

УДК 621.396.96

Євген Сергійович Ленков

ОЦІНЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ КАНАЛУ ПЕЛЕНГАЦІЇ З КОРЕЛЯЦІЙНОЮ ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ У СИСТЕМАХ ПАСИВНОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ Й РАДІОНАВІГАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Вступ. Інформаційна здатність (ІЗ) є однією з найважливіших характеристик каналів пеленгації (КП) джерел шумоподібних сигналів при сучасному стані зовнішньої електромагнітної обстановки. У системах пасивної локації цей показник через визначення максимальної кількості джерел випромінювань (ДВ) у зоні відповідальності системи, яке може бути виявлене із заданими показниками якості (n_{max}), часто називають *пропускнуою здатністю*,

Аналіз останніх досліджень за проблемою. Традиційно структура КП будується за алгоритмом двоканального енергетичного приймача: перший канал є основним каналом виявлення, другий забезпечує усунення хибних пеленгів (ХП), що виникають під час дії ДВ по бічних пелюстках (БП) антени. Оскільки ставиться завдання недопущення ХП, то діаграма направленості (ДН) другого каналу повинна із запасом перевищувати рівень найбільших бічних пелюсток. У результаті сумарний сигнал компенсації виявляється значно більшим реального рівня приймання перешкодових сигналів ДВ по БП, що призводить до обмеження пропускнуої здатності каналів пеленгації.

Інформаційну здатність каналів пеленгації із енергетичним алгоритмом обробки оцінено в ряді публікацій, і, головне, підтверджено на практиці. Вона відповідає значенню $n_{max} = 3 \dots 4$, що явно недостатньо.

Підвищення ІЗ каналів пеленгації можливе через істотне придушення бічного прийому основної антени. Одним із методів вирішення такого завдання є технічна реалізація КП на основі алгоритму взаємокореляційної обробки сигналів, прийнятих каналами. Метод, запропонований в [1], показав, що придушення БП обумовлене дією двох факторів:

- 1) кореляційним формуванням результуючої ДН (фазова характеристика основної антени змінюється нар (від пелюстки до пелюстки);

- 2) декореляцією сигналів бічного приймання за рахунок відносного запізнення сигналів.

Мета статті — аналітично оцінити показник ІЗ для КП із кореляційним алгоритмом обробки, який за ефективністю й технологічній простоті реалізації має більшу перспективу.

Викладення основного матеріалу. Алгоритмічна структурна схема обраного варіанта КП наведена на рис. 1.

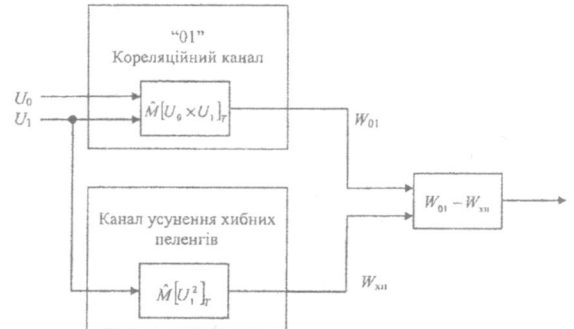


Рис. 1. Алгоритмічна структурна схема обраного варіанта каналу пеленгації

Позначення на схемі відповідають: $\hat{M}[U_0 \times U_1]_T$, $\hat{M}[U_1^2]_T$ — оцінки математичного сподівання відповідно до взаємної кореляційної функції прийнятих сигналів і дисперсії в каналі усунення хибних пеленгів.

$$\hat{M}[\dot{U}_0 \times \dot{U}_1^*]_T = M[\dot{U}_0 \times \dot{U}_1^*]_T + \xi_{01}(t), \quad (1)$$

$$\hat{M}[U_1^2]_T = M[U_1^2]_T + \xi_{xn}(t), \quad (2)$$

де $\xi_{01}(t)$, $\xi_{xn}(t)$, — флюктуаційні складові вихідних сигналів за рахунок кінцевого часу усереднення. Для спрощення вигляду виразів далі опущено записи цих величин від аргумента "t".

$$U_{01} = F_p U_c + \sum_{i=2}^n F_{pi} U_i \Psi_i + U_{w0}, \quad (3)$$

$$U_1 = \left[\sum_{i=1}^n U_i F_i + F_1 U_c \right] K + U_{w_{x1}}, \quad (4)$$

де F_p — значення нормованої результуючої ДН (F_{pi} — на напрямку перешкоди i -го джерела); K — величина відношення $K_{nn_{x1}}^2 / K_{nn_{01}}^2$, що обирається більше одиниці для установки необхідної потужності компенсаційного сигналу; Ψ_i — нормоване значення множника придушення за рахунок коефіцієнта кореляції.

