

УДК 621.396.96

В.В. Бурцев, М.Ю. Труш, П.Ю. Севч, Є.В. Бесов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ГРУПОВОЇ ЦІЛІ МОНОІМПУЛЬСНИМ ПЕЛЕНГАТОРОМ РЛС СУПРОВОДЖЕННЯ

На основі аналізу сигналів в приймальних каналах моноімпульсного пеленгатора РЛС супроводження запропонований метод вимірювання кутових розмірів групової цілі в горизонтальній та вертикальній площинах, та перетворення їх у геометричні розміри, що дозволяє відрізнити групову ціль від одиночної та тим самим забезпечувати бойову обслугу ЗРК достовірною інформацією про складність цілі, що підлягає обстрілу.

Ключові слова: РЛС супроводження, моноімпульсний пеленгатор, кутові розміри, геометричні розміри, групову ціль.

Вступ

Постановка задачі. Чим глибше вивчається досвід минулих війн, тим більше і частіше загострюються задачі, які раніше не були вирішені в достатній мірі і зараз їх вирішенню не приділено достатньої уваги. Одною з них є задача розпізнавання виду виявленої цілі РЛС супроводження на командному пункті зенітного ракетного дивізіону для обґрунтованого прийняття рішення щодо порядку її обстрілу відповідно до рекомендацій Правил стрільби зенітними керованими ракетами.

За видами цілі поділяють на одиночні, групові і групи цілей. Під групою цілей для РЛС супроводження розуміють складну ціль з декількох літаків, що розділяється на окремі відмітки хоча б за одною з координат вимірювання. Групова ціль – ціль з декількох літаків, що не розділяються ні за жодною координатою вимірювання.

Задача розпізнавання групової цілей РЛС супроводження поки залишається складною, тому що в багатьох випадках групову ціль приймають за одиночну, а тому при прийнятті рішення по її знищенню не обґрунтовано визначається недостатня кількість засобів ураження.

Задача визначення виду цілі завжди була одною з важливих і технічно складних. В РЛС супроводження попередніх зразків таку задачу вирішували шляхом одночасного аналізу ряду додаткових ознак, а саме:

- по величині відмітки прийнятого сигналу цілі;
- по ефективній поверхні відбиття цілі за даними о співвідношенні сигнал/шум в приймальному тракті РЛН і дальності до цілі;
- по виду спектру відбитого сигналу;
- за даними апаратури звукової індикації.

На жаль в сучасних багатоканальних РЛС супроводження з часовим розділом каналів можливість отримати таку кількість ознак та їх аналізувати не має по ряду причин. Так відсутні вбудовані спектроаналізатори сигналів цілей, відповідна апаратура

звукової індикації, не передбачене спеціальне вимірювання співвідношення сигнал/шум.

Тому пропонується підхід до визначення ознак групової цілі через вимірювання їх геометричних вертикальних та горизонтальних розмірів.

Мета статті. Розробка пропозицій щодо вимірювання геометричних розмірів групової цілі в РЛС супроводження з сумарно-різницевою обробкою сигналів і обґрунтування структури вимірювача.

Основна частина

Аналіз і обґрунтування принципу і структури вимірювача геометричного розміру групової цілі проведемо на прикладі супроводження двох цілей моноімпульсною РЛС супроводження.

З початку розглянемо можливості супроводження групової цілі (з двох літаків) пеленгатором моноімпульсною РЛС супроводження.

Антену пеленгатора радіолокатора формує у просторі по дві парціальних діаграми спрямованості в кожній площині вимірювання координат горизонтальній (β) і вертикальній (ϵ). Враховуючи повну симетрію вимірювання координат цілі в площинах β і ϵ розгляд обробки сигналів проведемо для однієї площини вимірювання узагальненої координати θ .

Будемо вважати, що відбиті сигнали цілей між собою некогерентні, а кутовий розмір групової цілі відносно пеленгатора радіолокатора наведення не перевищує лінійній частині крутизни пеленгаційної характеристики.

Нехай маємо (рис. 1) у парціальних діаграмах спрямованості $F_I = F(\theta - \theta_0)$ і $F_{II} = F(\theta + \theta_0)$ моноімпульсного пеленгатора з сумарно-різницевою обробкою дві цілі під кутами θ_1 і θ_2 відносно рівносигнального напрямку (РСН), а тому на кожному приймальному рупорі антени буде існувати сума сигналів двох випромінювачів $u_{Ц1}(t)$ і $u_{Ц2}(t)$.

