

ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ ВІЯВЛЕННЯ ЦІЛІ ОПТИМАЛЬНИМ ПЕЛЕНГАЦІЙНИМ ПРИСТРОЄМ ПРИ НАЯВНОСТІ В ЗОНІ ДЕКІЛЬКОХ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Наведені результати оцінки ймовірності виявлення цілі пеленгаційним пристроєм, що реалізує оптимальний алгоритм часової обробки при наявності в зоні декількох джерел випромінювань. Показано, що практично реалізовані в існуючих системах пасивного виявлення оптимальний і близькі до нього алгоритми обробки сигналів в пеленгаційних каналах радіолокаційної станції в реальній зовнішній електромагнітній ситуації мають неприпустимо низьку інформаційну спроможність, яка обмежується 4 ... 5-ма джерелами випромінювання з рівними потужностями.

Ключові слова: система пасивної локації, джерело випромінювання, пеленгаційний пристрій.

Приведены результаты оценки вероятности обнаружения цели пеленгационным устройством, реализующим оптимальный алгоритм временной обработки при наличии в зоне нескольких источников излучений. Показано, что практически реализованные в существующих системах пассивного обнаружения оптимальный и близкие к нему алгоритмы обработки сигналов в пеленгационных каналах радиолокационной станции в реальной внешней электромагнитной ситуации имеют недопустимо низкую информационную способность, которая ограничивается 4 ... 5 источниками излучения с равными мощностями.

Ключевые слова: система пассивной локации, источник излучения, пеленгационное устройство.

The results of the evaluation of the probability of target detection direction-finding device that implements the algorithm for optimal temporal processing in the presence of multiple sources of radiation zone is considered. It is shown that practically implemented in existing systems, passive detection optimal and its related algorithms for processing signals in a direction-finding radar channels in real external electromagnetic situation are unacceptably low information capacity, which is limited to 4 ... 5 radiation sources with equal capacity.

Keywords: passive location, the source of radiation, direction-finding device.

Вступ та постановка завдання. Корисним сигналом для пеленгаційного пристрою (ППр) системи пасивної локації (СПЛ) є сигнал джерела активної шумової перешкоди (АШП), яке пеленгується в даний момент, перешкодою – сигнали інших джерел, прийняті боковими пелюстками (БП) антени, і внутрішні шуми приймача. Структура як корисного, так і завадових сигналів априорі невідома і відноситься до класу квазінеперервних і шумоподібних сигналів. Такі сигнали сприймаються як випадковий процес, який нормалізується на виході вузькосмугового тракту прийому.

Зміст оптимального алгоритму в даному завданні виявлення полягає в обчисленні енергії прийнятої реалізації сигналу і його нормуванні до енергії (потужності) перешкодового фону. У реальній обстановці заважаючий фон перешкод являє собою, крім внутрішнього шуму, суму зовнішніх сигналів джерел випромінювання (ДВ), що впливають по БП діаграми направленості (ДН) антени. Для оцінки потужності перешкодового фону використовується додатковий канал приймання зі слабконаправленою антеною й аналогічний основному за структурою додатковий канал приймання [1].

Основні положення дослідження. При використанні фільтра низької частоти (ФНЧ) з досить вузькою смугою пропускання вихідний випадковий процес «енергетичного»

приймача нормалізується. Це дозволяє використовувати відомі розрахункові співвідношення показників якості виявлення (D і F – умовні ймовірності вірного виявлення і хибної тривоги) [2, 3]:

$$D = 0,5 \left\{ 1 + \Phi \left[\frac{M[U_{\text{вих}}] - U_F}{\sqrt{D[U_{\text{вих}}]}} \right] \right\} ; \quad U_F = \arg \Phi(1 - 2F) , \quad (1)$$

де $M[.]$, $D[.]$ – знаки математичного сподівання і дисперсії;

U_F – поріг прийняття рішення;

$\Phi(.)$ – табульований інтеграл ймовірності вигляду:

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt .$$

У найпростішому варіанті обстановки, коли в зоні одне ДВ, ймовірність виявлення на фоні шуму практично дорівнює 1, тому в пасивних системах використовується прямий сигнал. Завдання аналізу виникає тільки, коли в зоні число ДВ « n » більше або набагато більше 1. У цьому випадку виникає проблема усунення хибних пеленгів, тобто сигналів, прийнятих БП основної антени. Хибні пеленги вважаються неприпустимими, тому що при їх наявності процес пеленгації та визначення координат стають неоднозначними. Для надійного усунення помилкових пеленгів просторова характеристика каналу компенсації (тобто рівень $G_d K_{d/0}$) вибирається більше максимального БП із запасом на кілька Дб.

