

УДК 621.396.96

Д.Г. Васильєв

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЦІЛЕЙ РОЗНЕСЕНИМИ В ПРОСТОРІ РЛС

*Запропоновано метод визначення усереднених на інтервалі спостереження поздовжнього та поперечного розмірів радіолокаційної цілі рознесеними в просторі радіолокаційними станціями при сумісній кореляційній обробці відбитих радіолокаційних сигналів різних частот одного діапазону довжин хвиль при відсутності апріорної інформації про кількість відбиваючих елементів на ній.*

**Ключові слова:** радіолокаційна ціль, рознесені в просторі радіолокаційні станції, відбиваючі елементи, нормований коефіцієнт взаємної кореляції, рознос частот, поздовжній та поперечний розміри.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Останнім часом в науково-технічній літературі з'явилася велика кількість публікацій по використанню багаточастотних сигналів (БЧС) для вирішення різних радіолокаційних задач [1 – 3]. Зокрема розглядаються окремі питання застосування БЧС для підвищення завадозахищеності радіолокаційних станцій (РЛС), підвищення дальності виявлення і точності визначення координат радіолокаційних об'єктів, отримання характеристик розсіяння радіолокаційних цілей (РЛЦ) при використанні БЧС. Подальший розвиток отримали методи визначення геометричних характеристик РЛЦ при використанні БЧС в інтересах розпізнавання. Розглядаються питання аналізу інформації, що отримується при обробці відбитих від РЛЦ вузькосмугових та БЧС, які приймаються однопозиційними та рознесеними в просторі РЛС різних діапазонів довжин хвиль. При цьому з'являється можливість визначення геометричних характеристик РЛЦ, які можуть бути використані в якості додаткових ознак розпізнавання різних класів і типів повітряних і наземних радіолокаційних об'єктів.

Тому розробка методів та пристроїв визначення геометричних характеристик РЛЦ по відбитим радіолокаційним сигналам рознесеними в просторі РЛС є актуальною науково-технічною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У роботах [4, 5] були розглянуті деякі методи визначення геометричних характеристик РЛЦ при обробці відбитих БЧС, що приймаються як однопозиційними, так і рознесеними в просторі РЛС. В роботі [6] розглянуті методи визначення геометричних характеристик РЛЦ при обробці вузькосмугових сигналів в однопозиційних та багатопозиційних РЛС. В роботі [7] була проаналізована інформація про геометричні характеристики РЛЦ, яка може бути отримана при сумісній кореляційній обробці від-

битих від неї вузькосмугових сигналів різних частот одного діапазону хвиль, що приймаються двома рознесеними в просторі РЛС. В монографії [8] в якості частинного випадку розглянуто метод визначення поздовжнього та поперечного розмірів РЛЦ, яка містить велику кількість відбиваючих елементів. Метод визначення поздовжнього та поперечного розмірів РЛЦ в якості ознак розпізнавання рознесеними в просторі РЛС при відсутності апріорної інформації про кількість відбиваючих елементів на РЛЦ не розглядався.

**Метою статті** є розробка методу визначення усереднених на інтервалі спостереження поздовжнього та поперечного розмірів РЛЦ двома рознесеними в просторі РЛС по нормованим коефіцієнтам взаємної кореляції обвідних квадратів амплітуд відбитих сигналів різних частот одного діапазону довжин хвиль при відсутності апріорної інформації про кількість відбиваючих елементів на ній.

### Основний матеріал

Розглянемо дві рознесені в просторі РЛС, які спостерігають протягом деякого інтервалу часу за РЛЦ (рис. 1).

При цьому РЛС 1 випромінює та приймає сигнал на частоті  $f_1$ , а РЛС 2 – на декілька частотах одного і того ж діапазону довжин хвиль. В цьому випадку можна визначити усереднені на інтервалі спостереження поздовжній і поперечний розміри РЛЦ за відсутності апріорних даних про кількість відбиваючих елементів на ній (тобто у відсутність апріорних даних про форму відзеркалювальної поверхні РЛЦ, що спостерігається). Для цього необхідно визначити нормований коефіцієнт взаємної кореляції обвідних квадратів амплітуд відбитих від РЛЦ сигналів [7] при великому розносі частот зондуючих сигналів.

