

УДК 621.396.96

В.В. Бурцев, О.А. Гуцол, В.О. Клімін

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## **ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ВИМІРЮВАЧА КУТОВИХ КООРДИНАТ ГРУПОВОЇ ЦІЛІ, ЩО НЕ РОЗДІЛЯЄТЬСЯ ЗА ДАЛЬНІСТЮ ТА ШВИДКІСТЮ, ДЛЯ АМПЛІТУДНОГО РАДІОПЕЛЕНГАТОРА З СУМАРНО РІЗНИЦЕВОЮ ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ**

*В статті розглядається розробка пропозицій щодо вимірювання куткових координат групової цілі, що не розділяється за дальністю та швидкістю амплітудним радіопеленгатором з сумарно різницевою обробкою сигналів і обґрунтування структури вимірювача.*

**Ключові слова:** сигнал, фазовий детектор, амплітудний радіопеленгатор, вимірювач.

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** Питанням аналізу досвіду бойових дій ЗРВ в локальних конфліктах присвячена велика кількість робіт. Чим глибше і ґрунтовніше вивчається досвід минулих воєн, тим більше і частіше виникають проблеми, які тоді не були вирішені в достатній мірі. Ці проблеми не зникли, а продовжують існувати.

На процес керування вогнем зенітного ракетного дивізіону впливає велика кількість факторів і умов, однак головним із них являється характер дій засобів повітряного нападу в зонах вогню зенітних ракетних угруповань. Характер цих дій у свою чергу залежать від льотно-тактичних характеристик і засобів бойового застосування пілотованої авіації і безпілотних засобів.

Досвід локальних війн показує, що для успішного прориву системи ППО літаками використовується декілька прийомів, з котрих найбільшу перевагу знайшли: польоти на гранично малих висотах для зменшення дальності їх виявлення радіолокаційними засобами ЗРК; дії щільними компактними групами літаків у зонах управління вогнем ЗРК для імітації великогабаритних літаків розвідки чи стратегічної авіації, а також для скритності кількості літаків в ударі.

Польоти на малих висотах приводять не тільки до значного скорочення дальності виявлення, але і до створення відбитих підстилаючею поверхнею дзеркальних сигналів цілі, які на розрізняються ні по жодній з координат з реальною ціллю.

Польоти компактними групами літаків можуть не тільки погіршити умови для правильної постановки завдань на їх знищення, але й до неможливості обстрілу компактною групи з двох літаків одним ЗРК, якщо їх сигнали не розрізняються за координатами, що вимірюються радіолокатором наведення.

**Мета статті.** Розробка пропозицій щодо вимірювання куткових координат групової цілі, що не розділяється за дальністю та швидкістю амплітудним радіопеленгатором з сумарно різницевою обробкою сигналів і обґрунтування структури вимірювача.

### **Основна частина**

Як відомо, на виході приймальних трактів амплітудного радіопеленгатора з сумарно різницевою обробкою сигналів існують сигнали всіх цілей, які є в діаграмах спрямованості антен, не розрізняються за дальністю та частотою Допплера і пройшли оптимальну фільтрацію.

Враховуючи симетрію в обробці сигналів в площинах азимута й кута місця надалі будемо розглядати тільки одну з них. Тому вихідні різницевої

$U_{\Delta}$  і сумарний  $U_{\Sigma}$  сигнали приймальних трактів після вузькосмугової фільтрації можна описати такими формулами [1]:

$$U_{\Delta} = U_{m1} \mu \theta_1 \cos \omega_1 t + U_{m2} \mu \theta_2 \cos \omega_2 t;$$

$$U_{\Sigma} = U_{m1} \cos \omega_1 t + U_{m2} \cos \omega_2 t,$$

де  $U_{m1}$ ,  $U_{m2}$  – амплітуди двох сигналів цілей;  $\mu$  – крутизна пеленгаційної характеристики радіолокатора;  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  – кути відхилення напрямків на цілі відносно рівносигнального напрямку (РСН) антени.

В наслідок близькості частот  $\omega_1$  і  $\omega_2$  сигналів після обробки різницевого сигналу сумарним на фазовому детекторі сигналу похибки пеленгатора виникають такі сигнали: сигнал постійного току, пропорційний сумі  $U_{m1} \mu \theta_1 - U_{m2} \mu \theta_2$ ; сигнал низької частоти  $(U_{m1} \mu \theta_1 - U_{m2} \mu \theta_2) \sin(\omega_1 - \omega_2)$ ; сигнал низької частоти  $(U_{m1} \mu \theta_1 + U_{m2} \mu \theta_2) \cos(\omega_1 - \omega_2)$ .