На рис. 1 ілюструється приблизний вигляд нормованих ДН основного і додаткового каналів ППр.

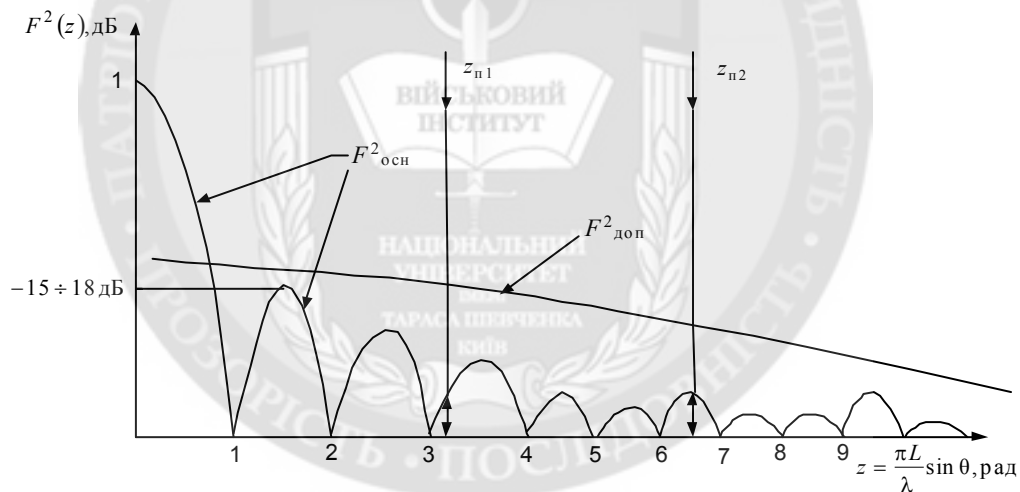


Рис. 1

При компенсації перешкодового фону некогерентним методом вихідний поріг приймається рівним нулю ($U_F = 0$), роль порогового пристрою виконує «жорсткий» обмежувач вихідного сигналу нормування.

Використання нормованого сигналу при аналітичній оцінці за виразом (1) викликає практичну незручність, тому при апроксимації випадкових БП середнім рівнем навіть для різних за потужністю сигналів на вході зникає залежність результату від числа ДВ, тому прийнято процес компенсації перешкод представляти як результат віднімання: $U_{\text{вих},0} - U_{\text{вих},д}$. Оцінка з нормованим сигналом вимагає моделювання випадкових БП ДН.

Сигнали на вході ППр мають наступні вирази (позначення аргументу опускається):

$$u_0 = u_c + \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i u_{\text{п}i} + u_{\text{ш}0} ; \quad u_k = \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i u_{\text{п}i} + u_{\text{ш}k} , \quad (2)$$

де $u_c, u_{\Pi}, u_{\text{ш}}$ – корисний, перешкодовий сигнали і шум;
 n – число ДВ в зоні СПЛ,
 α, β – відносний рівень прийому основної антени по БП і допоміжної антени в області БП основної.

Вирази вихідних сигналів каналів:

$$v_0 = M\{u_0^2\} + \eta = \sigma_c^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i^2 \sigma_{\Pi i}^2 + \sigma_{\text{ш}0}^2 + \eta, \quad (3)$$

$$v_K = M\{u_1^2\} + \xi = \sum_{i=1}^n \beta_i^2 \sigma_{\Pi i}^2 + \sigma_{\text{ш}}^2 + \xi, \quad (4)$$

де σ (з відповідним індексом) – дисперсії сигналу, завади і шуму;
 η, ξ – випадкові складові вихідного процесу, обумовлені кінцевим часом усереднення в інтегруючих фільтрах;

$\bar{\alpha}_i^2$ – середній за потужністю відносний рівень БП основної антени.

Модель роботи ППР передбачає рівномірний розподіл ДВ в зоні, однакову потужність сигналів і їх попарну некорельованість. ДН в області головного пелюстка вважається прямокутною, а в області БП апроксимується середнім за потужністю рівнем, нормованим до максимуму прийому.

