширина головних пелюсток другої БПДС за рівнем бічних пелюсток при використанні режимів селекції $M_S = 3$ та $M_S = 5$ відповідно, що визначається за кількістю частотних кроків hf БПДС.

Таблиця 2

Граничні значення параметрів завадостійкості відомого безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з АР

Тип «вікна»	$M_S = 5$	$M_S = 3$

	K_{A2} , дБ	σ_θ , рад.	Δ_5 , hf	K_{A2} , дБ	σ_θ , рад.	Δ_3 , hf
Блекмана	-36,9	$11,3 \cdot 10^{-3}$	6	-23,5	$74,3 \cdot 10^{-3}$	6
Хеммінга	-28,5	$34,5 \cdot 10^{-3}$	4	-21,9	$111 \cdot 10^{-3}$	4
Фон-Ганна	-23,6	$65 \cdot 10^{-3}$	4	-18,6	$164 \cdot 10^{-3}$	4
Трикутний	-22,7	$73 \cdot 10^{-3}$	4	-24	$89 \cdot 10^{-3}$	4

Порівняльний аналіз результатів таблиць 1 та 2 показав наступне. Найкращу завадостійкість забезпечує «вікно» Блекмана з рівнем бічних пелюсток $K_{A2} = -58$ дБ та похибкою пеленгування $1,4 \cdot 10^{-3}$ рад.

Виграш за селективністю завад досліджуваного радіопеленгатора з додатковою проміжною просторовою селекцією, порівняно з відомим методом, становить від -21 до -3 дБ при способі селекції $M_S = 5$ та від $-34,5$ до -3 дБ при способі селекції $M_S = 3$ для основних типів «вікон». Виграш за точністю пеленгування досліджуваного радіопеленгатора сягає від 18,1 до 1,3 дБ при способі селекції $M_S = 5$ та від 34,5 до 3 дБ при способі селекції $M_S = 3$. Виграш досліджуваного радіопеленгатора за селективністю завад та точністю не залежить від абсолютних значень потужностей сигналу та завади і може мати більше значення за умови розширення головних пелюсток другої БПДС за рахунок зменшення кількості використаних каналів Z_2 АР.

Також у досліджуваному радіопеленгаторі забезпечується еквівалентне звуження головної пелюстки другої БПДС з екстремальною частотою від 83 до 66 %, порівняно з відомим безпошуковим радіопеленгатором, залежно від способу селекції та типу «вікна».

За сукупністю селективності завад K_{A2} та ширини головної пелюстки найбільш доцільним є використання «вікна» Блекмана для способу селекції за трьома відліками $M_S = 3$, при якому забезпечується найкраща селективність і найбільше відносне звуження головних пелюсток другої БПДС, що сягає 66 %.

Таким чином, результати моделювання підтверджують високу завадостійкість досліджуваного радіопеленгатора з додатковою проміжною просторовою селекцією і можливість забезпечення високої точності пеленгування в складній ЕМО.

Виконано дослідження залежності відношення сигнал/завада для другої БПДС від напрямку на джерело завади, результати яких наведено на рисунку 2.



Рис. 2. Залежність відношення сигнал/завада від напрямку на джерело завади

На рисунку 2 напрямок на джерело завади представлений через значення відповідної просторової частоти Ω_p з урахуванням особливостей синтезу першої та другої БПДС цифровим спектральним методом на основі ШПФ [9]. Залежності на рисунку 2 відповідають 16 екстремальній пелюстці першої та другої БПДС з центральною частотою $\Omega_{1,6} = 250$ Гц, що відповідає напрямку $\theta_{1,6} = 60^\circ$, та з використанням «вікна» Блекмана. При цьому ряди 1 та 2 відповідають досліджуваному радіопеленгатору при способах селекції $M_S = 3$ та $M_S = 5$ відповідно, а 3 ряд відповідає відомому радіопеленгатору.