Низькочастотні складові вихідного сигналу звичайно фільтруються у системі автоматичного супроводження за кутовими координатами, і тому рівносигнальний напрямок антени буде проходити між напрям-

$$U_{\Delta} * U_{\Sigma} = (U_{m1} \mu \theta_1 \cos \omega_1 t + U_{m2} \mu \theta_2 \cos \omega_2 t) * [U_{m1} \cos(\omega_1 t + \frac{\pi}{4}) + U_{m2} \cos(\omega_2 t + \frac{\pi}{4})] =$$

$$2U_{m1} \mu \theta_1 \cos \omega_1 t \cos(\omega_1 t + \frac{\pi}{4}) + U_{m1} U_{m2} \mu \theta_1 \cos \omega_1 t \cos(\omega_2 t + \frac{\pi}{4}) + U_{m1} U_{m2} \mu \theta_2 \cos(\omega_1 t + \frac{\pi}{4}) \cos \omega_2 t +$$

$$2U_{m2} \mu \theta_2 \cos \omega_2 t \cos(\omega_2 t + \frac{\pi}{4}) = U_{m1} U_{m2} \mu \theta_1 \cos(\Delta \omega t - \frac{\pi}{4}) + U_{m1} U_{m2} \mu \theta_2 \cos(\Delta \omega t + \frac{\pi}{4}) = \sqrt{2} U_{m1} U_{m2} \mu \theta_1 (\cos + \sin \Delta \omega t) + \sqrt{2} U_{m1} U_{m2} \mu \theta_2 (\cos \Delta \omega t - \sin \Delta \omega t) = U_{m1} U_{m2} \frac{\sqrt{2}}{2} \mu [(\theta_1 + \theta_2) \cos \Delta \omega t + (\theta_1 - \theta_2) \sin \Delta \omega t].$$

На виході фазового детектора сигналу похибки (ФДП) сигнал буде пропорційний такої сумі сигналів:  $U_{\text{ФД}} \equiv U_{m1} \mu \theta_1 - U_{m2} \mu \theta_2 + U_{m1} U_{m2} \mu [(\theta_1 - \theta_2) \sin(\omega_1 - \omega_2) + (\theta_1 + \theta_2) \cos(\omega_1 - \omega_2)]$ .

Різниця  $U_{m1} \mu \theta_1 - U_{m2} \mu \theta_2$  зводиться до нуля в наслідок роботи системи автоматичного супроводження за кутовими координатами:

$$U_{\Delta}' = U_{m1} U_{m2} \frac{\sqrt{2}}{2} \mu [(\theta_1 + \theta_2) \cos \Delta \omega t + (\theta_1 - \theta_2) \sin \Delta \omega t],$$

$$U_{\Sigma}^2 = (U_{m1} \cos \omega_1 t + U_{m2} \cos \omega_2 t)^2 = 2U_{m1} U_{m2} \cos \Delta \omega t + 2U_{m1} U_{m2} \cos \Delta \omega t = 2U_{m1} U_{m2} \cos \Delta \omega t.$$

Для того щоб позбавитися залежності амплітуди сигналу за рахунок зміни дальності та флуктуації бажано використати схему автоматичного регулювання підсилення (АРП), яка проведе нормировку прийнятих сигналів амплітудою сигналу сумарного каналу.

Сигнали регулювання підсилювачів, що охоплюються схемою АРП, набувають такої форми:

$$U_{\text{АРУ}} = U_{m1} U_{m2} * K_{\text{АРУ}}.$$

Тоді на виходах цих підсилювачів у різницевому і сумарному каналах будемо мати наступні сигнали:

$$U_{\Delta}'' = U_{\Delta}' * K_{\text{АРУ}\Delta} = U_0 \frac{\sqrt{2}}{2} \mu [(\theta_1 + \theta_2) \cos \Delta \omega t + (\theta_1 - \theta_2) \sin \Delta \omega t];$$

$$U_{\Sigma}'' = U_{\Sigma}' * K_{\text{АРУ}\Sigma} = 2U_0 (\cos \Delta \omega t).$$

$$U_{\Sigma}'' * U_{\Delta}'' = 2U_0 (\cos \Delta \omega t) * U_0 \frac{\sqrt{2}}{2} \mu [(\theta_1 + \theta_2) \cos \Delta \omega t + (\theta_1 - \theta_2) \sin \Delta \omega t] = \sqrt{2} U_0^2 \mu [(\theta_1 + \theta_2) \cos^2 \Delta \omega t + (\theta_1 - \theta_2) \sin \Delta \omega t * \cos \Delta \omega t] = \frac{\sqrt{2}}{2} U_0^2 \mu (\theta_1 + \theta_2);$$

ками на обидві цілі, але ближче до тої цілі, сигнал якої сильніший. У цьому напрямку буде потім наводитися зенітна керована ракета. Розрахунки показують, якщо відстань між цілями по фронту відносно РЛС лежить в межах 200 – 500 м ракета пролетить мимо них і на встигне компенсувати промах, хоча на кінцевій ділянці польоту виникне розділення цілей бортовим координатором за кутовими координатами.

