

УДК 621.396.96

М.Ф. Пічугін, к.військ.н., проф.

С.О. Соболенко, к.т.н., доц.

Г.Д. Носова, ад'юнкт

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Національного авіаційного університету

МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ КООРДИНАТИ В 3D РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ КРУГОВОГО ОГЛЯДУ З АНТЕННОЮ РЕШІТКОЮ

Стаття присвячена розробці методики вимірювання кутової координати трикоординатної радіолокаційної станції (РЛС) кругового огляду з фазованою антенною решіткою (ФАР) для покращення точності її вимірювання, шляхом впровадження алгоритму формування додаткових променів у діаграмі спрямованості цієї РЛС. Можливість реалізації запропонованого алгоритму ґрунтується на наявності цифрової системи формування діаграми спрямованості антени.

Вступ. Сучасний стан активного та динамічного використання повітряного простору потребує його чіткого управління та контролю, який безпосередньо пов'язаний з виявленням, супроводженням та якомога більш точним визначенням координат повітряних об'єктів. У парку радіолокаційних засобів, на які покладено ці завдання, яскраво вирізняється клас трикоординатних радіолокаційних станцій (РЛС) кругового огляду з антенною решіткою [1–4].

У сучасній РЛС кругового огляду з фазованою антенною решіткою (ФАР) для огляду заданого сектора по куту місця формують діаграми спрямованості (ДС) спеціальної форми, що являють собою віяла парціальних ДС. Таким чином створюють найкращі умови виявлення та супроводу повітряних об'єктів шляхом забезпечення заданої точності вимірювання координат [5–7].

Однак у разі необхідності забезпечення польотів VIP-літаків з належним ступенем прихованості, кризових ситуацій, пов'язаних з терористичною діяльністю та ін., точність отриманої інформації про координати повітряного об'єкта штатними засобами може виявитися недостатньою для прийняття управлінського рішення.

Основна частина. Аналіз значень середньоквадратичних похибок (СКП) вимірювання кутових координат такої РЛС показав, що похибки вимірювання кута місця σ_β значно більші ніж азимута σ_α (рис. 1).

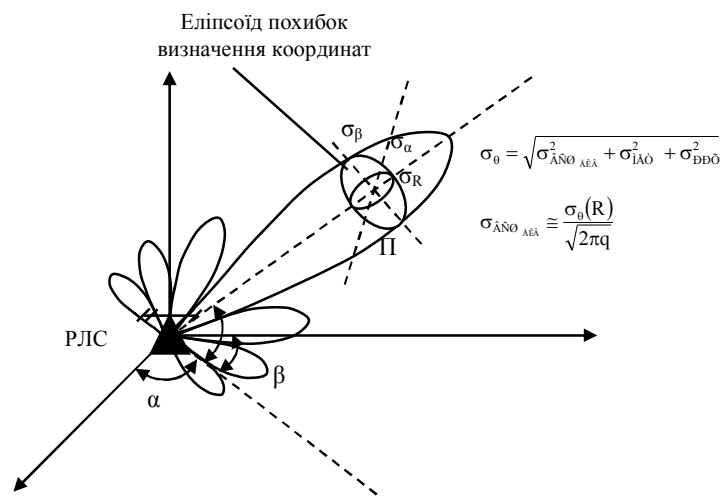


Рис. 1. Еліпсоїд помилок визначення координат повітряного об'єкта

Це пов'язано з тим, що на базі однієї ФАР з M елементів формується N променів у заданому секторі, обмеженому певною формою результуючої ДС ФАР, причому у формуванні кожного променя беруть участь лише K елементів, кількість яких визначається відношенням загальної кількості елементів до кількості променів, які вони формують. Це негативно впливає на потенційну роздільну здатність РЛС по куту місця та коефіцієнт підсилення антени, призводить до збільшення СКП вимірювання кута місця. Таке рішення при застосуванні класичного підходу до формування ДС було найкращим, проте сучасна технологія цифрового діаграмоутворення значно розширює ці можливості.

Таким чином, актуальною є розробка такої методики вимірювання кутової координати повітряного об'єкта в 3D РЛС кругового огляду з ФАР, що дозволить покращити точність вимірювання, з можливістю її впровадження на програмному рівні без внесення додаткових конструктивних змін в антенно-фідерний тракт РЛС.