Метод оцінювання ІЗ ґрунтується на розрахунках статистичних показників якості виявлення й використовує як вихідну відому при нормальному розподілі вихідного процесу формулу [2]

$$2P_{вияв} - 1 = \arg \Phi \left\{ \frac{M[W_{01}] - M[W_{x1}]}{D^{1/2}[\xi_{01}]} \right\}, \quad (5)$$

де $P_{вияв}$ — умовна ймовірність правильного виявлення цілі;

$\Phi(U)$ — інтеграл імовірності вигляду:

$$\Phi(U) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^U e^{-x^2/2} dx;$$

D — символ дисперсії.

Визначаючи параметри аргументу інтегралу ймовірності $\arg \Phi(\bullet)$ доводиться використовувати усереднені еквівалентні значення параметрів. Для цього прийmemo такі позначення:

$$\overline{F_{pi}}^2 = \alpha; \quad \overline{F_1 K} = \beta; \quad \overline{\Psi(\theta_i)} = \overline{\psi}, \quad (6)$$

де $\alpha, \beta, \overline{\psi}$ — нормовані середні значення відносного рівня приймання відповідно ДН антени, допоміжної антени й множника системи.

При виведенні розрахункового виразу для пропускної здатності відповідно до існуючого визначення потужності перешкоди на вході приймаються рівними. Це виправдано у разі

одержання результату, що не залежить від реальної моделі перешкодової обстановки, яку можна звести до еквівалентної моделі з кількістю n'_{\max} постановників ДВ й різними P_i .

Для прийнятої умови $\sigma_c^2 = \sigma_i^2 = \sigma^2$ параметри в чисельнику (5) набудуть таких значень:

$$M[W_{01}] = \sigma^2 [1 + \alpha \overline{\psi} (n - 1)], \quad (7)$$

$$M[W_{x1}] = \sigma^2 \beta n + \sigma_w^2.$$

Дисперсія вихідного процесу з урахуванням шумів визначається виразом

$$D[\xi_{01}(t) + U_w(t)] = D[\xi_{01}(t)] + D[U_w^2(t)] = D[\xi_{01}(t)] + \sigma_w^4. \quad (8)$$

Значення $D[\xi_{01}(t)]$ залежить від коефіцієнта кореляційного накопичення $\rho = \Delta f_n T$ (Δf_n — смуга приймання, T — час інтегрування) і відповідно до [2] дорівнює

$$D[\xi_{01}(t)] \cong \frac{P_0 P_1}{\pi \rho} = \frac{1}{\pi \rho} \{ [\sigma^2 + \alpha \overline{\psi} (n - 1) + \sigma_w^2] [\beta \sigma^2 + \beta (n - 1) \sigma^2 + \sigma_w^2] \}. \quad (9)$$

Після операції множення й ділення на σ_w^2 при використанні позначення $q^2 = \frac{\sigma^2}{\sigma_w^2}$ одержимо:

$$D^{1/2}[\xi_{01}(t)] \cong \frac{\sigma_w}{\sqrt{\pi \rho}} \{ q^4 [1 + \alpha \overline{\psi} (n - 1) n \beta] + q^2 [1 + \alpha \overline{\psi} (n - 1)] + q^2 n \beta + 1 \}. \quad (10)$$

Позначимо величину в лівій частині рівняння (5)

$$x_{вияв} = \arg \Phi(2P_{вияв} - 1). \quad (11)$$

При підстановці (7)...(11) у загальну формулу одержимо:

$$x_{вияв} \cong \frac{(\pi \rho)^{1/2} \{ q^2 [1 + \alpha \overline{\psi} (n - 1)] - q^2 \beta n - 1 \}}{\{ q^4 [1 + \alpha \overline{\psi} (n - 1) n \beta] + q^2 [1 + \alpha \overline{\psi} (n - 1)] + q^2 n \beta + 1 \}^{1/2}}. \quad (12)$$

Рівняння (12) не є розв'язком у явному вигляді відносно $n_{\max} = \varphi(q^2, \alpha, \overline{\psi}, \beta, \rho)$, але може застосовуватись для кількісного оцінювання шуканого параметра пропускної здатності методом послідовних наближень або в середовищі математичного пакета MATLAB 6.5.

