

УДК 621.396.965:621.391.26

## ОШИБКИ ПЕЛЕНГАЦИИ ЦЕЛИ, МАСКИРУЕМОЙ ШУМОВЫМИ ИЗЛУЧЕНИЯМИ ВНЕШНИХ ИСТОЧНИКОВ

К. т. н. В. П. Рябуха, к. т. н. А. И. Дохов, к. т. н. В. И. Зарицкий, А. В. Семеняка,  
Д. С. Рачков, Е. А. Катюшин

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
Украина  
rvp@kture.kharkov.ua

*Описывается математическая модель, позволяющая исследовать флуктуационные и систематические ошибки измерения угловых координат цели в РЛС с плоскими ФАР при воздействии внешних источников шумовых излучений; приводятся результаты моделирования.*

*Ключевые слова:* пеленгация, среднеквадратическая ошибка, смещение, математическая модель.

Актуальность исследования ошибок пеленгации нешумящих объектов в условиях внешних пространственно-коррелированных шумовых излучений обусловлена тем, что компенсация таких излучений изменяет результирующую диаграмму направленности (ДН) адаптивной фазированной антенной решетки (ФАР).

В литературе результаты таких исследований приведены для линейных ФАР. Здесь исследуются флуктуационные и систематические ошибки пеленгации нешумящих объектов цели в РЛС с плоскими  $N \times M$ -элементными ФАР при воздействии источников шумовых излучений (ИШИ) в направлении главного и боковых лепестков суммарной ДН ФАР.

Точность измерения угловых координат целей определяется матрицей дисперсии ошибок измерения этих координат в вертикальной (угломестной) и горизонтальной (азимутальной) плоскостях [1]:

$$\mathbf{D}_\alpha = -\left[ \frac{\partial^2 |z(\alpha)|^2}{\partial \alpha^2} \right]^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_\varepsilon^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\beta^2 \end{bmatrix}, \quad \sigma_\varepsilon^2 = -\left[ \frac{\partial^2 |z(\varepsilon)|^2}{\partial \varepsilon^2} \right]^{-1}, \quad \sigma_\beta^2 = -\left[ \frac{\partial^2 |z(\beta)|^2}{\partial \beta^2} \right]^{-1}. \quad (1)$$

Здесь  $\alpha = [\varepsilon \ \beta]^T$  – вектор ожидаемых угловых параметров (угла места  $\varepsilon$  и азимута  $\beta$ );

$$z(\alpha) = \mathbf{u}^* \cdot \Psi \cdot \mathbf{x}(\alpha) \quad (2a)$$

— выходной эффект устройства пространственной обработки принятого  $N \times M$ -мерного вектора

$$\mathbf{u} = \{u_i\}_{i=1}^{N \cdot M} = \mathbf{y} + \mathbf{s}, \quad \mathbf{y} = \{y_i\}_{i=1}^{N \cdot M}, \quad \mathbf{y} \sim CN(0, \Phi), \quad \mathbf{s} = \{s_i\}_{i=1}^{N \cdot M} = \beta \cdot \mathbf{x}, \quad \beta \sim CN(0, h_s) \quad (2б)$$

комплексных амплитуд аддитивной смеси взаимно независимых гауссовых помех  $\mathbf{y}$  (шумовых излучений внешнего источника и собственных шумов приемника) с нулевым средним и корреляционной матрицей (КМ)  $\Phi$  и когерентного сигнала нешумящей цели  $\mathbf{s}$ , компоненты которого имеют нулевое среднее и дисперсию  $h_s$ , на выходе двумерной (плоской)  $N \times M$ -элементной ФАР;  $\Psi = \Phi^{-1}$  —  $N \cdot M \times N \cdot M$ -матрица, обратная КМ  $\Phi$ ;  $\mathbf{x}(\alpha)$  —  $N \cdot M$ -мерный вектор комплексных амплитуд ожидаемого (опорного) пространственного сигнала

$$\mathbf{x}(\alpha) = \mathbf{x}(\varepsilon, \beta) = \tilde{\mathbf{x}}_M(\varepsilon, \beta) \otimes \mathbf{x}_N(\varepsilon), \quad (2в)$$

$$\tilde{\mathbf{x}}_M(\varepsilon, \beta) = \tilde{\mathbf{x}}_M(\alpha) = \left\{ \exp \left( j \cdot \gamma_1(\alpha) \cdot \left[ p - \frac{M+1}{2} \right] \right) \right\}_{p=1}^M, \quad \mathbf{x}_N(\varepsilon) = \left\{ \exp \left( j \cdot \gamma_2(\alpha) \cdot \left[ q - \frac{N+1}{2} \right] \right) \right\}_{q=1}^N,$$

$$\gamma_1(\alpha) = \gamma_1(\varepsilon, \beta) = v \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \sin(\beta), \quad \gamma_2(\alpha) = \gamma_2(\varepsilon) = v \cdot \sin(\varepsilon), \quad v = 2 \cdot \pi \cdot d / \lambda.$$

Здесь  $T$ ,  $*$ ,  $\sim$  и  $\otimes$  — символы транспонирования, эрмитового и комплексного сопряжения, кронекеровского произведения соответственно.

