

УДК 621.396.969

В.А. Дружинін<sup>1</sup>, О.Т. Гордієвський<sup>2</sup>, Д.Г. Васильєв<sup>2</sup><sup>1</sup>Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ<sup>2</sup>Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Феодосія

## РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ПІДВИЩЕННЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ ГРУПОВОГО СКЛАДУ

Запропоновано алгоритм роботи системи розпізнавання типу повітряної цілі при спостереженні. Розглянуто загальні підходи до реалізації механізму покращення здатності розрішення багатопозиційною радіолокаційною системою повітряних цілей за кутковими координатами.

**Ключові слова:** багатопозиційна радіолокаційна система, груповий склад, повітряна ціль, багатопозиційна ефективна площа відбиття, розпізнавання, алгоритм.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Рознесення в просторі й синхронізація функціонування структурних елементів багатопозиційних радіолокаційних систем (БП РЛС) дозволяє вишукувати додаткові можливості щодо покращення характеристик визначення ознак групового складу повітряних об'єктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз літератури дозволяє стверджувати, що важливим напрямком вирішення поставленої проблеми є зменшення імпульсного об'єму зондуючих сигналів РЛС, для чого необхідна реалізація механізмів їх стиску за тривалістю в приймальних пристроях системи, а також зменшення ширини діаграми спрямованості антени (ДСА) в кутomisцевій та азимутальній площинах [1, 2].

Якщо здатність РЛС щодо розрішення за дальністю визначається на етапі проектування кожного конкретного радіолокаційного засобу, то розрішення цілі за кутковими координатами, яке залежить від ширини ДСА однопозиційного засобу, може бути покращене також і в процесі експлуатації за допомогою об'єднання окремих РЛС у систему та оптимальною організацією їх спільного функціонування.

**Метою статті** є розробка алгоритмів підвищення спостереження повітряних цілей (ПЦ) групового складу як продовження напрямку дослідження визначення ознак групового складу об'єктів спостереження у БП РЛС.

### Основний матеріал

При локації ПЦ, для зручності опису їх відбиваючих здатностей, в умовах багатопозиційного спостереження, доцільне введення поняття багатопозиційної ефективної площі відбиття (БП ЕПВ). Якщо сигнали, які випромнені різними передавальними позиціями, приходять на вхід приймальної позиції з запізнюванням відносно один одного більш ніж на величину  $\frac{1}{\Delta f}$ , де  $\Delta f$  – ширина спектра сигналу, БП ЕПВ є матриця розмірності  $n \times m$ :

$$\sigma_{m(\vartheta)} = \begin{pmatrix} \sigma(\vartheta_{1,1}) & \sigma(\vartheta_{1,2}) & \dots & \sigma(\vartheta_{1,m}) \\ \sigma(\vartheta_{2,1}) & \sigma(\vartheta_{2,2}) & \dots & \sigma(\vartheta_{2,m}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma(\vartheta_{n,1}) & \sigma(\vartheta_{n,2}) & \dots & \sigma(\vartheta_{n,m}) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Елементами матриці (1) є моностатичні, бістатичні й тіньові ефективні площі відбиття (МЕПВ, БЕПВ, ТЕПВ). Вони відповідають випадку, коли приймальна станція та станція передачі розташовані відповідним чином: МЕПВ – приймальня й передавальна станції просторово сполучені; БЕПВ – приймальня й передавальна станції просторово рознесені; ТЕПВ – приймальня й передавальна станції просторово рознесені так, що кут між напрямками візування на об'єкт із обох станцій близький до  $180^\circ$ . Рядки матриці описують відбивні властивості повітряної цілі відносно  $m$  приймальних позицій при випромінюванні  $i$ -ї передавальної позиції  $i = 1, n$ , а стовпці відносно  $j$ -ї приймальної позиції  $j = 1, m$  при випромінюванні  $n$  передавальних.