Для покращення точності вимірювання кутової координати в такій РЛС пропонується застосувати методику, яка ґрунтується на формуванні двох додаткових більш вузьких променів у межах ДС спеціальної форми в напрямку повітряного об'єкта – ввести режим уточнення кутової координати.

У рамках створення методики було розроблено математичну модель, варіант застосування та структурну схему алгоритму впровадження режиму уточнення кутової координати. Спосіб застосування режиму представлено на рисунку 2.

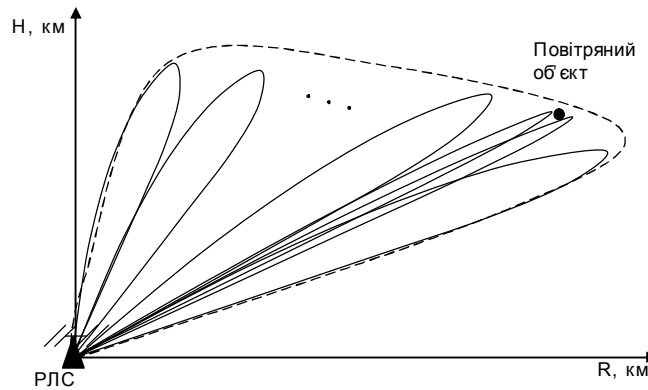


Рис. 2. Схема застосування режиму уточнення кутової координати повітряного об'єкта

Реалізація запропонованого режиму потребує впровадження в цифровій системі формування ДС ФАР відповідного алгоритму формування додаткових променів на основі всіх N елементів антенної решітки. Головною умовою можливості реалізації такого режиму є наявність у РЛС, що розглядається, зазначеної системи формування ДС. Застосування даного алгоритму не потребує внесення додаткових конструктивних змін в антенно-фідерну систему та приймальний тракт такої РЛС.

З метою покращення умов виявлення і супроводження повітряних об'єктів у РЛС кругового огляду застосовано амплітудний розподіл спеціальної форми типу модифікований cosec^2 на основі віяла парціальних ДС.

Розроблена математична модель відображує параметри елементів, з яких складається ФАР, та відповідний амплітудний розподіл на цих елементах.

В антенній системі даної РЛС антенним елементом є лінійний випромінювач, ДС якого, виходячи з його конструкції, у кутомісній площині еквівалентна ДС відкритого кінця хвилеводу в E -площині (1):

$$F_{el}(\beta, \omega) = \frac{1 + \cos \beta}{2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot b}{\lambda} \cdot \sin \beta\right)}{\frac{\pi \cdot b}{\lambda} \sin \beta}, \quad (1)$$

де β – кут падіння електромагнітної хвилі; $\omega = 2\pi f$ – кругова частота; b – лінійний розмір відкритого кінця хвилеводу в E -площині; λ – довжина хвилі.

Для формування кожного окремого променя з віяла парціальних ДС необхідно задіяти M елементів решітки. Отже ДС окремого променя можна записати, враховуючи (1), таким чином:

$$F_{prom}(\beta, \beta_{\max_m}, \omega) = W(n) \cdot F_{el}(\beta, \omega) \cdot f_{syst}(\beta, \beta_{\max_m}, \omega), \quad (2)$$

де β_{\max_m} – напрямок головного максимуму окремого променя; $W(n) = \text{cosec}^2(\beta_{\max_m})$ – множник, що враховує спеціальну форму ДС у вертикальній площині; $f_{syst}(\beta, \beta_{\max_m}, \omega)$ – множник системи, що визначається за виразом (3):

$$f_{syst} = \sum_{m=0}^{M-1} A_m \cdot e^{-j \cdot m \cdot k \cdot d_y \cdot (\sin \beta - \sin \beta_{\max_m})}, \quad (3)$$

де A_m – амплітудний розподіл для відкритого кінця хвилеводу в Е-площині; M – кількість елементів, що формують окремий промінь; m – номер променя; $k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$ – хвильове число; d_y – відстань між елементами в антенній решітці у вертикальній площині.

