

## ОПТИМІЗАЦІЯ БЕЗПОШУКОВОГО ЦИФРОВОГО МЕТОДУ КОРЕЛЯЦІЙНО-ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНОГО ПЕЛЕНГУВАННЯ З ПОДВІЙНИМ КОРЕЛЯЦІЙНИМ ОБРОБЛЕННЯМ ТА ЦИКЛІЧНОЮ МОДЕЛЛЮ ЧАСТОТНОГО ЗСУВУ

Типовими умовами роботи засобів пеленгування у складі сучасних систем радіомоніторингу є складна електромагнітна обстановка (ЕМО), що динамічно змінюється. Перспективним напрямком реалізації радіопеленгування для вказаних умов є використання цифрових кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів, у тому числі безпошукових, що забезпечують широкий робочий частотний діапазон, стійкість до завад, зумовлених багатопроменевим прийманням, високу чутливість та точність.

Ефективність засобів пеленгування суттєво залежить від співвідношення їх параметрів, у тому числі швидкодії, точності, завадостійкості та апаратурних витрат (вартості). Тому дослідження і оптимізація цифрових кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів та забезпечення можливості їх адаптації до умов складної ЕМО є актуальною науковою задачею.

Виконано оптимізацію безпошукового цифрового методу спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування з подвійним кореляційним обробленням.

Показано, що похибка пеленгування визначається співвідношенням похибки оцінки  $\hat{r}_3$  та величини антенної бази  $d$ . Як основний показник точності пеленгування доцільно використовувати дисперсію  $\sigma_\theta^2$  похибки оцінки напрямку на ДРВ, яка визначається для досліджуваного методу пеленгування згідно з рівнянням:

$$\sigma_\theta^2 = \frac{2\pi \cdot c^2}{q_{ex}^2 \cdot \Delta\omega_{3C}^2 \cdot \Delta\omega_a \cdot T_a \cdot K_w \cdot d^2 \cdot \sin^2 \theta}, \quad (1)$$

де  $q_{ex}$  – відношення сигнал/шум на вході пеленгаційних каналів АР;

$\Delta\omega_a$  – ширина смуги аналізу при подвійному кореляційному обробленні;

$K_w$  – коефіцієнт шуму вагової функції «вікна» цифрового спектрального аналізу.

Загальні умови оптимізації визначено наступним чином:

$$\sigma_\theta^2 = \min. \quad (2)$$

Для реалізації оптимізації методу, що розглядається, визначено вид цільової функції та функцій зв'язку. Для цього виконано аналіз особливостей реалізації методу пеленгування, що оптимізується.

Визначено рівняння оптимізації (вид цільової функції  $F(\Delta\omega_{3C})$  і критерій оптимальності) для циклічної моделі наступним чином:

$$F_2(\Delta\omega_{3C}) = \Delta\omega_{3C} \cdot (\Delta\omega_S - \Delta\omega_{3C})^2 + (\Delta\omega_S - \Delta\omega_{3C}) \cdot \Delta\omega_{3C}^2 = \max. \quad (3)$$

Розв'язком рівняння (3) є оптимальне значення  $\Delta\omega_{3C.op2}$  перетворювального частотного зсуву, тобто:

$$\Delta\omega_{3C.op2} = \arg \max \{F_2(\Delta\omega_{3C})\}. \quad (4)$$

Задачу оптимізації вирішено з використанням скалярного методу та похідних цільової функції  $F_2(\Delta\omega_{3C})$ . Для цього оптимальне значення  $\Delta\omega_{3C.op2}$  частотного перетворювального зсуву визначено як розв'язок відповідного диференційного рівняння:

$$\Delta\omega_{3C.op2} = \arg \left\{ \frac{dF_2(\Delta\omega_{3C})}{d\Delta\omega_{3C}} = 0 \right\}. \quad (5)$$

З урахуванням рівнянь (3) рівняння (5) матиме вигляд:

$$\frac{dF_2(\Delta\omega_{3C})}{d\Delta\omega_{3C}} = \Delta\omega_S^2 - 2 \cdot \Delta\omega_S \cdot \Delta\omega_{3C} = 0. \quad (6)$$

Коренем рівняння (6), що задовольняє умовам задачі оптимізації, є наступне відповідне значення  $\Delta\omega_{3C}$  частотного перетворювального зсуву:

$$|\Delta\omega_{3C.op2}| = \Delta\omega_S / 2. \quad (7)$$

Визначимо тип екстремуму цільової функції  $F_2(\Delta\omega_{3C})$  шляхом оцінки знака другої похідної в точці екстремуму:

$$\frac{d^2 F_2(\Delta\omega_{3C})}{d\Delta\omega_{3C}^2} = -2 \cdot \Delta\omega_S \Big|_{\Delta\omega_{3C} = \Delta\omega_S / 2} < 0. \quad (8)$$