Таке математичне трактування БП ЕПВ має на увазі наступний її фізичний зміст: БП ЕПВ – це сукупність  $n \times m$  ізотропних, (принаймні, у межах апертури прийомних антен) відбивачів, розміщених на місці ПЦ, що й створюють (з урахуванням напрямку опромінення) у напрямку приймання потужність на одиницю тілесного кута, як і реальна ПЦ. Також передбачається, що відстань від прийомних станцій до ПЦ досить велика, і прийняту радіохвилю можна вважати плоскою й однорідною. Таким чином, у випадку багаторакурсного спостереження об'єкта, його відбивні властивості описуються в загальному випадку сукупністю БЕПВ. За аналогією з вищевикладеним, БП ЕПВ може бути диференціальною й інтегральною. У першому випадку в якості елементів матриці (1) використовуються диференціальні ЕПВ, а в другому – інтегральні. Якщо передавальні позиції функціонують на одній частоті й зондуєчі сигнали одночасно опромінюють ПЦ спосте-

реження, то матриця БП ЕПВ (1) трансформується у вектор розмірності  $m$ . Це відбувається через те, що зондуючі сигнали передавальних позицій складаються на ПЦ, та кожна приймальня позиція отримує не  $n$  сигналів, а один. У цьому випадку всю сукупність передавальних позицій БП РЛС можна розглядати у вигляді однієї еквівалентної станції.

Стосовно до МЕПВ та БЕПВ правомірне застосування теореми про їх еквівалентність [1]. Використовуючи введене поняття БП ЕПВ, можна сформулювати твердження про еквівалентність матриці БП ЕПВ (1) відповідно матриці аналогічної розмірності, елементами якої є МЕПВ [2].

У теорії радіолокації є ряд підходів до розв'язання задачі розпізнавання типу об'єктів спостереження. Однак розв'язати її з прийнятним рівнем імовірності в багатьох випадках не вдається. Тому важливо відзначити, що матриця (1) за своєю суттю являє собою радіолокаційний портрет об'єкта спостереження й може бути використана для вирішення задачі розпізнавання в БП РЛС [3].

Запропонований метод розпізнавання заснований на порівнянні поточних оцінок ЕПВ виявленого об'єкта з еталонними діаграмами ЕПВ апріорно відомих об'єктів. При спостереженні об'єкта БП РЛС, що складається з  $m$  позицій, з яких  $n$  – приймально-передавальні, а  $(m - n)$  – приймальні, оцінки ЕПВ об'єкта являють собою матрицю, де відомими є значення елементів та бістатичні кути, при яких вони обмірювані. База даних еталонних діаграм ЕПВ повинна виражатися у залежності:

$$\sigma(\varphi, \varepsilon, \varphi_p, \varepsilon_p), \varphi \in [0, 2\pi], \varepsilon \in [-\pi/2, \pi/2], \\ \varphi_p \in [0, 2\pi], \varepsilon_p \in [-\pi/2, \pi/2]. \quad (2)$$

Тоді алгоритм роботи системи розпізнавання буде полягати у наступному. Перед початком функціонування БП РЛС із блоку керування у базу даних еталонів надходить інформація про перелік розвідувальних об'єктів  $\rho$  та можливі ракурси їх спостереження  $[\varphi_1, \varphi_2]$  та  $[\varepsilon_1, \varepsilon_2]$ . Сюди ж, у процесі функціонування БП РЛС, надходять поточні дані про бістатичні кути спостереження об'єкта  $\varphi_{\rho ij}, \varepsilon_{\rho ij}, i=1, n, j=1, m$ , що виявляється. Відповідно до цієї інформації база даних видає вибірки з еталонних діаграм:

$$\sigma_1(\varphi, \varepsilon, \varphi_p, \varepsilon_p), i=1, \rho, \varphi \in [\varphi_1, \varphi_2], \varepsilon \in [\varepsilon_1, \varepsilon_2], \\ \varphi_p = \varphi_{\rho ij}, \varepsilon_p = \varepsilon_{\rho ij}, i=1, n, j=1, m, \quad (3)$$

