

УДК 621.396

О.А. Арнаутов, Р.В. Момот, Г.В. Худов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ОБ'ЄКТІВ В СИСТЕМАХ ПАСИВНОЇ ЛОКАЦІЇ

В статті проведено аналіз відомих методів визначення координат об'єктів в системах пасивної локації, проаналізовано їх достоїнства та недоліки.

**Ключові слова:** пасивна локація, координати об'єкта, методи визначення.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

Відомо [1], що в системах пасивної локації використовуються методи і засоби визначення місцезнаходження фізичних об'єктів за їхнім власним радіовипромінюванням. Джерелами сигналів в системах пасивної локації є [2]:

- теплове радіовипромінювання, обумовлене електродинамічними процесами в атомах і молекулах речовини;
- радіовипромінювання бортових електронних приладів різного призначення;
- активні перешкоди, що спеціально створюються для придушення радіоелектронних засобів.

**Мета статті** – проаналізувати основні методи визначення координат об'єктів в системах пасивної локації.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** В системах пасивної локації вимірювання кутових координат проводиться відомими методами пеленгації [3 – 6]. Принципова відмінність між системами активної та пасивної локації виникає при вимірюванні дальності. В системах пасивної локації через невизначеність часу випромінювання сигналу і відсутність опорних сигналів неможливо виміряти аналог дальності – час запізнення прийнятого сигналу [7]. При цьому визначення дальності до об'єкту можливе тільки в багатопозиційних системах за результатами вимірювання інших параметрів [3 – 7].

### Основний розділ

**Постановка задачі і викладення матеріалів дослідження.** Для вимірювання дальності в системах пасивної локації використовуються рознесені на місцевості системи прийому сигналів від об'єкту [7, 8]. В залежності від вимірюваної в кожній точці прийому координати (або параметра) розрізняють кутомірний і різницево-далекомірний методи. Крім названих також може використовуватися комбінований метод.

Кутомірний (триангуляційний) метод вимірювання координат об'єкта засновано на вимірюванні азимутів (мінімум двох) і кута місця в рознесених на

відстань  $B$  (базу) пунктах прийому. Найпростіший варіант такої системи пасивної локації передбачає два рознесені пункти прийому: центральний пункт прийому (ЦПП), де вимірюється азимут ( $\beta_0$ ) і кут місця ( $\varepsilon_0$ ) об'єкту і «винесений» пункт прийому (ВПП), в якому вимірюється тільки азимут на ціль ( $\beta_1$ ). Узагальнена структурна схема такої системи пасивної локації наведена на рис. 1.

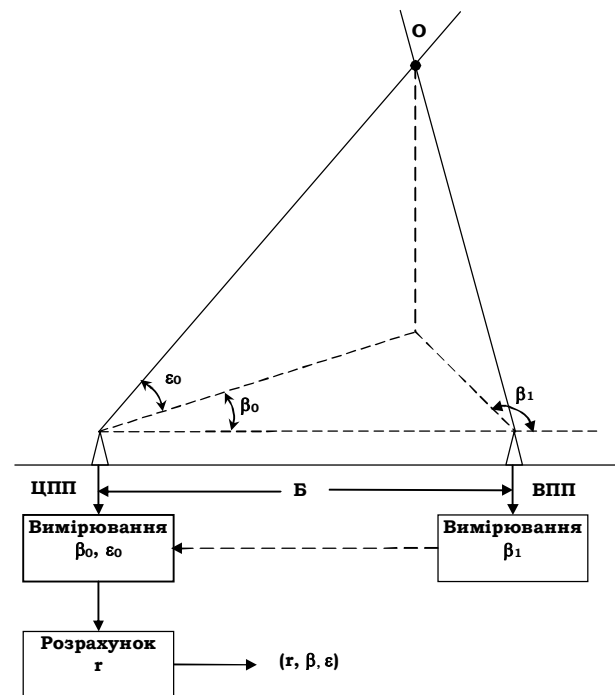


Рис. 1. Узагальнена структурна схема системи пасивної локації з кутомірним методом виміру координат

Кутові координати ( $\beta_0, \varepsilon_0$ ) вимірюються аналогічно виміру координат в системах активної локації. Точність кутових вимірювань практично така ж і залежить від ширини діаграми направленості антени.