Аналіз співвідношень (8) показує, що отриманий розв'язок рівняння оптимізації відповідає глобальному умовному екстремуму цільової функції  $F_2(\Delta\omega_{3C})$  типу  $\max$ . Для оцінки достовірності отриманих результатів оптимізації виконаємо аналіз поведінки цільової функції  $F_2(|\Delta\omega_{3C}|)$  визначеної рівнянням (3) з використанням програмного пакету MathCad. Таким чином, поставлена задача оптимізації вирішена.

Проведено програмне моделювання роботи пеленгатора та досліджена його точність згідно досліджуваного безпошукового алгоритму пеленгування з циклічною моделлю частотного перетворювального зсуву за допомогою розробленої програмної моделі в середовищі MathCad.

На рисунку 1 наведено результати моделювання для циклічної моделі, ряд 1 – для зсуву  $\Delta\omega_{3C} = 0,5 \cdot \Delta\omega_S$ ; ряд 2 – для зсуву  $\Delta\omega_{3C} = \Delta\omega_S / 3$ ; ряд 3 – для зсуву  $\Delta\omega_{3C} = 2 \cdot \Delta\omega_S / 3$ .

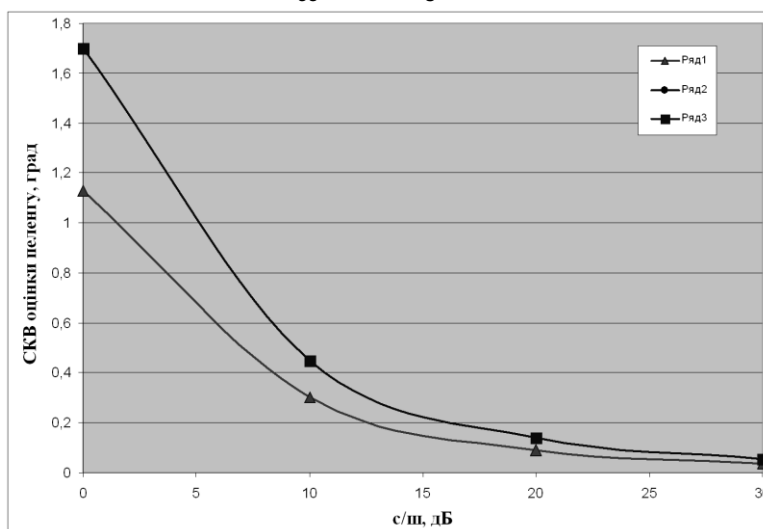


Рис. 1. Сімейство залежностей СКВ  $\sigma_\theta$  оцінки пеленгу від відношення сигнал/шум при різних значеннях  $\Delta\omega_{3C}$  частотного перетворювального зсуву

Аналіз результатів моделювання на рис. 1 показує, що похибка  $\sigma_\theta$  пеленгування при використанні алгоритму з подвійним кореляційним обробленням суттєво залежить від значення  $\Delta\omega_{3C}$  частотного перетворювального зсуву. При цьому мінімальне значення СКВ оцінки пеленгу забезпечується при виборі зсуву  $\Delta\omega_{3C} = 0,5 \cdot \Delta\omega_S$ . При використанні інших значень  $\Delta\omega_{3C}$  частотного перетворювального зсуву, наприклад, більшого  $\Delta\omega_{3C} = 2 \cdot \Delta\omega_S / 3$ , або меншого  $\Delta\omega_{3C} = \Delta\omega_S / 3$ , похибка пеленгування суттєво до 50% збільшується. Також абсолютні значення СКВ оцінки пеленгу суттєво залежать від відношення  $q_{ex}$  сигнал/шум на вході пеленгаційних каналів АР і за квадратично-гіперболічною залежністю зменшуються при зменшенні рівня  $N$  власних шумів пеленгатора чи збільшенні потужності випромінювання  $S(t)$ , що пеленгується. При цьому для оптимального значення  $\Delta\omega_{3C.opt}$  частотного перетворювального зсуву при відношенні сигнал/шум  $q_{ex} \in [0;30]$  дБ СКВ оцінки пеленгу для заданих початкових умов моделювання становить  $\sigma_\theta \in [1,13;0,036]^\circ$  відповідно.