При виборі параметрів кількісного оцінювання враховані такі міркування:

- значення $P_{вияв} = 0,75$;
- величину відносної величини згідно з рекомендацією [2] потрібно вибирати на 5—7 дБ більше максимального відносного рівня регулярних бічних пелюсток діаграми направленості. На практиці значення β потрібно коректувати (змінюючи коефіцієнта K) за експериментально знятою діаграмою направленості основної антени.

Якщо позначити $\beta - \alpha = b$, то відносний коефіцієнт підсилення K (основного каналу компенсації) може бути визначений як $\beta / \alpha = b + 1$.

Усереднене за областю бічного приймання значення прийняте з явним запасом (у бік зменшення) і має порядок 25—30 дБ.

Величина коефіцієнту кореляційного накопичення становить до 10^4 (при параметрах $\Delta f_n = 10$ МГц, $T = 1$ мс). Результати кількісного оцінювання пропускної здатності для двох значень ψ (−25 дБ і −30 дБ) наведені графіками залежностей $n'_{\max} = \varphi(\alpha \overline{\psi})$. Позначення n'_{\max} показує, що розв'язок наведений щодо еквівалентної моделі ДВ із однаковими потужностями на вході.

Висновки. Аналіз залежностей (рис. 2) показує, що навіть при невисоких значеннях коефіцієнта придушення бічних пелюсток кореляційний КП забезпечує підвищення пропускної здатності до 10÷12 цілей — джерел випромінювань у зоні спостереження.

Література

1. Долгушин В. П. Метод підвищення ефективності (пропускної спроможності) систем пеленгації джерел АПП на основі просторово-кореляційного алгоритму обробки сигналів / В. П. Долгушин, В. Б. Горшколепов, О. В. Мірошніченко // 36. наук. праць Військового інституту Київського нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. — К.: ВІКНУ, 2006. — Вип. 2. — С. 56—63. 2. Ширман Я. Д. Теоретические основы радиолокации / Я. Д. Ширман. — М.: Сов. радио, 1970. — 560 с.

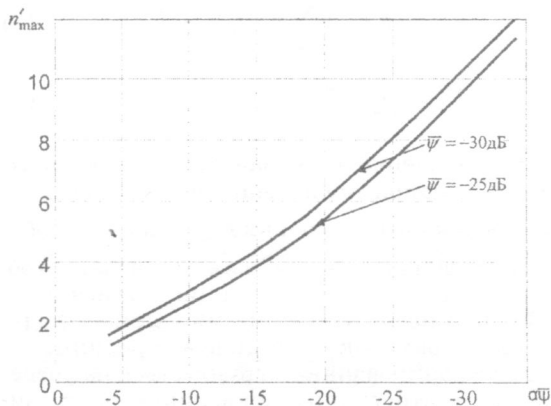


Рис. 2. Графік оцінювання пропускної здатності кореляційного пеленгаційного каналу

В статье предложен метод статистической оценки информационной способности каналов пеленгации с корреляционным алгоритмом обработки сигналов основного и вспомогательного каналов приёма и результаты её анализа для модели равновероятного распределения источников в зоне наблюдения. Показано, что применение взаимокорреляционной обработки позволяет существенно (в 2—3 раза) повысить информационные возможности системы пеленгации.

Ключевые слова: информационная способность, канал пеленгации, пропускная способность, источник излучения, диаграмма направленности.

The method of statistical estimation of information ability of channels of direction finding with correlation algorithm of processing of signals of basic and auxiliary channels of reception and results of its analysis for model of equiprobable distribution of sources in supervision zone is offered. It is shown, that application of cross-correlation processing enables to raise essentially (twice or thrice) information possibilities of the system of direction finding.

Key words: information ability, direction finding channel, throughput, emission source, orientation diagram.