Вимірювання дальності  $r_0$  здійснюється рішенням трикутників, в яких відомі  $B$  і кути  $\beta_0, \beta_1, \varepsilon_0$ . З геометрії представлені системи виходять два рівняння:

$$(r_0 \cos \varepsilon_0) \cos \beta_0 + (r_1 \cos \varepsilon_1) \cos(180^\circ - \beta_1) = B;$$

$$(r_0 \cos \varepsilon_0) \sin \beta_0 = (r_1 \cos \varepsilon_1) \sin(180^\circ - \beta_1).$$

Розв'язуючи одне з них щодо  $r_1 \cos \varepsilon_1$  і підставляючи в друге рівняння, отримаємо, що

$$r_0 = B \sin \beta_1 / \cos \varepsilon_0 \sin(\beta_0 - \beta_1). \quad (1)$$

Точність вимірювання дальності залежить від кутових помилок  $\sigma_\beta, \sigma_\varepsilon$  величини бази  $B$  і функціональної залежності  $r_0 = f(B, \beta_0, \beta_1, \varepsilon_0)$ , яка визначається виразом

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[ (1/\sigma_n^2) \sum_{k=1}^n y_k^2 \right] = (2/N_n) \int_0^T y^2(t) dt.$$

Закон розподілу випадкових помилок дальності по відомих законах розподілу помилок  $\beta$  і  $\varepsilon$  визначається виразом (2)

$$\sigma_y^2 = (\partial f / \partial x)^2 \sigma_x^2. \quad (2)$$

При розрахунках виразу (2) використовується метод лінеаризації функцій [корн].

Для системи пасивної локації вираз (2) має вигляд (3)

$$\sigma_r^2 = (dr/d\beta_0)^2 \sigma_{\beta_0}^2 + (dr/d\varepsilon_0)^2 \sigma_{\varepsilon_0}^2 + (dr/d\beta_1)^2 \sigma_{\beta_1}^2. \quad (3)$$

З наведеного вище витікає, що точність визначення дальності до об'єкта в системах пасивної локації залежить від:

- помилок кутових вимірювань  $\sigma_\beta, \sigma_\varepsilon$ ;
- величини бази;
- положення цілі в зоні щодо нормалі до бази;
- дальності до цілі.

На великих відстанях помилки  $\sigma_r$  можуть складати до 10 % від дальності до об'єкта.

Різницево-далекомірний метод вимірювання дозволяє виміряти як дальність до цілі, так і її кутові координати (без використання методів пеленгації) [9]. Система пасивної локації, в якій використовується даний метод вимірювання координат об'єкта, отримала назву базово-кореляційної системи (БКС) [9].

Найпростіша БКС (рис. 2) складається з одного ЦПП і двох ВПП. В кожному ВПП здійснюється прийом, підсилення прийнятого сигналу і трансляція його із збереженням структури на ЦПП.

Для трансляції використовуються радіорелейні або тропосферні лінії зв'язку. В ЦПП також здійснюється прийом сигналу і обчислюються взаємно кореляційні функції сигналів  $R_{0j}$ , прийнятих різними пунктами прийому, які необхідні для вимірювання різниці дальностей  $\Delta r_{0j}$ .