Аналіз залежностей на рисунку 2 показує, що використання проміжної просторової селекції завад в досліджуваному радіопеленгаторі за результатами оброблення першою БПДС зумовлює еквівалентне звуження ширини головної екстремальної пелюстки другої БПДС пропорційно значенню коефіцієнта

M_s . Звуження ширини головної екстремальної пелюстки другої БПДС зумовлює звуження сектора пеленгування (\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) і відповідне покращання рівня селективності завад. Відносно звуження головної екстремальної пелюстки другої БПДС досліджуваного пеленгатора, порівняно з відомим, становить 30 % при $M_s = 3$ та 18 % при $M_s = 5$, що узгоджується з результатами таблиць 1, 2.

Виконано дослідження відносної похибки пеленгування досліджуваного радіопеленгатора з використанням додаткової проміжної просторової селекції залежно від відношення сигнал/завада для трьох типів «вікна», а саме: прямокутного – ряд 1; Хеммінга – 2; Блекмана – 3 для значення напрямку на джерело сигналу – $\theta_{16} = 60^\circ$ та значення напрямку на джерело завади $\theta_c = 49^\circ$. Результати досліджень представлено на рисунках 3–5 для способів селекції: $M_s = 7$, $M_s = 5$ та $M_s = 3$ відповідно.

Аналіз залежностей на рисунках 3–5 показав наступне. Для всіх способів селекції та типів «вікна» точність пеленгування має гіперболічну залежність від відношення сигнал/завада. Для всіх способів селекції найкращу завадостійкість забезпечує використання «вікна» Блекмана, яке має мінімальний рівень бічних пелюсток.

Для прямокутного «вікна» похибка пеленгування практично не змінюється при зміні способу селекції від $M_s = 7$ до $M_s = 5$ відліків та суттєво зменшується від 10 до 3 % при зміні способу селекції з $M_s = 7$ до $M_s = 3$ відліків.

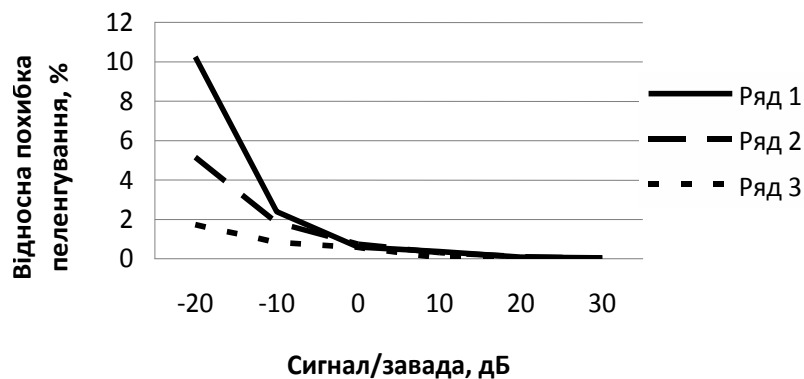


Рис. 3. Залежність відносної похибки пеленгування від відношення сигнал/завада при способі селекції $M_s = 7$

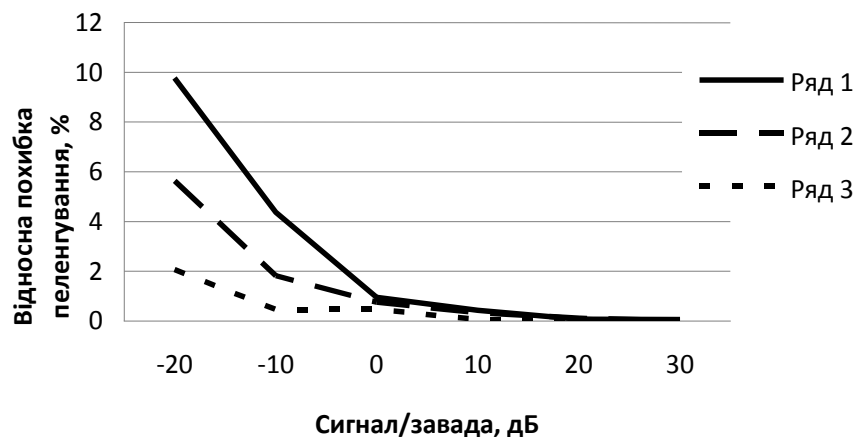


Рис. 4. Залежність відносної похибки пеленгування від відношення сигнал/завада при способі селекції $M_s = 5$