вони надходять на блок порівняння; туди ж надходять поточні значення ЕПВ виявленого об'єкта  $\sigma_0(\varphi_0, \varepsilon_0, \varphi_{\rho ij}, \varepsilon_{\rho ij}), i=1, n; j=1, m$ . У блоці проводиться порівняння еталонних та поточних ЕПВ; результати порівняння  $A_1$  надходять у блок аналізу,

де відповідно до алгоритму  $\max_{l \in \rho}(A_1)$  або  $\min_{l \in \rho}(A_1)$  ухвалюється рішення про приналежність виявленого об'єкта певному типу.

Розрахунки, які проведені з використанням даного алгоритму розпізнавання стосовно до реальних об'єктів, підтверджують можливість розпізнавання типу об'єкта з досить високою ймовірністю [3].

Розглянутий алгоритм може бути вдосконалений шляхом уточнення ухваленого рішення за рахунок збільшення здатності розрішення БП РЛС за кутовими координатами у випадку можливої локації групових ПЦ. Дане припущення про груповий склад об'єкта може бути винесене в процесі аналізу її радіолокаційного портрета й звірення його з еталонами. У цій ситуації доцільна реалізація механізму підвищення відповідної здатності розрішення БП РЛС за рахунок використання “багатоточечного” прийому та наступної обробки відбитого від цілі сигналу. Процес вибору й синхронізація роботи конкретних “точок” прийому БП РЛС можуть бути алгоритмізовані залежно від розглянутої ситуації (припущення про груповий характер аналізованого об'єкта) та геометрії польоту ПЦ.

Розглянемо загальні підходи до реалізації механізму покращення здатності розрішення БП РЛС за кутовими координатами у випадку приймання відбитого від ПЦ сигналу двома прийомними пристроями БП РЛС, що рознесені на відповідну базову відстань. Умовимося, що структурно гіпотетична БП РЛС буде складатися із  $N$  РЛС, центрального пункту збору та обробки інформації, який інтегрований з пунктом управління системи.

Прийняті сигнали в центральному пункті збору та обробки інформації БП РЛС підсумовуються, підсилюються та після квадратичного детектування усереднюються вихідним реєструючим обладнанням.

Таким чином, якщо напруженості полів, прийнятих антенами від точкового джерела, рівні  $AF(\vartheta) \sin \omega t$  та  $AF(\vartheta) \sin(\omega t + \phi)$  (де  $F(\vartheta)$  – ДСА за напруженістю поля;  $\vartheta$  – кут з нормаллю до базової лінії;  $A = \text{const}$ , вважаємо, що відстань до джерела багато більше  $D$  і тому амплітуди полів в антенах приймаючих РЛС однакові,  $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} D \sin(\vartheta)$ , та потужність сигналу на виході обладнання дорівнює [4]:

$$P(\vartheta) = \left[ AF(\vartheta) \sin \omega t + AF(\vartheta) \sin(\omega t + \phi) \right]^2 = \\ A^2 F^2(\vartheta) \left[ 1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} D \sin \vartheta\right) \right], \quad (4)$$

таким чином прийомна діаграма спрямованості за потужністю в цьому випадку дорівнює:

$$F_n(\vartheta) = F(\vartheta) \left[ 1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} D \sin \vartheta\right) \right], \quad (5)$$

де  $F(\vartheta)$  – діаграма за потужністю одиночної антени.

Якщо кути  $\vartheta$  невеликі й можна вважати, що  $\sin \vartheta \approx \vartheta$ , то:

$$F_n(\vartheta) = F(\vartheta) \left[ 1 + \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} D \vartheta \right) \right]. \quad (6)$$

Таким чином діаграма спрямованості являє собою багатопелюсткову структуру з однаковими відстанями між сусідніми максимумами та нулями, яка обгинається  $F(\vartheta)$  – ДСА у розглянутому випадку.

