

ОЦІНКА ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЕРОДИНАМІЧНИХ ЦІЛЕЙ НА ВЗАЄМНУ КОРЕЛЯЦІЙНУ ФУНКЦІЮ ВІДБИТИХ ВУЗЬКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ В СИСТЕМІ РОЗНЕСЕНИХ РЛС

В.Б. Бзот, Ю.О. Попонін, А.В. Чабань
(Объединенный научно-исследовательский институт ВС, Харьков)

В статті проведена оцінка впливу середніх розмірів аеродинамічних цілей і дисперсії координат елементів, що відбивають, на характер взаємної кореляційної функції огинаючих амплітуд відбитих вузькосмугових сигналів при їх обробці в системі рознесених на місцевості РЛС. Показана залежність ширини і характеру зміни нормованої взаємної кореляційної функції огинаючої відбитих сигналів від зазначених характеристик цілей.

аеродинамічна ціль, взаємна кореляційна функція, огинаюча, РЛС

Постановка проблеми та аналіз літератури. Сучасні розробки розвинених країн світу в галузі авіаційної техніки по підвищенню бойових можливостей засобів повітряного нападу, застосування багатонаціональними силами при проведенні повітряних наступальних операцій великої кількості різнотипних за призначенням і конфігурацією аеродинамічних цілей (АДЦ), великої кількості постановників завод та хибних цілей приводять до зниження ефективності бойового застосування систем протиповітряної оборони (ППО). У зв'язку з цим підвищуються вимоги до радіолокаційних станцій (РЛС), які повинні забезпечити вогневі підрозділи ППО інформацією про найбільш небезпечні цілі для їх першочергового знищення. Цей факт зумовлює необхідність розвитку нових напрямків в радіолокації. Тому задача отримання додаткових інформативних ознак для розпізнавання цілей – цілком актуальна. Радіолокаційне розпізнавання – це одержання радіолокаційних характеристик повітряних об'єктів, вибір інформативних і стійких ознак, а також прийняття рішення про належність цих об'єктів до конкретного класу (типу) [1– 3].

В [1 – 5] показано, що інформація, необхідна для розпізнавання АДЦ, міститься в параметрах відбитого сигналу. За характером радіолокаційної інформації, що використовується, ознаки поділяють на траєкторні і сигнальні. Траєкторні ознаки АДЦ є досить вивченими. Тому, найбільший інтерес для подальшого вивчення, мають сигнальні ознаки. Більшість опублікованих наукових праць присвячена вивченню ознак

розпізнавання стосовно до однопозиційних РЛС при використанні як вузькосмугових, так і широкосмугових сигналів [1 – 5]. Ознакам розпізнавання, які можуть бути отримані в системі рознесених РЛС уваги практично не приділялось.

Метою даної статті є оцінка впливу геометричних характеристик АДЦ на вигляд взаємної кореляційної функції огинаючої амплітуд відбитих вузькосмугових сигналів, стосовно до системи рознесених на місцевості РЛС, які працюють на близьких частотах. В якості геометричних характеристик розглянуті середні розміри АДЦ і дисперсії координат елементів, що відбивають на поверхні цілі.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо систему рознесених на місцевості РЛС. РЛС1 розташована в точці O_1 , РЛС2 в точці O_2 , ціль в

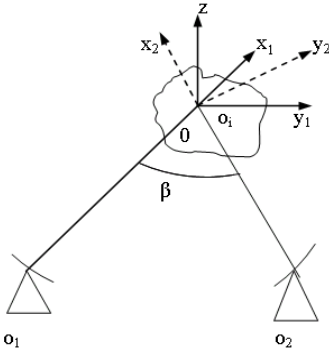


Рис. 1. Система координат

точці 0 (рис. 1). З використанням запропонованої в [6] математичної моделі вузькосмугового сигналу, відбитого від АДЦ (окремі відбивачі на поверхні цілі не розрізняються), вирази для огинаючої квадратів амплітуд відбитих сигналів для РЛС1 і РЛС2 можуть бути записані відповідно у вигляді [7]:

$$|\dot{E}(t)|^2 = \sum_{i=1}^N |\dot{S}_i(t)|^2 + 2 \sum_{i=1, n=1, i>n}^N |\dot{S}_i(t)| |\dot{S}_n(t)| \times \cos \{2m[x_{n1}(t) - x_{i1}(t)] + [\varphi_{n1}(t) - \varphi_{i1}(t)]\}, \quad (1)$$

$$|\dot{E}(t, \beta)|^2 = \sum_{l=1}^N |\dot{S}_l(t, \beta)|^2 + 2 \sum_{l=1, k=1, l>k}^N |\dot{S}_l(t, \beta)| |\dot{S}_k(t, \beta)| \times \cos \{2m[x_{k2}(t) - x_{l2}(t)] + [\varphi_{k2}(t, \beta) - \varphi_{l2}(t, \beta)]\}, \quad (2)$$

де $|\dot{S}_i(\dots)|, \varphi_i(\dots)$ – модуль та фаза комплексного коефіцієнта відбиття i -го відбивача на поверхні цілі; x_i, y_i – координати i -го елемента цілі, що відбиває; $m = 2\pi/\lambda$ – хвильове число; λ – довжина хвилі РЛС; β – кут розносу РЛС по відношенню до цілі, що спостерігається; N – кількість елементів на поверхні цілі, що відбивають; X – вісь системи координат вздовж лінії візування РЛС1; Y – вісь перпендикулярна лінії візування.

В [7] розроблена методика і отримані вирази для автокореляційних функцій (АКФ) огинаючих амплітуд відбитих вузькосмугових сигналів для кожної з рознесених РЛС, а також встановлена залежність АКФ від геометричних характеристик АДЦ. Також в [7] зазначено, що крім кореляційної обробки відбитих сигналів в кожній з рознесених РЛС, можли-

ве також проведення взаємної кореляційної обробки та визначення нормованої взаємної кореляційної функції (ВКФ). З використанням відомих методів обчислення [8], вираз для нормованої ВКФ огинаючих квадратів амплітуд має вигляд [5]:

$$R_{12}(\tau, \beta) = \frac{B_0(\tau, \beta)}{\sqrt{B_{01}(\tau=0, \beta=0) \cdot B_{02}(\tau=0, \beta)}}, \quad (3)$$

де
$$B_0(\tau, \beta) = B_{12}(t_1, t_2, \beta) - \overline{|\dot{E}_{o1}(t)|^2 \cdot |\dot{E}_{o2}(t, \beta)|^2}; \quad (4)$$

$$B_{12}(t_1, t_2, \beta) = \overline{|\dot{E}_{o1}(t_1)|^2 \cdot |\dot{E}_{o2}(t_2, \beta)|^2}; \quad (5)$$

$$B_{01}(\tau=0, \beta=0) = \overline{|\dot{E}_{o1}(t)|^2 |\dot{E}_{o1}(t)|^2 - |\dot{E}_{o1}(t)|^2 \cdot \overline{|\dot{E}_{o1}(t)|^2}}; \quad (6)$$

$$B_{02}(\tau=0, \beta) = \overline{|\dot{E}_{o2}(t, \beta)|^2 |\dot{E}_{o2}(t, \beta)|^2 - \overline{|\dot{E}_{o2}(t, \beta)|^2} \cdot \overline{|\dot{E}_{o2}(t, \beta)|^2}}; \quad (7)$$

$B_{12}(t_1, t_2, \beta)$ – взаємна кореляційна функція огинаючих квадратів амплітуд сигналів, що прийняті РЛС1 і РЛС2; $B_{01}(\tau=0, \beta=0)$, $B_{02}(\tau=0, \beta)$ – дисперсії огинаючих квадратів амплітуд сигналів, прийнятих РЛС1 і РЛС2 відповідно. Використовуючи вираз (1) для моменту часу t_1 і (2) для моменту часу t_2 , та провівши математичні обчислення відповідно з виразом (3) отримаємо вираз взаємної кореляційної функції огинаючих квадратів амплітуд сигналів, що прийняті системою РЛС у вигляді:

$$R(\tau, \beta) = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i,n=1, i>n}^N \cos \left[-2m(\Omega\tau - \beta) \left(a_{\Delta y_{in}} \cos \frac{\beta}{2} - a_{\Delta x_{in}} \sin \frac{\beta}{2} \right) \right] \times \\ \times \exp \left[-2m^2 \left(\sigma_{\Delta y_{in}}^2 (\Omega\tau - \beta)^2 \cos^2 \frac{\beta}{2} - 2r_{\Delta y_{in} \Delta x_{in}} \sigma_{\Delta y_{in}} (\Omega\tau - \beta) \times \right. \right. \quad (8) \\ \left. \left. \times \cos \frac{\beta}{2} \sigma_{\Delta x_{in}} (\Omega\tau - \beta) \sin \frac{\beta}{2} + \sigma_{\Delta x_{in}}^2 (\Omega\tau - \beta)^2 \sin^2 \frac{\beta}{2} \right) \right].$$

де Ω – кутова швидкість відносного руху цілі у картинній площині; $a_{\Delta x_{in}}, \sigma_{\Delta y_{in}}^2, \sigma_{\Delta x_{in}}^2, r_{\Delta y_{in} \Delta x_{in}}$ – параметри нормальних законів розподілу різниці випадкових величин – координат відбивачів цілі;

$$a_{\Delta y_{in}} = a_{y_i} - a_{y_n}; \quad a_{\Delta x_{in}} = a_{x_i} - a_{x_n};$$

$$\sigma_{\Delta y_{in}}^2 = \sigma_{y_i}^2 - 2r_{y_i y_n} \sigma_{y_i} \sigma_{y_n} + \sigma_{y_n}^2, \quad \sigma_{\Delta x_{in}}^2 = \sigma_{x_i}^2 - 2r_{x_i x_n} \sigma_{x_i} \sigma_{x_n} + \sigma_{x_n}^2.$$

Порівняльний аналіз виразу (8) з виразами автокореляційних функцій для кожної з рознесених РЛС [7], свідчить про їх аналогічну залеж-

ність від геометричних характеристик АДЦ. Крім того з аналізу виразу (8) можна зробити висновок про те, що максимум ВКФ у часі відповідає моменту, коли виконується умова $\Omega\tau = \beta$. Таким чином отримання максимуму ВКФ при спостереженні цілі системою рознесених РЛС відповідає часу розвороту цілі на кут β в напрямку винесеної РЛС.

Розглянемо більш детально вплив середніх значень розмірів АДЦ і дисперсій координат елементів цілі, що відбивають на характер зміни нормованих ВКФ для двох класів АДЦ: перший клас – великорозмірні цілі (ВРЦ), другий клас – середньорозмірні цілі (СРЦ) [7]. Для проведення розрахунків прийнемо середньоквадратичні значення відхилень координат елементів цілі, що відбивають рівними: для першого класу цілей (ВРЦ): $\sigma_{x1} = 1,8$ м; $\sigma_{y1} = 1,8$ м; $\sigma_{x2} = 1,8$ м; $\sigma_{y2} = 1,8$ м; $\sigma_{x3} = 1$ м; $\sigma_{y3} = 1$ м; для другого класу (СРЦ): $\sigma_{x1} = 0,9$ м; $\sigma_{y1} = 0,9$ м; $\sigma_{x2} = 0,9$ м; $\sigma_{y2} = 0,9$ м; $\sigma_{x3} = 0,5$ м; $\sigma_{y3} = 0,5$ м.

На рис. 2 наведені криві нормованих ВКФ, які побудовані з урахуванням функції $\cos(\dots)$, коли $a_{\Delta y_{in}} - a_{\Delta x_{in}} \neq 0$. Криві на рис. 2, а побудовані для першого (крива 1 – ВРЦ) і другого класу цілей (крива 2 – СРЦ), при значеннях дисперсій, що відповідають першому класу цілей. Значення середніх розмірів дорівнюють: для першого класу: $a_{y1} = -20$ м; $a_{y2} = 20$ м; $a_{y3} = 4$ м; $a_{x1} = 20$ м; $a_{x2} = -20$ м; $a_{x3} = 4$ м; для другого класу: $a_{y1} = -10$ м; $a_{y2} = 10$ м; $a_{y3} = 2$ м; $a_{x1} = 10$ м; $a_{x2} = -10$ м; $a_{x3} = 2$ м.