Формування додаткових променів відбувається за допомогою двох антенних підрешіток, сформованих на базі існуючої решітки за принципом, показаним на рисунку 3. У такий спосіб реалізується амплітудний моноімпульсний метод вимірювання кутової координати. Відповідно до цього аналітичний вираз для ДС додаткового променя матиме вигляд:

$$F_{prom_s}^{dod}(\beta, \beta_{max_s}, \omega) = F_{el}(\beta, \omega) \cdot \sum_{i=0}^{I-1} A_i \cdot e^{-j \cdot i \cdot k \cdot d_y \cdot (\sin \beta - \sin \beta_{max_s})}, \quad (4)$$

де β_{max_s} – напрямок головного максимуму додаткового променя; I – кількість елементів підрешітки, яка формує додатковий промінь; A_i – амплітудний розподіл у підрешітці.

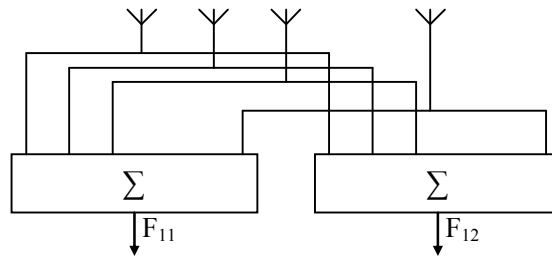


Рис. 3. Принцип ділення AP на підрешітки

Згідно з визначеним принципом було розроблено структурну схему реалізації режиму уточнення кутової координати для трикоординатної РЛС кругового огляду (рис. 4).

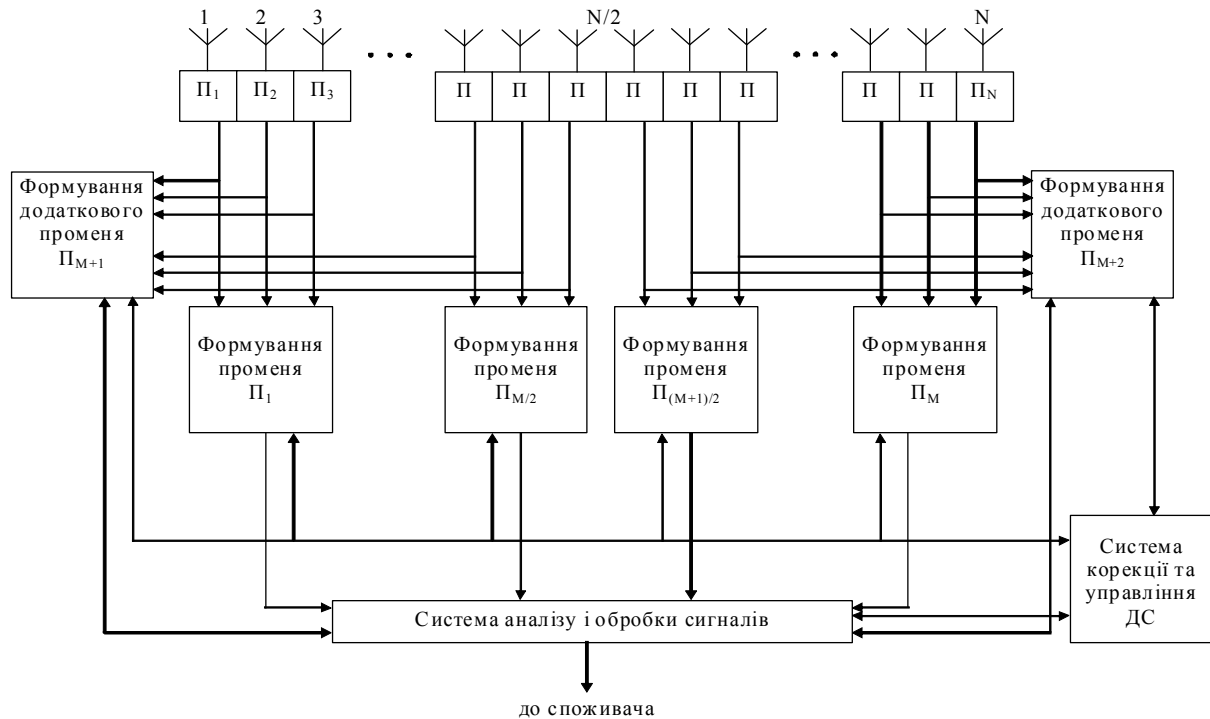


Рис. 4. Структурна схема реалізації режиму уточнення кутової координати

Спираючись на теоретичні розрахунки для амплітудної сумарно-різницевої моноімпульсної системи, можна дослідити ефективність застосування запропонованого режиму, зокрема на прикладі зміни крутизни пеленгаційної характеристики (рис. 5).