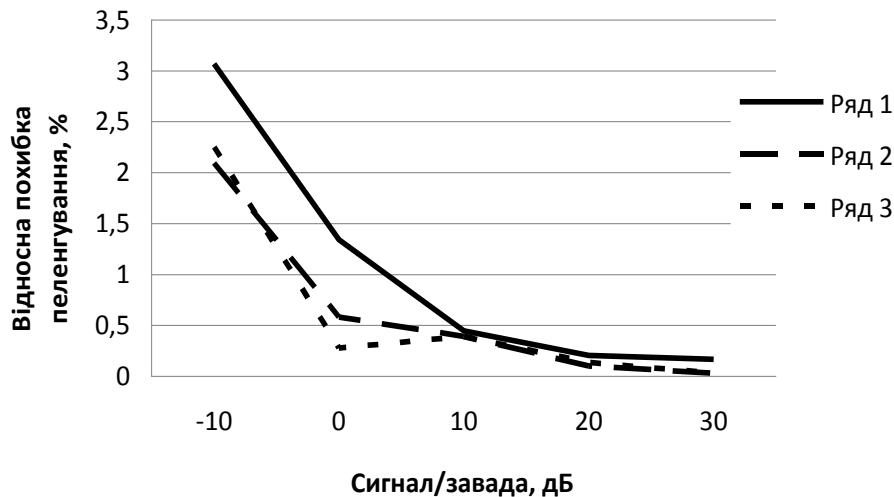


Рис. 5. Залежність відносної похибки пеленгування від відношення сигнал/завада при способі селекції $M_s = 3$

Аналогічну залежність має «вікно» Хемінга, але зменшення похибки становить від 6 до 2 % при зміні способу селекції від $M_s = 7$ до $M_s = 5$ відліків.

Для «вікна» Блекмана похибка пеленгування при зміні способу селекції змінюється в незначних межах, практично співпадаючи з похибкою для «вікна» Хемінга при способі селекції $M_s = 3$ відліки.

В цілому «вікно» Блекмана є найбільш завадостійким і доцільним для використання.

Виконано дослідження похибки пеленгування досліджуваного методу з використанням додаткової проміжної селекції залежно від відношення сигнал/шум з урахуванням власних шумів для трьох типів «вікна», а саме: прямокутного – ряд 1; Хеммінга – 2; Блекмана – 3. Результати досліджень представлено на рисунках 6–8 для способів селекції: $M_s = 7$, $M_s = 5$ та $M_s = 3$ відповідно.

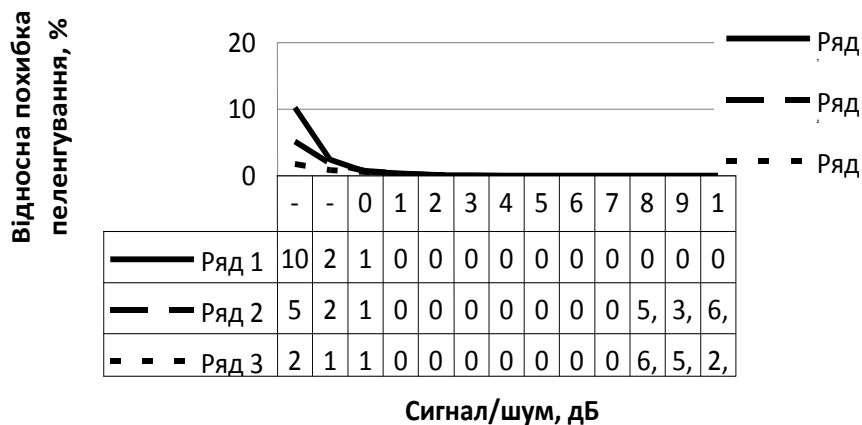


Рис. 6. Залежність відносної похибки пеленгування від відношення сигнал/шум при способі селекції $M_s = 7$