Як показують проведені розрахунки [4], цей рознос частот повинен складати  $\Delta f = (10 \dots 12)$  МГц.

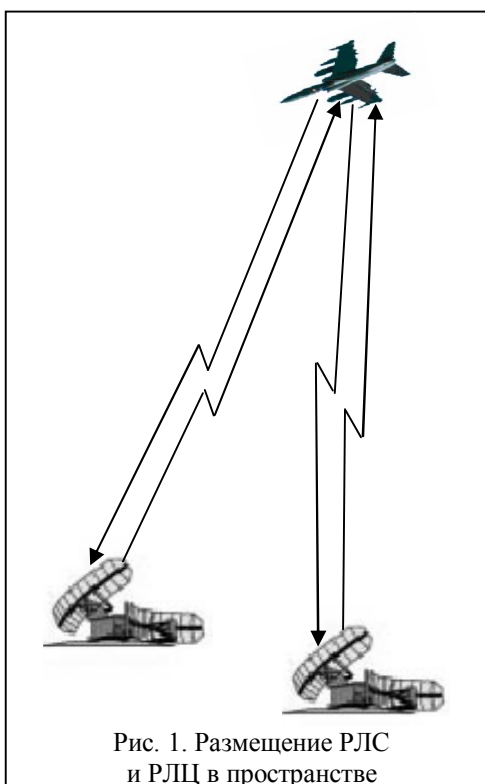


Рис. 1. Размещение РЛС и РЛЦ в пространстве

При цьому зондуєчі сигнали можуть випромінюватися як однією РЛС (випромінювання двох сигналів з різними несучими частотами одночасно або зі зсуванням у часі) [1], так і двома рознесеними в просторі РЛС.

В цьому випадку кількість відбиваючих елементів на РЛЦ, що спостерігається, визначається наступним виразом

$$N \approx \frac{1}{R_B(t, \Delta f_0)}, \quad (1)$$

де  $R_B(t, \Delta f_0)$  – нормований коефіцієнт взаємної кореляції обвідних квадратів амплітуд відбитих від РЛЦ сигналів при великому розносі двох частот зондуєчого сигналу;  $\Delta f_0$  – рознос двох частот зондуєчого сигналу.

Використовуючи вираз для розрахунку нормованого коефіцієнту взаємної кореляції обвідних квадратів амплітуд відбитих від РЛЦ сигналів, що приймаються двома рознесеними в просторі РЛС [7], можна записати систему двох незалежних рівнянь з двома невідомими поздовжнім ( $L_x$ ) та поперечним ( $L_y$ ) розмірами РЛЦ у вигляді

$$\begin{cases} R_{12}(t, m_1, m_2) = \frac{1}{N} + \frac{N-1}{N} \times \\ \times e^{-2[(2m_1-2m_2 \cos \beta_{12})^2 L_x^2 + (2m_2 \sin \beta_{12})^2 L_y^2]} ; \\ R_{13}(t, m_1, m_3) = \frac{1}{N} + \frac{N-1}{N} \times \\ \times e^{-2[(2m_1-2m_3 \cos \beta_{12})^2 L_x^2 + (2m_3 \sin \beta_{12})^2 L_y^2]} , \end{cases} \quad (2)$$

де  $m_1 = \frac{2\pi f_1}{c}$ ,  $m_2 = \frac{2\pi f_2}{c}$  – хвильові числа для значень довжин хвиль РЛС 1 ( $\lambda_1$ ) і РЛС 2 ( $\lambda_2$ ) відповідно;  $R_{12}(t, m_1, m_2)$  – коефіцієнт взаємної кореляції обвідних квадратів амплітуд сигналів, прийнятих рознесеними в просторі РЛС на частотах  $f_1$  та  $f_2$ ;  $R_{13}(t, m_1, m_3)$  – коефіцієнт взаємної кореляції обвідних квадратів амплітуд сигналів, прийнятих рознесеними в просторі РЛС на частотах  $f_1$  і  $f_3$ .