Используя представление второй производной в виде

$$\frac{\partial^2 |z(\mathbf{a})|^2}{\partial \mathbf{a}_i^2} = (z \cdot z^*)'' = z'' \cdot z^* + 2 \cdot z' \cdot (z^*)' + z \cdot (z^*)'' = 2 \cdot \text{Re} \{ z'' \cdot z^* + |z'|^2 \},$$

а также соотношения (2), получаем выражение для матрицы дисперсии ошибок пеленгации (1), т. е. математическую модель, позволяющую исследовать флуктуационные ошибки измерения угловых координат цели в РЛС с плоскими ФАР.

Наряду с дисперсией флуктуационных ошибок измерения угловых координат, показателем качества измерения информативных параметров является также систематическая ошибка измерения  $\mathbf{m}(\mathbf{a}) = [m_\varepsilon \ m_\beta]^T = \bar{\mathbf{a}} - \mathbf{a}_S$  – смещение среднего значения оценки  $\bar{\mathbf{a}}$  векторного параметра  $\mathbf{a}$  относительно истинного значения вектора угловых параметров сигнала (цели)  $\mathbf{a}_S = [\varepsilon_S \ \beta_S]^T$ .

На рис. 1 показаны зависимости систематической (а) и среднеквадратической (б) ошибок измерения азимута в РЛС с плоской  $10 \times 10$ -элементной ФАР при воздействии одного источника шумовых излучений интенсивностью 30 дБ в направлении главного (0—1) и боковых (1—3) лепестков суммарной ДН ФАР, полученные с использованием разработанной математической модели. На рисунке положение ИШИ выражено в обобщенной координате азимута – долях ширины ДН. При этом сигнал воздействовал по максимуму суммарной ДН ФАР ( $\beta_S = 0$ ).

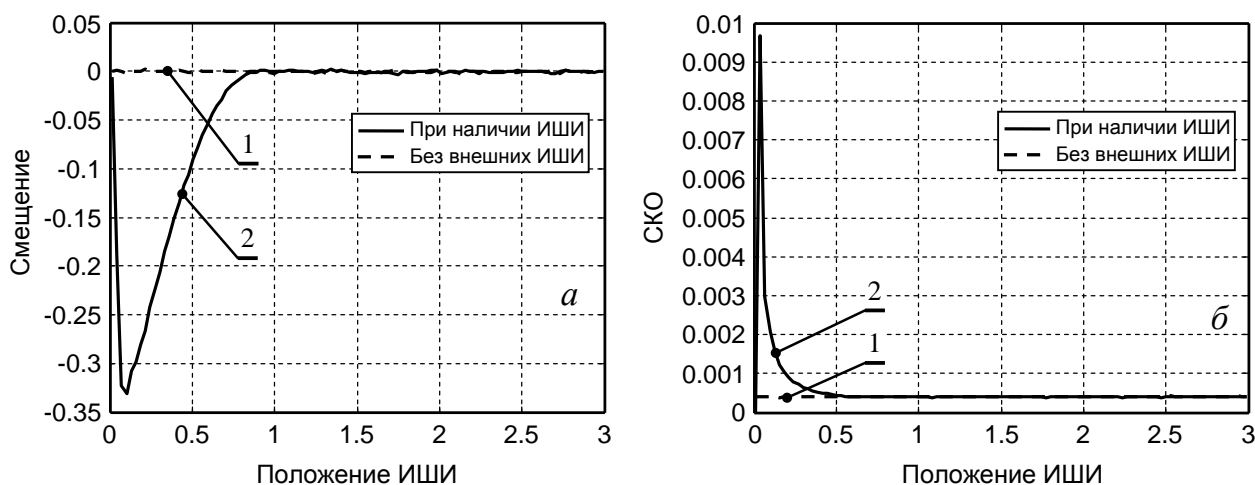


Рис. 1. Систематическая (а) и среднеквадратическая (б) ошибки измерения азимута

Анализ рис. 1, а показывает, что при воздействии ИШИ по главному лепестку ДН ФАР систематическая ошибка измерения азимута может превышать величину 0,4 долей ДН (рис. 1, а). В свою очередь, анализ рис. 1, б позволяет определить величины потенциальных СКО измерения азимута.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Я. Д. Ширман, С. Т. Багдасарян, А. С. Маляренко, Д. И. Леховицкий, С. П. Лещенко, Ю. И. Лосев, А. И. Николаев, С. А. Горшков, С. В. Москвитин, В. М. Орленко. Радиозлектронные системы. Основы построения и теория: Справочник. — Москва: Радиотехника. — 2007.

V.P. Ryabukha, O.I. Dokhov, V.I. Zarytskyi, A.V. Semeniaka, D.S. Rachkov, E.A. Katiushyn  
**Errors in direction finding of a target masked by noise radiations from external sources.**

The paper describes the mathematical model which allows investigation of both fluctuation and systematic errors of target angular coordinates measurement in a radar with planar phased antenna array under action of external sources of noise radiations. The results of mathematical simulations are demonstrated.

Keywords: *direction finding, root-mean-square error, bias, mathematical model.*