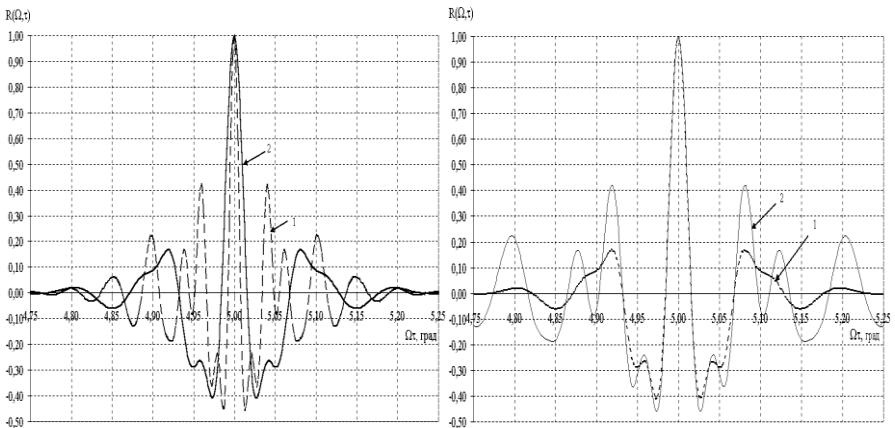


Рис. 2. Нормовані ВКФ сигналів, відбитих від ВРЦ (а) і СРЦ (а, б), з дисперсіями, що характерні: а – великорозмірним АДЦ; б – АДЦ класів СРЦ і ВРЦ

На рис. 2, б зображені криві нормованої ВКФ при середніх значеннях координат, елементів що відбивають, характерні для класу СРЦ. Значення дисперсій відповідають класам ВРЦ (2) і СРЦ (1).

З аналізу кривих нормованих ВКФ (рис. 2) можна зробити висновок, що в цьому випадку нормовані ВКФ мають осцилюючий характер, але всі раніше встановлені залежності [7], зберігаються. Слід зауважити, що при збільшенні розмірів цілі посилюється осцилюючий характер кривих нормованих взаємних кореляційних функцій. Це зумовлено збільшенням аргументу функції косинус і, відповідно, посиленням впливу цієї функції в виразі (3). При збільшенні дисперсій координат елементів цілі, що відбивають, осцилюючий характер кривої стає менш вираженим. Такий характер зміни нормованих ВКФ пов'язаний з зростанням показника експоненти у виразі (3). В цьому випадку експонента спрямляє функцію косинус. Також зберігаються встановлені залежності і при збільшенні кількості елементів, що відбивають на поверхні цілі.

На основі проведеного аналізу та проведених розрахунків можна зробити **висновок** про те, що у взаємних кореляційних функціях огинаючих амплітуд відбитих вузькосмугових сигналів міститься інформація про геометричні характеристики цілей. При обробці відбитих радіолокаційних сигналів в системі рознесених на місцевості РЛС ця інформація може бути використана для розпізнавання класів АДЦ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торочин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України, Х.: ХВУ, 2003. – 368 с.
2. Ширман Я.Д., Горшков С.А., Леценко С.П., Братченко Г.Д. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. - № 11. – С. 3 – 64.
3. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К.: Изд-во КВЦ, 2000. – 428 с.
4. Небабин В.Г., Сергеев В.В. Методы радиолокационного распознавания. – М.: Радио и связь, 1984. – 152 с.
5. Казаков Е.Л. Радиолокационное распознавание космических объектов по поляризационным признакам. – Одесса: ОдИУМ, 1999. – 230 с.
6. Бзот В.Б., Казаков Е.Л., Коваленко О.І., Шостачук Д.М. Удосконалена математична модель описання відбивальних властивостей радіолокаційної цілі // Вісник ЖІТІ. – 2001. – Вип. 18. – С. 60 – 63.
7. Казаков Е.Л., Бзот В.Б. Распознавание радиолокационных целей по некоординатной информации при использовании простых сигналов // Прикладная радиоэлектроника. – Х.: АНПРЭ, ХНУРЭ. – 2002. – № 1, т. 1. – С. 85 – 88.

Поступила 13.07.2005

Рецензент: доктор технічних наук, професор Є.Л. Казаков,
Об'єднаний науково-дослідний інститут ЗС, Харків.