Для малих кутів розносу РЛС (з врахуванням, що при цьому  $\cos \beta_{12} \approx 1$ , а  $\sin \beta_{12} \approx \beta_{12}$ ) система рівнянь (2) матиме вигляд

$$\begin{cases} R_{12}(t, m_1, m_2) \approx \frac{1}{N} + \frac{N-1}{N} \times \\ \times e^{-8[(\Delta m_{12})^2 L_x^2 + m_2^2 \beta_{12}^2 L_y^2]} ; \\ R_{13}(t, m_1, m_3) \approx \frac{1}{N} + \frac{N-1}{N} \times \\ \times e^{-8[(\Delta m_{13})^2 L_x^2 + m_3^2 \beta_{12}^2 L_y^2]} , \end{cases} \quad (3)$$

де  $\Delta m_{12}$ ,  $\Delta m_{13}$  – різниця хвильових чисел для відповідних частот РЛС 1 та РЛС 2.

Вирішуючи систему рівнянь (3), отримаємо виразу для визначення поздовжнього і поперечного розмірів РЛЦ, що спостерігається у вигляді

$$L_x = \frac{1}{2(\Delta m_{12})} \sqrt{(A-1) \cdot B_1 - A \cdot B_2} ; \quad (4)$$

$$L_y = \frac{1}{2\beta_{12}} \sqrt{\frac{(\Delta m_{12})^2 \cdot B_2 - (\Delta m_{13})^2 \cdot B_1}{(\Delta m_{13})^2 \cdot m_2^2 - (\Delta m_{12})^2 \cdot m_3^2}} , \quad (5)$$

$$\text{де } A = \frac{(\Delta m_{13})^2 \cdot m_2^2}{(\Delta m_{13})^2 \cdot m_2^2 - (\Delta m_{12})^2 \cdot m_3^2} ;$$

$$B_1 = \ln [R_{12}(t, m_1, m_2) - R_B(t, \Delta f_0)] - \ln(1 - R_B(t, \Delta f_0)) ;$$

$$B_2 = \ln (R_{13}(t, m_1, m_2) - R_B(t, \Delta f_0)) - \ln(1 - R_B(t, \Delta f_0)) .$$

Таким чином, метод визначення геометричних характеристик РЛЦ рознесеними в просторі РЛС полягає в наступному. Спочатку треба виміряти значення нормованого коефіцієнту взаємної кореляції обвідних квадратів амплітуд відбитих сигналів при великому розносі їх частот одного діапазону довжин хвиль ( $R_B(t, \Delta f_0)$ ) та розрахувати у відповідності з виразом (1) кількість відбиваючих елементів на РЛЦ, що спостерігається. Потім необхідно розрахувати значення коефіцієнтів взаємної кореляції обвідних квадратів амплітуд відбитих сигналів різних частот одного діапазону довжин хвиль, що випромінюються та приймаються РЛС 1 та РЛС 2

$(R_{12}(t, m_1, m_2), R_{13}(t, m_1, m_3))$ , а також кут розносу між двома РЛС ( $\beta_{12}$ ). Далі, знаючи величини частот зондуючих сигналів кожної РЛС, треба розрахувати значення хвильових чисел ( $m_1, m_2, m_3$ ) та їх різниці ( $\Delta m_{12}, \Delta m_{13}$ ). Потім для розрахунку усереднених на інтервалі спостереження значень подовжнього та поперечного розмірів РЛЦ скористатись виразами (4) та (5).