Стоїть задача розділити сигнали першої і другої цілей за якимось ознаками. В існуючій системі обробці сигналів таке розділення неможливе.

Для того щоб розділити ці сигнали пропонується у сумарному каналі встановити фазообертач на  $\pi/4$ . Тоді сумарний сигнал набуває такої форми:

$$U_{\Sigma, \pi/4} = U_{m1} \cos(\omega_1 t + \frac{\pi}{4}) + U_{m2} \cos(\omega_2 t + \frac{\pi}{4}).$$

Якщо цей сигнал подати на фазовий детектор сигналу похибки де він перемножується з різницевим сигналом  $U_{\Delta} = U_{m1} \mu \theta_1 \cos \omega_1 t + U_{m2} \mu \theta_2 \cos \omega_2 t$ , то буде отриманий такий результат:

де  $\Delta \omega = (\omega_1 - \omega_2)$ .

Для того щоб отримати сигнал потрібний опорний сигнал у сумарному каналі необхідно взвести в квадрат сигнал сумарного каналу, в якому відсутня залежність сигналу від координат цілі, на квадратурному детекторі (КД) чи фазовому детекторі (ФД), який працює в режимі квадратурного детектування. Тоді на виході сумарного каналу сигнал буде виглядати так:

У квадратних скибках функції різницевого сигналу є інформація о кутових координатах обох цілей, яка закладена в амплітудах ортогональних складових. Для знаходження цих координат необхідно сформулювати і вирішити два рівняння  $(\theta_1 - \theta_2)$  і  $(\theta_1 + \theta_2)$  відносно  $\theta_1$  і  $\theta_2$ .

Звернувши увагу на те, що ці два сигнали здвигнуті по фазі на  $\pi/2$ , необхідно для їх роздільного виділення можна використати додаткові два фазових детектора, на які подати опорними ортогонально здвигнуті по фазі на  $(\pi/2)$  сигнали сумарного каналу  $2U_0 \sin(\Delta \omega)$  і  $2U_0 \cos(\Delta \omega)$ .

Після обробки сигналів на фазових детекторах другого ряду маємо:

$$U_{\Delta}^* \cdot U_{\Sigma/2}^* = U_0 \frac{\sqrt{2}}{2} \mu [(\theta_1 + \theta_2) \cos \Delta \omega t + (\theta_1 - \theta_2) \sin \Delta \omega t] * 2U_0 (\sin \Delta \omega t) = \sqrt{2} U_0^2 \mu ((\theta_1 + \theta_2) \cos \Delta \omega t * \sin \Delta \omega t + (\theta_1 - \theta_2) \sin^2 \Delta \omega t) = \frac{\sqrt{2}}{2} U_0^2 \mu (\theta_1 - \theta_2).$$

Таким чином, є два сигнали з двома координатами, які потрібно виділити. Якщо ці сигнали подати одночасно на сумуючий каскад, то на його виході буде отримана координата  $\theta_1$ , а якщо ці сигнали подати одночасно на каскад віднімання, то буде отримана координата  $\theta_2$ . Це координати двох цілей в одній площині. Для вертикальній площині це будуть координати  $\epsilon_1$  і  $\epsilon_2$  відповідно до номерів визначених цілей.

Для отримання координат кожної з двох цілей в інший (ортогональний) площині потрібно мати ще

один такий пристрій, який потрібно підключити до ФЗС другого різницевого каналу радіолокатора з миттєвим порівнянням сигналів.

Для горизонтальній площині це будуть координати  $\beta_1$  і  $\beta_2$  відповідно.

Структурна схема вимірювання координат двох цілей, які не розрізняються за координатами в радіолокаторі з амплітудною сумарно-ріницевою обробкою сигналів, за визначеним алгоритмом обробки надана на рис. 1.