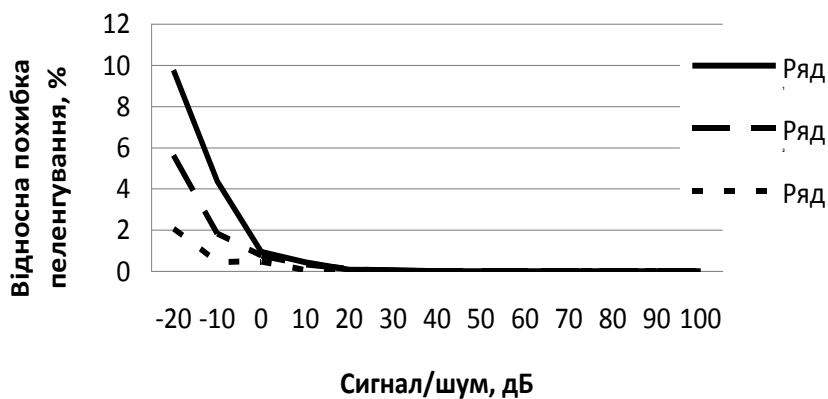


Рис. 7. Залежність відносної похибки пеленгування від відношення сигнал/шум при способі селекції $M_s = 5$

Аналіз залежностей на рисунках 6–8 показав наступне. Найкращу точність для всіх способів селекції забезпечує «вікно» Блекмана. При використанні селекції за $M_s = 3$ відлікам забезпечується краща точність порівняно з іншими режимами селекції. Для всіх способів селекції та типів «вікна» точність пеленгування має гіперболічну залежність від відношення сигнал/шум.

Таким чином, в цілому використання «вікна» Блекмана, яке забезпечує кращу завадостійкість при зміні способу селекції, є найбільш доцільним.

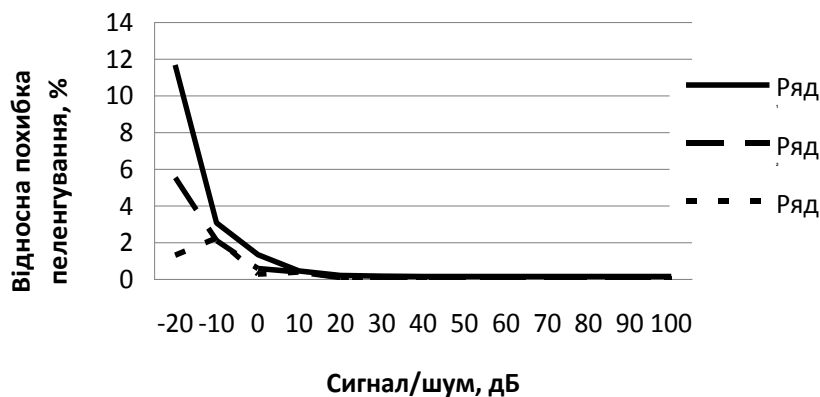


Рис. 8. Залежність відносної похибки пеленгування від відношення сигнал/шум при способі селекції $M_s = 3$

В цілому за результатами моделювання досліджень можна зробити такі висновки. Показано, що при цифровому синтезі БПДС радіопеленгатора забезпечується висока гнучкість регулювання форми ДС та параметрів її селективності. При використанні проміжної селекції після оброблення сигналу першою БПДС забезпечується зменшення ширини екстремальної головної другої БПДС від 16 до 32 %, залежно від способу селекції. Кращу завадостійкість при дії завад та власних шумів забезпечує використання «вікна» Блекмана при незначному впливі способу селекції.

Результати моделювання та теоретичних досліджень узгоджуються і підтверджують високу завадостійкість досліджуваного безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з антенною решіткою, що використовує додаткову просторову селекцію.

Висновки. Проведені дослідження завадостійкості безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з антенною решіткою, що використовує додаткову просторову селекцію показали його високу завадостійкість. Показано, що цифровий синтез БПДС радіопеленгатора забезпечує високу гнучкість регулювання форми БПДС та параметрів її селективності. Завадостійкість досліджуваного пеленгатора суттєво залежить від типу «вікна» при синтезі БПДС та способу проміжної селекції, при цьому доцільним є використання «вікна» Блекмана та способу селекції $M_s = 3$. Виграш за селективністю завад досліджуваного радіопеленгатора з додатковою проміжною

просторовою селекцією, порівняно з відомими методами, становить від -21 до -3 дБ при способі селекції $M_s = 5$ та від $-34,5$ до -3 дБ при способі селекції $M_s = 3$ для основних типів «вікон».