### Висновки

Розроблено метод визначення подовжнього та поперечного розмірів РЛЦ при використанні відбитих від РЛЦ, що спостерігається, сигналів різних частот одного діапазону довжин хвиль двома рознесеними в просторі РЛС. Ці геометричні характеристики можуть використовуватися в якості додаткових ознак розпізнавання повітряних та наземних об'єктів локації. При цьому враховано відсутність апріорної інформації про кількість відбиваючих елементів на РЛЦ, що спостерігається.

В подальшому можливо розробити структурну схему пристрою визначення усереднених на інтервалі спостереження значень подовжнього і поперечного розмірів РЛЦ, що дозволяє реалізувати цей метод. Також необхідно розглянути питання обробки отриманої по відбитим сигналам інформації та визначення геометричних характеристик РЛЦ в однієї з РЛС.

### Список літератури

1. Вишин Г.М. Многочастотная радиолокация / Г.М. Вишин . – М.: Радио и связь, 1986. – 183 с.
2. Гьесинг Г.Т. Радиолокация с адаптирующимся к цели согласованным подсветом: Принципы и приложения /

Г.Т. Гьесинг // Серия по электронным волнам института электрорадиоинженеров. Том 22. – Великобритания: Лондон, 1986. – 103 с.

3. Радиоэлектронные системы, основы построения и теория: справочник / Я.Д. Ширман, Ю.П. Лосев, Н.Н. Минервин и др.; под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: ЗАО "Маквис", 1998. – 828 с.

4. Распознавание целей при многочастотной радиолокации / Е.Л. Казаков, В.Б. Бзот, Д.Г. Васильев и др.; под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: ОННИ ВС, 2007. – 188 с.

5. Казаков Е.Л. Распознавание воздушных целей по некогерентному многочастотному сигналу с учетом поляризации в разных диапазонах длин волн / Е.Л. Казаков, Д.Г. Васильев, А.Е. Казаков; под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: КП "Типография № 13", 2009. – 165 с.

6. Радиолокационные признаки распознавания при многопозиционной локации / Е.Л. Казаков, В.Б. Бзот, А.Е. Казаков, В.Л. Павлов; под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: АСЭ, 2005. – 188 с.

7. Васильев Д.Г. Анализ информации про геометрические характеристики радиолокационной цели, что находится в коэффициентной взаимной корреляции амплитуд отраженных сигналов, які приймаються рознесеними в просторі РЛС / Д.Г. Васильев // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. – К.: ДП «ЦНДІ НУ», 2009. – Вип. 4 (12). – С. 30-35.

8. Распознавание радиолокационных целей по сигнальной информации / Е.Л. Казаков, Д.Г. Васильев, А.Е. Казаков, Д.Н. Рыжов, О.В. Коломийцев; под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: КП "Міська друкарня", 2010. – 232 с.

Надійшла до редколегії 15.03.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, с.н.с. В.О. Василюк, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ РАЗНЕСЕННЫМИ В ПРОСТРАНСТВЕ РЛС

Д.Г. Васильев

*Предложен метод определения усредненных на интервале наблюдения продольного и поперечного размеров радиолокационной цели разнесенными в пространстве радиолокационными станциями при совместной корреляционной обработке отраженных радиолокационных сигналов разных частот одного диапазона длин волн при отсутствии априорной информации о количестве отражающих элементов на ней.*

**Ключевые слова:** радиолокационная цель, разнесенные в пространстве радиолокационные станции, отражающие элементы, нормированный коэффициент взаимной корреляции, разнос частот, продольный и поперечный размеры.

### THE DETERMINATION METHOD OF GEOMETRICAL DESCRIPTIONS OF RADAR TARGETS BY SPACE DIVERSITY RADARS

D.G. Vasiliev

*The determination method of average on an supervision interval longitudinal and transversal sizes of radar target by the space diversity radar at joint crosscorrelation treatment of the reflected radiolocation signals of different frequencies of one range of one wavelength band in default of a priori information about the quantity of reflecting elements on it is offered.*

**Keywords:** radar target, space diversity radars, reflecting elements, normalized coefficient of crosscorrelation, carrying of frequencies, longitudinal and transversal sizes.