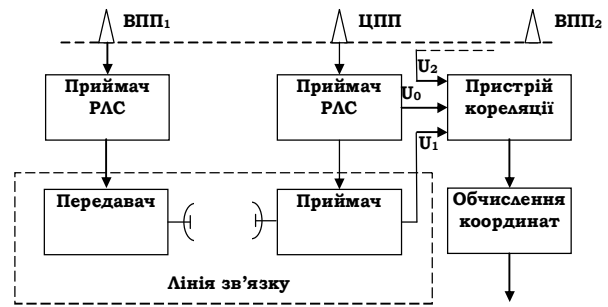


Рис. 2. Базово-кореляційна система

Вимірювання координат засновано на обчисленні різниці дальностей до цілі з різних ВПП щодо дальності від ЦПП. Як відомо [корн], постійну різницю дальностей до двох рознесених точок характеризує у двовірному випадку (на площині) гіпербола, а в тривірному випадку (у просторі) – гіперболоїд. Отже, зміряна величина (наприклад,  $\Delta r_{01} = r_0 - r_1$ , рис. 3) визначає в площині гіперболоїд, в одній з точок якого знаходиться цілі. Для вимірювання площинних координат достатньо виміряти ще одну різницю дальностей –  $\Delta r_{02}$ . Координати цілі визначаються точкою перетину двох гіпербол.

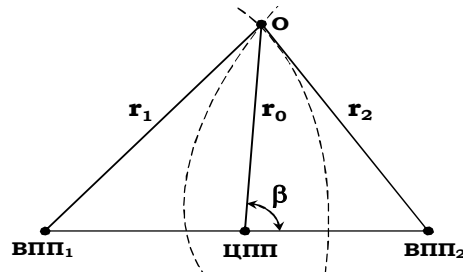


Рис. 3. Визначення різниці дальностей в системі пасивної локації

Просторові координати об'єкта визначаються точкою перетину трьох гіперболоїдів, що відповідні величинам різниці дальностей  $\Delta r_{01}, \Delta r_{02}, \Delta r_{03}$ .

Різниця дальностей вимірюється за допомогою корелятора (рис. 4), на який поступають вихідні сигнали суміжних каналів.

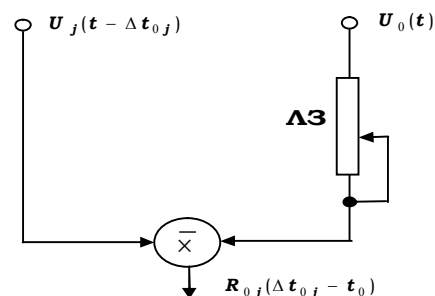


Рис. 4. Корелятор виміру затримки між прийнятими коливаннями

Корелятор дозволяє виміряти відносну затримку між прийнятими коливаннями. В процесі вимі-

рювання проводиться огляд по затримці в межах можливого інтервалу її зміни

$$\Delta \tau_{\max} = B/c,$$

де  $c$  – швидкість світла.

Огляд може бути як паралельним (багатоканальна схема), так і послідовним.

При компенсації відносної затримки прийнятих сигналів ( $\tau = t_3$ ) на виході корелятора виникає кореляційний імпульс. Час запізнювання  $t_3$  в даний момент визначає величину  $\Delta t_{01}$ .

Таким чином, координати об'єкта в БКС визначаються на підставі вимірювання первинних параметрів – різниць дальностей. Практично обчислення координат цілі здійснюється спецобчислювачем.

Точність вимірювання координат визначається точністю виміру  $\Delta t_{0j}$  і залежить від положення об'єкта в зоні відносно нормалі до бази. З метою забезпечення високої точності вимірювань в заданій зоні застосовується нелінійне розташування баз, тобто спеціальна геометрія системи.

Складність технічної реалізації БКС обумовлена головним чином наступними обставинами: необхідністю використання спеціальних ширококутових ліній зв'язку; можливістю роботи тільки по шумоподібному сигналу з однозначною функцією кореляції.

Перевагою БКС у порівнянні з триангуляційними системами пасивної локації є більш висока точність вимірювань координат і відсутність хибних об'єктів, оскільки вимірювання  $\Delta t_{0j}$  одночасно здійснює кореляційне ототожнення сигналів, прийнятих в різних пунктах прийому.