Тоді відповідно до [1] можна записати: сигнал у приймальному рупорі першій діаграмі спрямованості F_I :

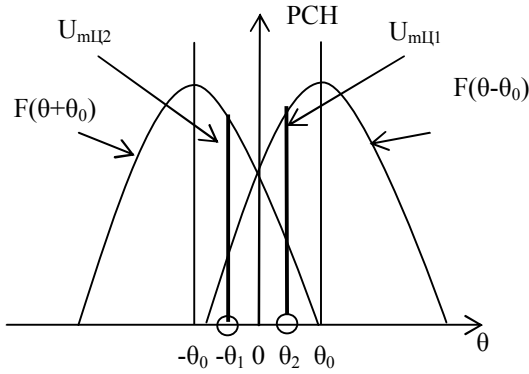


Рис. 1. Парціальні діаграми спрямованості $F_I = F(\theta - \theta_0)$ і $F_{II} = F(\theta + \theta_0)$

$$u_I = u_{Ц1}(t) + u_{Ц2}(t) = U_{Ц1}F_0(1 + \mu\theta_{Ц1})\cos\omega_1 t + U_{Ц2}F_0(1 - \mu\theta_{Ц2})\cos\omega_2 t;$$

– сигнал у приймальному рупорі другий діаграмі спрямованості F_{II}

$$u_{II} = u_{Ц1}(t) + u_{Ц2}(t) = U_{Ц1}F_0(1 - \mu\theta_{Ц1})\cos\omega_1 t + U_{Ц2}F_0(1 + \mu\theta_{Ц2})\cos\omega_2 t,$$

де $U_{Ц1}$ і $U_{Ц2}$ – амплітуди сигналів двох цілей, що змінюються за часом; $\theta_{Ц1}$ і $\theta_{Ц2}$ – кутові відхилення першої і другої цілі від рівносигнального напрямку антени пеленгатора; μ – крутизна пеленгаційної характеристики пеленгатора; ω_1 і ω_2 – кутові частоти сигналів двох цілей.

Після сумарно-різницевої обробки і перетворення на проміжні частоти формуються:

– різницевий сигнал виду

$$u_{\Delta} = u_I - u_{II} = F_0 2\mu(U_{m1}\theta_1 \cos\omega_{ПЧ1}t - U_{m2}\theta_2 \cos\omega_{ПЧ2}t); \quad (1)$$

– сумарний сигнал виду

$$u_{\Sigma} = u_I + u_{II} = U_{m1}F_0 2 \cos\omega_{ПЧ1}t + U_{m2}F_0 2 \cos\omega_{ПЧ2}t, \quad (2)$$

де $\omega_{ПЧ1}$ і $\omega_{ПЧ2}$ – проміжні кутові частоти сигналів випромінювачів. Ці сигнали підсилюються у приймальних різницевих і сумарному трактах, нормуються схемою автоматичного регулювання підсиленням (АРП) амплітудою $U_{\Sigma\max}$ сумарного каналу

$$u_{\Delta,н} = \frac{u_{\Delta}}{U_{\Sigma\max}} = \frac{u_I - u_{II}}{U_{\Sigma\max}}; \quad (3)$$

$$u_{\Sigma,н} = \frac{u_{\Sigma}}{U_{\Sigma\max}} = \frac{u_I + u_{II}}{U_{\Sigma\max}}. \quad (4)$$

де $U_{\Sigma\max} = U_{m1}F_0 + U_{m2}F_0$.

Надалі сигнали подаються на вихідні фазові детектори каналів автоматичного супроводження пеленгатора, де формуються сигнали похибок супро-

водження у вигляді напруги постійного току

$$\Delta\theta = u_{\Delta,н} \bar{\times} u_{\Sigma,н} \times U_0 = \frac{U_{m1}\mu\theta_1 + U_{m2}\mu\theta_2}{U_{m1} + U_{m2}} \times U_0, \quad (5)$$

де $\bar{\times}$ – знак перемноження двох сигналів та послідовний низькочастотний фільтрації; U_0 – амплітуда початкової вихідної напруги схеми АРП.

З формули (5) видно, що в наслідок не передбаченої у пеленгаторі можливості компенсації схемою АРП флуктуацій амплітуд сигналів двох цілей рівносигнальний напрямок пеленгатора буде блукати поблизу їх енергетичного центра випромінювання. А при наявності у приймальному тракті сигналу тільки одної цілі сигнал похибки супроводження буде пропорційний кутовому відхилення цієї цілі від рівносигнального напрямку антени пеленгатора (θ_0) і амплітудні флуктуації і зміни будуть скомпенсовані.

