

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

*Ципоренко В. В., к. т. н., доцент*

*Житомирський державний технологічний університет,  
м. Житомир, Україна*

Перспективним напрямком реалізації радіопеленгування в умовах складної електромагнітної обстановки (ЕМО) є використання цифрових кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів, в тому числі безпошукових, які забезпечують стійкість до завад викликаних багатопробним прийманням, високу чутливість та точність. Ефективність засобів пеленгування суттєво залежить від співвідношення їх параметрів, в першу чергу, швидкодії, точності, завадостійкості та апаратних витрат (вартості). Тому дослідження та оптимізація цифрових кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів та забезпечення можливості їх адаптації до умов складної ЕМО є актуальною науковою задачею [1, 2].

У роботі [3] запропоновано безпошуковий цифровий метод спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування з подвійним кореляційним обробленням. Він забезпечує можливість оцінки пеленгу за допомогою одноканального корелятора за час одного циклу кореляційного аналізу з використанням антенної бази набагато більшої за довжину хвилі, що забезпечує суттєве підвищення точності пеленгування.

Виконано оптимізацію безпошукового цифрового методу спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування з подвійним кореляційним обробленням за точністю [3] для наступних початкових умов. В горизонтальній площині з випадкового невідомого напрямку  $\theta$  приймається неперервне випадкове стаціонарне гаусове радіовипромінювання  $S(t)$  точкового джерела радіовипромінювання (ДРВ) з рівномірним енергетичним спектром двоелементною антенною решіткою (АР) радіопеленгатора. Елементи АР рознесені у просторі на величину  $d$  антенної бази і підключені до двох відповідних ідентичних радіоканалів пеленгатора, що мають власні адитивні гаусові стаціонарні шуми  $n_1(t)$  і  $n_2(t)$ .

Як показник точності пеленгування доцільно використовувати дисперсію  $\sigma_\theta^2$  похибки оцінки напрямку на ДРВ, яка визначається для досліджуваного методу пеленгування згідно з рівнянням [1, 4]:

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

де  $q_{\text{вх}}$  — 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.

З урахуванням (1) загальні умови оптимізації алгоритму визначимо наступним чином:

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

З урахуванням (1) і (2) визначено вид цільової функції  $F_1(\Delta\omega_{3C})$  і критерій оптимальності для вибіркової моделі частотного зсуву наступним чином:

$$F_1(\Delta\omega_{3C}) = (\Delta\omega_S - \Delta\omega_{3C}) \cdot \Delta\omega_{3C}^2 = \max. \quad (3)$$

Розв'язком рівняння (3) є оптимальні значення  $\Delta\omega_{3C.opt1}$  перетворювального частотного зсуву, тобто:

$$\Delta\omega_{3C.opt1} = \arg \max \{F_1(\Delta\omega_{3C})\}. \quad (4)$$

Оптимальне значення  $\Delta\omega_{3C.opt1}$  з (4) частотного перетворювального зсуву визначено як розв'язок диференційного рівняння:

$$\Delta\omega_{3C.opt1} = \arg \left\{ \frac{dF_1(\Delta\omega_{3C})}{d\Delta\omega_{3C}} = 0 \right\}. \quad (5)$$

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

$$\frac{dF_1(\Delta\omega_{3C})}{d\Delta\omega_{3C}} = 2 \cdot \Delta\omega_S \cdot \Delta\omega_{3C} - 3 \cdot \Delta\omega_{3C}^2 = 0. \quad (6)$$

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

$$|\Delta\omega_{3C.opt1}| = 2 \cdot \Delta\omega_S / 3. \quad (7)$$

Визначено тип екстремуму цільової функції  $F_1(\Delta\omega_{3C})$  шляхом оцінки знаку її другої похідної в точці екстремуму [5]:

$$\frac{d^2F_1(\Delta\omega_{3C})}{d\Delta\omega_{3C}^2} = 2 \cdot \Delta\omega_S - 6 \cdot \Delta\omega_{3C}^2 \Big|_{\Delta\omega_{3C}=2\Delta\omega_S/3} < 0. \quad (8)$$

Аналіз співвідношень (7) та (8) показує, що отриманий розв'язок рівняння оптимізації відповідає глобальному умовному екстремуму цільової функції  $F_1(\Delta\omega_{3C})$  типу  $\max$ . Таким чином, поставлена задача оптимізації вирішена.

**Перелік посилань**

1. Introduction into Theory of Direction Finding // Radiomonitoring and Radiolocation 2000/2001. — Rohde & Schwarz GmbH & Co. — KG Editor: Gerhard Kratschmer. — HW — UKD.
2. Рембовский А. М. Радиомониторинг — задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин ; под ред. А. М. Рембовского. — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Горячая линия — Телеком, 2010. — 624 с.
3. Ципоренко В. В. Безпошуковий цифровий метод спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгування з подвійним кореляційним обробленням / В. В. Ципоренко // Всеукраїнський міжвідомчий науково-технічний збірник «Радіотехніка». — № 167. — 2011. — с. 73 – 77.
4. Караваев В. В. Статистическая теория пассивной локации / В. В. Караваев, В. В. Сазонов. — М.: Радио и связь, 1987. — 240 с. — (Вып. 27, Статистическая теория связи).
5. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Айфичер, С. Эммануил, Джервис, У. Барри. — 2-е изд.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс». — 2004. — 992 с.: ил.

**Анотація**

Визначено, що основним параметром рівняння дисперсії похибки оцінки напрямку на джерело радіовипромінювання для досліджуваного методу пеленгування, який доцільно оптимізувати, є величина частотного перетворювального зсуву. Проведено теоретичну оптимізацію досліджуваного методу для вибіркової моделі частотного зсуву. Аналітичні розрахунки та результати моделювання повністю співпали, що підтверджує правильність проведених досліджень та достовірність результатів оптимізації.

**Ключові слова:** оптимізація; безпошуковий цифровий метод кореляційно-інтерферометричного пеленгування; подвійне кореляційне оброблення.

**Аннотация**

Определено, что основным параметром уравнения дисперсии погрешности оценки направления на источник радиоизлучения для исследуемого метода пеленгования, который целесообразно оптимизировать, является величина частотного преобразующего сдвига. Проведена теоретическая оптимизация исследуемого метода для избирательной модели частотного сдвига. Аналитические расчеты и результаты моделирования полностью совпали, что подтверждает правильность проведенных исследований и достоверность результатов оптимизации.

**Ключевые слова:** оптимизация; беспоисковый цифровой метод корреляционно-интерферометрического пеленгования; двукратная корреляционная обработка.

**Abstract**

The purpose of the article is optimization of direct digital method of correlation-interferometer direction-finding with double correlation processing.

As a result of the conducted researches was defined that the basic parameter of equalization of dispersion of error of estimation of direction on the source of radio radiation for the direct digital method of correlation-interferometric direction-finding with double correlation processing, which it is expedient to optimize, there is the size of frequency converting change.

It was conducted theoretical optimization of the explored method for the selective model of frequency change. Analytical calculations and results of design coincided fully, that confirmed the rightness of the conducted researches and authenticity of results of optimization.

**Keywords:** optimization; direct digital method of correlation-interferometric direction-finding; double correlation processing.