У зв'язку з технологічними труднощами побудови БКС та вимогами щодо наявності пунктів прийому даний вид системи пасивної локації в засобах радіотехнічних військ не використовується. В основному використовують триангуляційні системи пасивної локації. Приймачі виявлення сигналів від об'єктів в системах пасивної локації отримали назву пеленгаційних каналів радіолокаційних станцій.

## Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, у статті розглянуто основні методи виміру координат об'єктів в системах пасивної

локації, проаналізовані їх основні достоїнства та недоліки.

У подальших дослідженнях необхідно розглянути застосування указаних методів для виявлення джерел активних шумових перешкод.

## Список літератури

1. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации / Я.Д.Ширман. – М.: Сов.радио, 1970 – 560 с.
2. Скольник М.В. Введение в технику радиолокационных систем / М.В. Скольник. – М.: Мир, 1965 – 748 с.
3. Иноземцев И.М. Характеристики обнаружения сигналов при диспергирующих пороговых уровнях / И.М. Иноземцев, Л.Д. Фельдман // Вопросы радиоэлектроники. – Х.: XIII. – 1962. – № 10. – С. 11-17.
4. Бугрова Л.М. Характеристики обнаружения пеленгационного канала РЛС при переменных пороговых уровнях / Л.М. Бугрова // Вопросы радиоэлектроники, XV. – 1968. – № 3. – С. 32-37.
5. Долгушин В.П. Метод підвищення ефективності (пропускної спроможності) систем пеленгації джерел АШП на основі просторово-кореляційного алгоритму обробки сигналів / В.П. Долгушин, В.Б. Гориколепов, О.В. Мірошніченко // Збірник наук. праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2006. – Вип. 2. – С. 56-63.
6. Долгушин В.П. Аналіз базово-кореляційного пеленгатора ширококутових шумових перешкод / В.П. Долгушин, В.В. Вишинівський, В.Б. Бахвалов, О.В. Мірошніченко // Збірник наук. праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2006. – Вип. 3. – С. 16 – 22; Оборона. – 2012. – № 2. – С. 3-11.
7. Голкин Д.В. Совместная байесовская оптимизация поиска и обнаружения объектов в радиолокационных системах / Д.В. Голкин, Г.В. Худов // Успехи современной радиоэлектроники. – М., 2003. – № 11. – С. 23-32.
8. Голкин Д.В. Совместная байесовская оптимизация поиска и обнаружения объектов в космических радиолокационных системах дистанционного зондирования Земли / Д.В. Голкин, Г.В. Худов // Космична наука і технологія. – К., 2003. – Т. 9. – № 4. – С. 84-93.
9. Спосіб сумісного пошуку і виявлення радіолокаційних об'єктів: Пат. 71735 А України, МКІ.
10. Вендик О.Г. Антенны с электронным движением луча (введение в теорию) / О.Г. Вендик, М.Д. Парнес / под ред. Л.Д. Бахраха. – С. Петербург: ЛЭТИ, 2001. – 252 с.

Надійшла до редколегії 20.06.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор Д.В. Голкін, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ОБ'ЄКТІВ В СИСТЕМАХ ПАСИВНОЇ ЛОКАЦІЇ

О.А. Арнаутов, Р.В. Момот, Г.В. Худов

В статті проведено аналіз відомих методів визначення координат об'єктів в системах пасивної локації, проаналізовано їх достоїнства та недоліки.

**Ключові слова:** пасивна локація, координати об'єкта, методи визначення.

## METHODS OF COORDINATES OBJECTS IN THE SYSTEM PASSIVE LOCATION

O.A. Arnautov, R.V. Momot, G.V. Khudov

The article analyzed the known methods of determining the coordinates of objects in passive location systems and analyzes their advantages and disadvantages.

**Keywords:** passive location, the coordinates of the object, methods of determination.