В [2] показано, якщо в приймальних трактах є два некогерентних сигнали різних випромінювачів, що знаходяться на малих відстанях, то при ортогональній їх обробці можна отримання інформацію про кутовий розмір пари випромінювачів. Але не показано як позбавитися залежності вихідного сигналу з інформацією про кутовий розмір від флуктуацій і змін амплітуд сигналів. Тому пропонується ввести у розглядаємий пеленгатор додаткову схему обробки вихідних сигналів приймальних трактів, яка дозволить вирішити наступні задачі:

1) ввести зсув за фазою між сигналами сумарного і різницевого каналів на $\pi/2$ за рахунок введення в сумарному каналі фазообертача [2];

2) виділити інформаційний сигнал шляхом обробки на додатковому фазовому детекторі (ФД) різницевого сигналу ортогональним сигналом сумарного каналу;

3) провести нормування сигналів приймальних каналів за амплітудою переформованим на фазовому детекторі ФД сигналом сумарного каналу, щоб позбавитися впливу зміни дальності до групової цілі і флуктуацій їх сигналів на результат вимірювання;

4) остаточно виділити інформацію про кутовий розмір.

Структурна схема вимірювання геометричних розмірів групової цілі надана на рис. 2.

Для вирішення першої задачі доцільно провести введенням фазообертача $\varphi = \pi/2$ в сумарний канал.

Тоді сумарний сигнал на виході фазообертача можна записати у вигляді

$$u_{\Sigma}^{\perp} = U_{m1}F_0 2 \sin\omega_{ПЧ1}t + U_{m2}F_0 2 \sin\omega_{ПЧ2}t. \quad (6)$$

Вирішення другої задачі потребує помноження різницевого сигналу з ортогональним сумарним сигналом наступним чином:

$$u_{\Delta}^{\perp} = u_{\Delta} \times u_{\Sigma}^{\perp} = (U_{m1}F_0 2\mu\theta_1 \cos\omega_{ПЧ1}t - U_{m2}F_0 2\mu\theta_2 \cos\omega_{ПЧ2}t) \times (U_{m1}F_0 2 \sin\omega_{ПЧ1}t + U_{m2}F_0 2 \sin\omega_{ПЧ2}t).$$

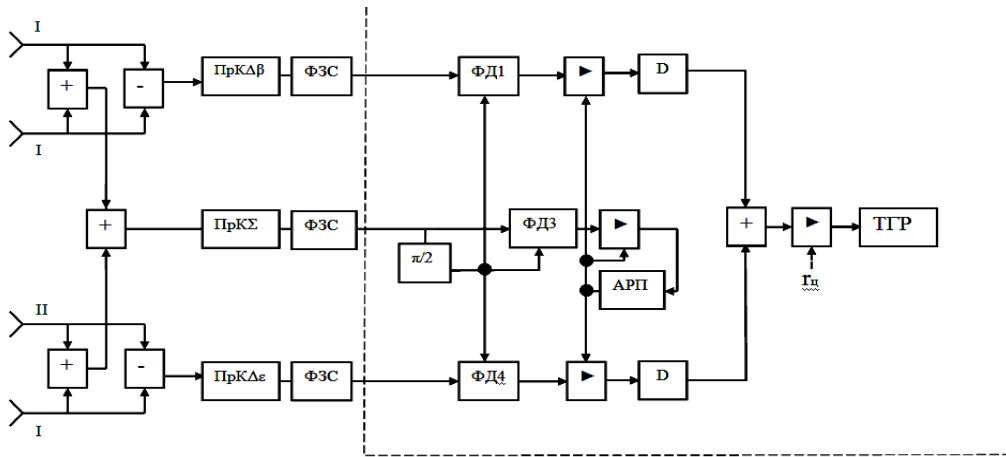


Рис. 2. Структурна схема пристрою вимірювання геометричних розмірів групової цілі

Після перетворень цієї формули і виділенням низькочастотних складових сигналів маємо

$$u_{\Delta}^{\perp} = U_{m1} U_{m2} F_0^2 2\mu(\theta_1 - \theta_2) \sin(\omega_{\text{ПЧ1}} - \omega_{\text{ПЧ2}})t. \quad (7)$$

Таку задачу можна вирішити на фазову детекторі, фільтр низьких частот якого повинний пропускати різницю проміжних кутових частот $\omega_{\text{ПЧ1}} - \omega_{\text{ПЧ2}}$ сигналів цілей.

Перетворений низькочастотний сигнал (7) має інформацію про кутовий розмір пари цілей, тому що (рис. 1) θ_2 має інший знак ніж θ_1 . Окрім того цей сигнал має залежність від добутку амплітуд сигналів цілей, що заважає безпосереднє використовувати інформацію про кутовий розмір.

Позбавлення залежності сигналу (7) від змін амплітуд досягається використанням схеми АРП по спеціально перетвореному сумарному сигналу, який має такий же математичний опис, але без інформації про кутовий розмір пари цілей.