Модель нальоту n ДВ з різними потужностями легко перераховується до еквівалентної моделі з деяким числом – « $n_{\text{екв}}$ » (надалі позначення – n^*). Сумарну потужність перешкод на вході ППР визначимо як

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m c \frac{P_{\Pi i}}{r_i^2}, \quad (5)$$

де c – коефіцієнт, що залежить від параметрів ППР;

$P_{\Pi i}$ – потужність i -го джерела в БП прийому;

r_i^2 – дальність до i -го джерела.

$$\text{При } P_{\Pi i} = P_{\Pi} = \text{const}, P_{\Sigma} = P_{\Pi} \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i^2} = P_{\Pi} A_i, \quad (6)$$

де A_i – "вага" i -го джерела, що дорівнює $\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i^2}$.

При визначенні P_{Σ} для спрощення розрахунків можна перейти від сумування "вагів" до середнього значення "ваги", визначеному як частка від ділення площі під кривою в межах зміни від r до r_1 до r_2 на величину ділянки дальностей

$$A_{\text{cp}} = \frac{\int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r^2} dr}{r_2 - r_1} = \frac{1}{r_1 r_2}. \quad (7)$$

Тоді формула для P_{Σ} буде мати вигляд:

$$P_{\Sigma} = P_{\Pi} n \frac{1}{r_1 r_2}. \quad (8)$$

Потужність від джерела в центрі зони відповідає

$$P_{\Pi \text{ц}} = \frac{4P_{\Pi}}{(r_1 + r_2)^2}. \quad (9)$$

Еквівалентна модель буде мати число ДВ, що дорівнює

$$n^* = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Pi}} = \frac{n(r_1 + r_2)^2}{4r_1r_2}, \text{ при } P_{\Pi} = 1. \quad (10)$$

З урахуванням прийнятої моделі зовнішньої обстановки вирази (3) і (4) приводяться до вигляду:

$$v_0 = \sigma^2 + (n^* - 1)\alpha^2 \sigma^2 + \sigma_{\text{ш}}^2 + \eta, \quad (11)$$

$$v_K = (n^* - 1)\beta^2 \sigma^2 + \sigma_{\text{ш}}^2 + \xi. \quad (12)$$

Відповідно до (1) вираз умовної ймовірності вірного виявлення в умовах впливу "сигнал + перешкода + шум" при компенсації методом віднімання має вигляд:

$$D_{\text{спш}} = 0,5 \left\{ 1 + \Phi \left[\frac{M[v_0] - M[v_K]}{\sigma_{\eta}^2} \right] \right\}, \quad (13)$$

де σ_{η}^2 – дисперсія флуктуацій вихідного процесу, яка визначається згідно [4] як:

$$\sigma_{\eta}^2 \cong \frac{M^2[v_0]}{\Delta f \cdot T}, \quad (14)$$

де в знаменнику добуток ширини смуги прийому на час усереднення в інтеграторі.

Після підстановки (2.13), (2.14) у вихідний вираз (2.15) і деяких перетворень з позначенням $q^2 = \sigma^2 / \sigma_{\text{ш}}^2$, отримаємо:

$$D_{\text{спш}} = 0,5 \left\{ 1 + \Phi \left[\frac{q^2 [1 - (n^* - 1)\gamma]}{(\Delta f \cdot T)^{-1/2} [q^2 + (n^* - 1)q^2 \alpha^2 + 1]} \right] \right\}, \quad (15)$$

параметр $\gamma = (\beta^2 - \alpha^2)$.

При відсутності заважаючого перешкодового поля ($n^* = 1$) вираз (2.17) визначає ймовірність виявлення джерела, що пеленгується на фоні шумів приймача, тобто $D_{\text{спш}}$. Розв'язуючи щодо аргументу інтеграла ймовірності і позначаючи його $x_{\text{спш}}$ отримаємо:

$$x_{\text{спш}} = \frac{q^2}{\sigma_{\eta}} = \arg \Phi(2D_{\text{спш}} - 1). \quad (16)$$

З врахуванням (16) розрахунковий вираз для $D_{\text{спш}}$, приведений до форми, більш простої для обчислень, набуде вигляду:

$$D_{\text{спш}} \cong 0,5 \left\{ 1 + \Phi[x_{\text{спш}} [1 - (n^* - 1)\gamma]] \right\}. \quad (17)$$

Знак наближення в (17) пояснюється тим, що не врахована дисперсія компенсуючого порога, яка визначається виразом аналогічним (14). Вона викликає незначну флуктуацію порогу і, отже, нестабільність ймовірності хибної тривоги.