Таким чином, розрішення при двопозиційнім прийманні сигналу за кутом  $\vartheta$ , тобто ширина пелюстки на рівні половинної потужності, дорівнює:

$$\Delta \vartheta_n = \frac{\lambda}{2D}, \quad (7)$$

що відповідає розрішенню суцільної апертури діаметром  $2D$ , тобто розрішення у цьому випадку вдвічі краще розрішенню суцільної апертури діаметра  $D$ .

Однак настільки високе розрішення в даному випадку можна реалізувати для визначення координат точкового джерела в цілі групового складу, але не для аналізу розподілу радіояскравості (радіолокаційного зображення) протяжного об'єкта в цьому ж складі.

Для даного виміру з розрішенням  $\lambda/D$  (за кутом  $\vartheta$  при постійному напрямку бази) необхідна реєстрація всіх просторових частот від нуля до  $D/\lambda$ , тобто використання змінної відстані між антенами БП РЛС, яка реалізована конкретною конфігурацією побудови системи та алгоритмами регламентації функціонування її складових.

Розглянута процедура дозволяє одержати більш деталізований радіолокаційний портрет повітряної цілі, яка підпадає під класифікацію й підвищити ймовірність її правильного розпізнавання.

## Висновки

Підводячи підсумок розглянутого, можливо стверджувати, що найбільш актуальними шляхами реалізації потенційних характеристик визначення ознак групового складу повітряних об'єктів у системах БП РЛС є:

- розширення банку даних еталонів діаграм розсіювання повітряних цілей;
- розробка оптимальних алгоритмів підвищення здатності розрішення БП РЛС за кутковими координатами у випадку локації повітряних цілей групового складу;
- застосування в БП РЛС, у перспективі, коротких (до нанометрових) або модифікованих частотно- (фазо-) модульованих (маніпульованих) зондуючих сигналів, використання яких дозволить забезпечити суттєве підвищення здатності розрішення системи за дальністю;
- розробка оптимальних алгоритмів регламентації функціонування РЛС у складі БПРЛС за умов складної сигнально-завадової обстановки.

## Список літератури

1. *Отражательная способность радиолокационных целей // ТИИЭР. – 1965. – Т. 53, №8. – С. 24-27.*
2. *Самойлов С.И. Измерение бистатических эффективных поверхностей рассеяния сложных объектов / С.И. Самойлов // Электромагнитные волны и радиоэлектронные системы. – 2000. – № 2, т. 5. – С. 64-68.*
3. *Вопросы перспективной радиолокации. Коллективная монография / под ред. А.В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2003. – 512 с.: ил. (Сер. Радиолокация).*
4. *Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия / Н.М. Цейтлин. – М.: Сов. радио, 1976. – 352 с.*

Надійшла до редколегії 11.07.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук професор Є.Л. Казаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ПОВЫШЕНИЯ НАБЛЮДАЕМОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ ГРУППОВОГО СОСТАВА

В.А. Дружинин, А.Т. Гордиевский, Д.Г. Васильев

*Предложен алгоритм работы системы распознавания типа воздушной цели при наблюдении. Рассмотрены общие подходы к реализации механизма улучшения способности разрешения многопозиционной радиолокационной системой воздушных целей по угловым координатам.*

**Ключевые слова:** многопозиционная радиолокационная система, групповой состав, воздушная цель, многопозиционная эффективная площадь отражения, распознавание, алгоритм.

## OPTIMAL ALGORITHMS DEVELOPMENT OF OBSERVABILITY IMPROVE OF GROUP COMPOSITION AIR TARGETS

V.A. Druzhinin, A.T. Gordievsky, D.G. Vasiliev

*The algorithm of work of air target type recognition system under observation is proposed. The general approach to implementation of mechanism for improving ability of air targets resolution by multiposition radar system on angular coordinates are considered.*

**Keywords:** multiposition radar system, group composition, air target, multi-backscatter, recognition, algorithm.