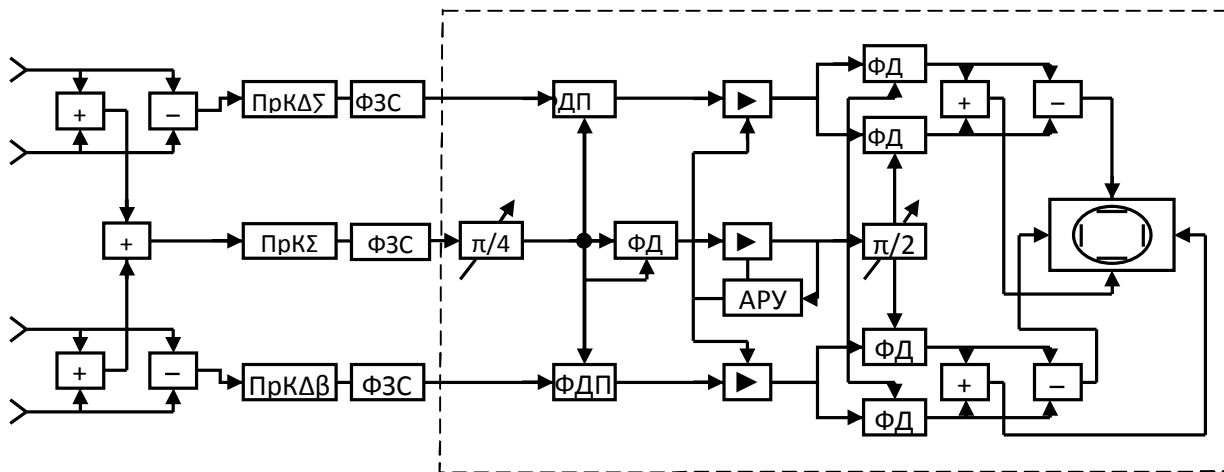


Рис. 1. Структурна схема пристрою виявлення групової цілі

Сигнали з вихідних пристроїв (складання та віднімання) виводяться на екран індикатора (рис. 2) і з достатньою точністю розрізнити цілі на екрані.

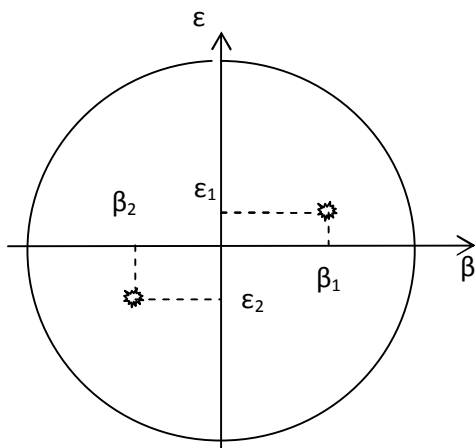


Рис. 2. Вигляд екрана індикатора

## ВИСНОВОК

В даній статті був описаний алгоритм обробки сигналів вимірювання координат цілей зі складу групи, які не розділяються за кутовими координатами, за дальністю та за швидкістю амплітудним ра-

діопеленгатором з сумарно-ріницевою обробкою сигналів.

Обґрунтована структура пристрою і способи відображення кутових координат цілей. За допомогою такого пристрою можна вирішити проблему роздільного знищення цілей з складу групи, якщо такий пристрій встановити в координатор системи наведення ракет і корегувати наведення ракети на визначену ціль.

Це, безумовно, дасть зменшення втрат ракет і збільшення імовірності знищення групових цілей, а також маловисотних цілей на фоні дзеркальних сигналів підстилючої поверхні.

## 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.: Советское радио, 1968. – 448 с.

Надійшла до редколегії 14.02.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ ГРУППОВОЙ ЦЕЛИ, КОТОРАЯ НЕ РАЗДЕЛЯЕТСЯ ЗА ДАЛЬНОСТЬЮ И СКОРОСТЬЮ, ДЛЯ АМПЛИТУДНОГО РАДИОПЕЛЕНГАТОРА С СУММАРНО РАЗНОСТНОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ**

В.В. Бурцев, О.А. Гуцол, В.О. Климин

*В статье рассматривается разработка предложений относительно измерения угловых координат групповой цели, которая не разделяется за дальностью и скоростью амплитудным радиопеленгатором с суммарно разностной обработкой сигналов и обоснования структуры измерителя.*

***Ключевые слова:** сигнал, фазовый детектор, амплитудный радиопеленгатор, измеритель.*

**GROUND OF STRUCTURE OF MEASURING DEVICE OF ANGULAR CO-ORDINATES OF GROUP PURPOSE WHICH IS NOT DIVIDED AFTER DISTANCE AND SPEED, FOR PEAK DIRECTION-FINDER WITH TOTALLY RAZNOSTNOY TREATMENT OF SIGNALS**

V.V. Burcev, O.A. Gucol, V.O. Klimin

*In the article development of suggestions is examined in relation to measuring of angular co-ordinates of group purpose which is not divided after distance and speed a peak direction-finder with totally differential treatment of signals and ground of structure of measuring device.*

***Keywords:** signal, phase detector, peak direction-finder, measuring device.*