Отримати такий сигнал можна шляхом перемноження прямого і ортогонального сумарних сигналів (2) і (6) на фазовому детекторі

$$\begin{aligned} u_{\Sigma}^2 &= u_{\Sigma} \bar{x} u_{\Sigma}^{\perp} = \\ &= (U_{m1} F_0 2 \cos \omega_{\text{ПЧ1}} t + U_{m2} F_0 2 \cos \omega_{\text{ПЧ2}} t) \bar{x} \\ & (U_{m1} F_0 2 \sin \omega_{\text{ПЧ1}} t + U_{m2} F_0 2 \sin \omega_{\text{ПЧ2}} t). \end{aligned}$$

Після перетворень цієї формули і виділення низькочастотних складових сигналів маємо

$$u_{\Sigma}^2 = 2U_{m1} U_{m2} F_0^2 \sin(\omega_{\text{ПЧ1}} - \omega_{\text{ПЧ2}})t. \quad (8)$$

На детекторі схеми АРП виділяється сигнал пропорційний амплітуді (8), який використовується для нормування перетвореного низькочастотного сигналу (7) так, що

$$\begin{aligned} u_{\Delta n}^{\perp} &= \frac{U_{m1} U_{m2} F_0^2 \mu(\theta_1 - \theta_2) \sin(\omega_{\text{ПЧ1}} - \omega_{\text{ПЧ2}})t}{U_{m1} U_{m2} F_0^2} \times U_0 = \\ &= U_0 \mu(\theta_1 - \theta_2) \sin(\omega_{\text{ПЧ1}} - \omega_{\text{ПЧ2}})t. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким чином, в амплітуді сигналу (9) є інформація про кутовий розмір пари цілей, яка не зале-

жить від дальності до них. Просте детектування сигналу (9) дозволяє виділити цю амплітуду для подальшого використання.

Для отримання геометричного розміру пари цілей достатньо кутовий розмір в кожній площині вимірювання помножити на дальність до групової цілі. В той же час слід зауважити, що дві цілей у просторі можуть займати між собою будь яке положення у картинній площині (як по горизонталі так і по вертикалі). Тому доцільно поєднати результати вимірювання у вертикальній та горизонтальній площині, наприклад, шляхом їх складання.

Аналіз і експериментальні дослідження показують, що розмір групової цілі у кожній площині вимірювання координат визначається положенням кінцевих блискучих точок відбиття сигналів поверхнями цілей. Тому при більшій кількості цілей у складі груповій геометричні розміри будуть визначатися крайніми блискучими точками крайніх літаків у кожній площині.

Висновок

Виявлення РЛС супроводження групової цілі існуючими методами дуже складна задача, а у деяких випадках практично неможлива. У той же час наявність у приймальних каналах моноімпульсного пеленгатора РЛС інформації про кутові розміри групової цілі в горизонтальній та вертикальній площинах дозволяє після відповідної її обробки визначити групову ціль за її геометричними розмірами.

Список літератури

1. Леонов А.И. Моноимпульсная радиолокация. 2-е изд., перераб. и доп. / А.И. Леонов, К.И. Фомичев. – М.: Радио и связь, 1984. – 312 с.
2. Вакин С.А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической защиты / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. – М.: Сов. радио, 1968. – 448 с.

Надійшла до редколегії 26.12.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ГРУППОВОЙ ЦЕЛИ
МОНОИМПУЛЬСНЫМ ПЕЛЕНГАТОРОМ РЛС СОПРОВОЖДЕНИЯ**

В.В. Бурцев, М.Ю. Труш, П.Ю. Севч, Е.В. Бесов

На основе анализа сигналов в приемных каналах моноимпульсного пеленгатора РЛС сопровождение предложен метод измерения угловых размеров групповой цели в горизонтальной и вертикальной плоскостях, и превращение их в геометрических размере, что позволяет отличать групповую цель от одиночной и тем самым обеспечивать боевое обслуживание ЗРК достоверной информацией о сложности цели, которая подлежит обстрелу.

Ключевые слова: РЛС сопровождение, моноимпульсный пеленгатор, угловые размеры, геометрические размеры, групповая цель.

**MEASURING OF GROUP TARGETS GEOMETRICAL SIZES
BY MONOIMPULSE ACCOMPANIMENT RADAR**

V.V. Burtsev, M.U. Trush, P.U. Sevch, E.V. Biesov

On the basis of analysis of signals in the receiving channels of monoimpulse accompaniment radar the offered method of measuring of angular sizes of group purpose in horizontal and vertical planes, and converting of them into geometrical size, that allows to distinguish a group purpose from single and to provide battle service of ЗРК by reliable information about complication of target, which is subject to the fire.

Keywords: RLS accompaniment, monoimpulsive direction finder, angular sizes, geometrical sizes, group purpose.