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку. В подальшому доцільно дослідити способи проміжної селекції, що забезпечують суттєве еквівалентне звуження головних пелюсток БПДС і відповідно завадостійкості радіопеленгатора в цілому.

Список використаної літератури:

1. Слободянюк П.В. Довідник з радіомоніторингу / П.В. Слободянюк, В.Г. Благодарний, В.С. Ступак ; за заг. ред. П.В. Слободянюка. – Ніжин : ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. – 588 с.
2. Рембовский А.М. Радиомониторинг – задачи, методы, средства / А.М. Рембовский, А.В. Ашихмин, В.А. Козьмин ; под ред. А.М. Рембовского. – 2-ое изд., перераб. и доп. – М. : Горячая линия–Телеком, 2010. – 624 с.
3. Перунов Ю.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Ю.М. Перунов, К.И. Фомичев, Л.М. Юдин ; под ред. Ю.М. Перунова. – М. : Радиотехника, 2003. – 416 с.
4. Ципоренко В.В. Метод кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування з дисперсійною обробкою комплексних взаємних спектрів сигналів / В.В. Ципоренко // Вісник Національного технічного університету України «КПІ» / Радиотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2010. – № 42. – С. 26–37.
5. Ципоренко В.В. Безпошуковий цифровий метод спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування з використанням антенної решітки / В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – № 1 (60). – 2012. – С. 77–83.
6. Ципоренко В.В. Аналіз завадостійкості безпошукового цифрового методу спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування з використанням антенної решітки / В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – № 4 (59). – 2011. – С. 106–111.
7. Караваев В.В. Статистическая теория пассивной локации / В.В. Караваев, В.В. Сазонов. – М. : Радио и связь, 1987. – 240 с. – (Статистическая теория связи; вып. 27).
8. Караваев В.В. К теории интерферометра / В.В. Караваев, В.В. Сазонов // Радиотехника и электроника. – 1971. – Т. 16, № 12. – С. 2303–2308.
9. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл-мл. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1990.

ЦИПОРЕНКО Віталій Валентинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехніки та телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– безпошукові цифрові методи кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування.

Тел.: (0412)46–60–65.

E-mail: tsiporenko.1985@mail.ru

ЦИПОРЕНКО Валентин Григорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри радіотехніки та телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– спектрально-просторові методи виявлення, оцінки параметрів та пеленгування радіовипромінювань.

Стаття надійшла до редакції 18.07.2012

В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко. Дослідження завадостійкості безпошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з антенною решіткою шляхом моделювання

В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко. Исследование помехоустойчивости безпоискового цифрового спектрального корреляционно-интерферометрического радиопеленгатора с антенной решеткой путем моделирования

V.V. Tsyoporenko, V.G. Tsyoporenko. Research of Noiseproof of Direct Digital Spectral Correlation-interferometric Radio Direction-finder with Antenna Lattice by the Design

УДК 621.37:621.391

Исследование помехоустойчивости безпоискового цифрового спектрального корреляционно-интерферометрического радиопеленгатора с антенной решеткой путем моделирования / В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко.

Проведено исследование помехоустойчивости безпоискового цифрового спектрального корреляционно-интерферометрического радиопеленгатора с антенной решеткой путем моделирования. Показано существенное улучшение помехоустойчивости радиопеленгатора сравнительно с известными.

УДК 621.37:621.391

Research of Noiseproof of Direct Digital Spectral Correlation-interferometric Radio Direction-finder with Antenna Lattice by the Design / V.V. Tsyoporenko, V.G. Tsyoporenko.

In this paper, a research of noiseproof of direct digital spectral correlation-interferometric radio direction-finder with antenna lattice is conducted by the design. The ponderable improvement of noiseproof of direction-finder is rotined comparatively with known.