Залежність $D_{\text{спш}} = f(\gamma)$ при декількох значеннях n^* і $D_{\text{спш}} = 0,95$ представлена на рис. 2. Сімейство кривих побудовано для еквівалентного числа ДВ з рівними на вході потужностями: 1 – для $n^* = 6$, 2 – для $n^* = 8$, 3 – для $n^* = 10$.

Діапазон зміни параметра γ обраний на підставі даних ППр триангуляційних СПЛ, що працюють в РЛС радіотехнічних військ Повітряних Сил бойового режиму.

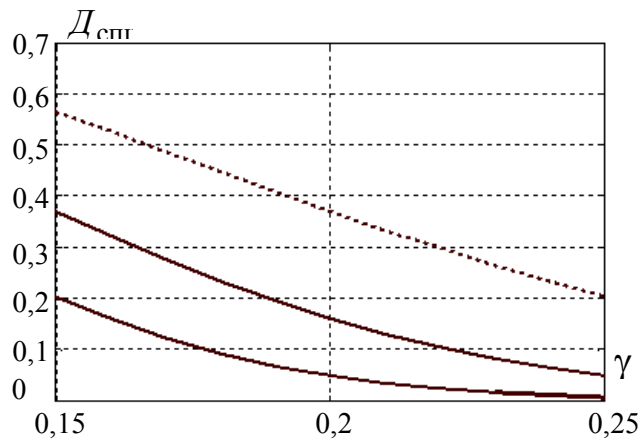


Рис. 2

Як відомо [5, 6], відносний рівень найбільшого (першого з регулярних) БП ДН антени відповідає $-(10 \dots 13)$ Дб. Для перекриття цього рівня на $4 \dots 5$ Дб відносний рівень прийому антени компенсаційного каналу повинен становити до $-(8 \dots 6)$ Дб, тобто $0,16 \dots 0,25$.

Значення α^2 має порядок $-(30 \dots 35)$ Дб. При цьому параметр γ практично визначається величиною β^2 , тобто має зазначений вище діапазон зміни.

З аналізу графіків рис. 2 випливає, що, якщо взяти в якості припустимого значення $D_{спш} = 0,5$, то при $n^* = 6$ воно забезпечується тільки при значеннях $\gamma = 0,16 \dots 0,17$, а при $n^* > 6$ не може бути забезпечено взагалі.

Аналіз розрахункових виразів (2.17), (2.19) і рис. 2.3 показує, що для збільшення інформаційної спроможності необхідно зменшити значення параметра γ за рахунок придушення БП основної антени і зниження при цьому рівня компенсації, обумовленого величиною β .

Висновок. Таким чином, за підсумками проведеної вище оцінки можна зробити наступні висновки:

1) практично реалізовані в існуючих радіотехнічних системах виявлення оптимальний і близькі до нього алгоритми обробки сигналів в пеленгаційних каналах радіолокаційної станції в реальній зовнішній електромагнітній ситуації мають неприпустимо низьку інформаційну здатність, яка обмежується $4 \dots 5$ джерелами випромінювання з рівними потужностями;

2) основним напрямком підвищення інформаційної здатності пеленгаційного пристрою і в цілому системи пасивної локації є застосування ефективних методів придушення бічних пелюсток діаграми направленості основної антени.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Быстров Р.П., Соколов А.В. Пассивная радиолокация: методы обнаружения объектов // Радиотехника, 2008. – 320с.
2. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. – М.: Сов. радио, 1970 – 560 с.
3. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценки и модуляции: Пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1972. – Т.1. – 214 с.
- Ильинков И.И., Алмазов В.П. Корреляционный пеленгатор. // Военная радиоэлектроника. – 1970. - № 9 – С.21-25.
5. Ф. Бондаренко, В.П. Прокофьев. Применение методов функционального анализа для решения задач синтеза систем пространственно-временной обработки сигналов. // Радиоэлектроника, 1982, т. XXI №7.
6. Шифрин Я. С. Вопросы статистической теории антенн: – М.: Сов. радио, 1970. – 248 с.

Рецензент: д.т.н., доц. Вишнівський В.В.