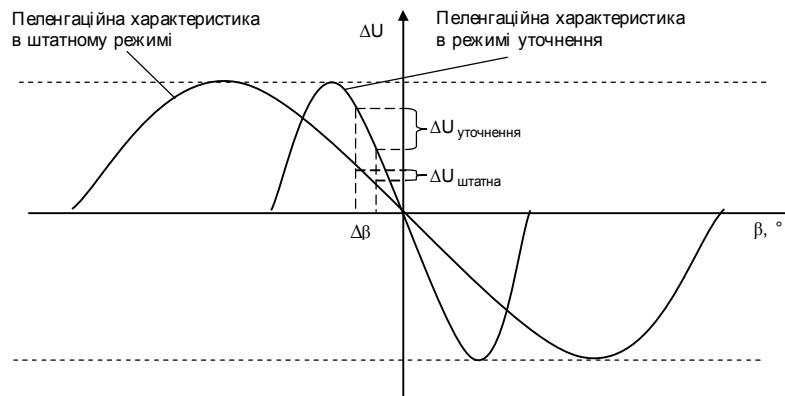


Рис. 5. Пеленгаційна характеристика РЛС кругового огляду без застосування режиму уточнення кутової координати та з активованим режимом уточнення кутової координати

Як видно з рисунку 5, отримана пеленгаційна характеристика в режимі уточнення кутової координати має більшу крутизну μ , що ілюструє позитивну зміну значення похибки пеленгування

$$\sigma_{\Delta\theta}^2 \downarrow \cong \frac{\sigma_{\mu}^2}{\mu^2 \uparrow} \cdot \left(\frac{\lambda}{2 \cdot L \cdot \sin(\theta_{x_0})} \right)^2$$

Висновки. Отже, впровадження розробленої методики дозволить зменшити СКП вимірювання кута місця повітряного об’єкта шляхом покращення потенційної роздільної здатності та енергетичних характеристик сигналу в каналі прийому без внесення конструктивних змін в антенно-фідерну систему РЛС.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мобильная многофункциональная 3-координатная РЛС с цифровой антенной решеткой. – [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.ukrspetstechnik.com>.
2. 1L117M3DRadar_Bangladesh_Military_Forces. – [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.BDMilitary.com>.
3. Lockheed Demonstrates 3D SrveiLLance Radar to USAF. – [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.airforce-technology.com>.
4. Трёхкоординатная радиолокационная станция кругового обзора 80К6. – [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.iskra.com>.
5. Шифрин Я.С. Антенны / Я.С. Шифрин. – Х. : ВИРТА, 1976. – 407 с.
6. Леонов А.И. Моноимпульсная радиолокация / А.И. Леонов, К.И. Фомичев. – М. : Радио и связь, 1984. – 312 с.
7. Чорнобородов М.П. Підвищення тактико-технічних характеристик РЛС 79К6 (80К6) “Пелікан” / М.П. Чорнобородов // Системи управління, навігації та зв’язку. – 2008. – № 1 (5). – С. 64–67.

ПІЧУГІН Михайло Федорович – заслужений працівник освіти України, кандидат військових наук, професор, заступник начальника Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету, директор навчально-наукового підрозділу.

Наукові інтереси:

- розробка механізмів забезпечення національної безпеки несиловими методами;
- проблеми освіти вищої школи України.

СОБОЛЕНКО Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- просторово-часова обробка сигналів в антенних решітках.

НОСОВА Ганна Дмитрівна – ад’юнкт Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- цифрові антенні решітки;

- радіоелектронний захист радіоелектронних засобів.
Тел.: (097)660-37-37.
E-mail: nunya_13@mail.ru

Подано 10.06.2011

