

## ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ

УДК 621.396.967.2

І.І. Обод, І.Л. Страшний, О.Й. Григус

**ПОТЕНЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ СТАНЦІЇ  
ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛЕЙ ЗЕНІТНОГО ГАРМАТНО-РАКЕТНОГО  
КОМПЛЕКСУ «ТУНГУСКА» З ВИЯВЛЕННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ  
КООРДИНАТ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ**

*Наводиться порівняльний аналіз потенційних показників якості виявлення та вимірювання координат повітряних цілей при введенні до складу станції виявлення цілей зенітного гарматно-ракетного комплексу (ЗГРК) «Тунгуска» автоматичного виявлювача-вимірювача.*

**Постановка проблеми та аналіз літератури**

Короткочасність знаходження повітряних цілей (ПЦ) у зоні видимості станції виявлення цілей (СВЦ) зенітного гарматно-ракетного комплексу (ЗГРК) «Тунгуска» висуває тверді вимоги до часових витрат, які необхідні для вирішення завдань, покладених на СВЦ. До основних завдань СВЦ можна віднести:

- виявлення і вимірювання координат ПЦ;
- визначення можливості входження цілі в зону дії вогневих засобів ЗГРК;
- визначення державної приналежності (ДП) виявлених цілей;
- видача координат цілей на вогневі засоби ЗГРК.

Вирішення зазначених завдань оператором здійснюється на основі інформації СВЦ, утвореної первинним радіолокаційним каналом (що працює за луна-сигналами) і вторинним радіолокаційним каналом, утвореним наземним запитувачем системи радіолокаційного розпізнання (РЛР). Участь оператора у вирішенні цих завдань істотно збільшує часові витрати і, як наслідок, знижує ефективність інформаційного забезпечення даного комплексу.

Перехід на цифрову обробку сигналів у СВЦ і реалізація апаратури первинної обробки інформації (АПОІ) [1] дозволяє перейти до алгоритмічного розв'язання даних задач у спецобчислювачі. Наявність у складі СВЦ первинного і вторинного каналів вимагає двоканальної побудови АПОІ [2], що припускає об'єднання інформації, яка видається цими каналами СВЦ, для виключення вогневого впливу по «своїх» літальних апаратах.

**Мета статті** – аналіз показників якості виявлення і вимірювання координат ПЦ первинним і вторинним каналами СВЦ.

**Основна частина**

Відомо, що СВЦ, як будь-який з радіолокаторів виявлення цілей [2], містить первинний і вторинний канали. Отже, структуру АПОІ можна подати у вигляді, наведеному на рис. 1.

Вирішення першого та другого завдань базується на роботі первинного каналу СВЦ. Він за результатами обробки пачки луна-сигналів здійснює виявлення і вимірювання координат ПЦ. Це дозволяє вирішити перше завдання.

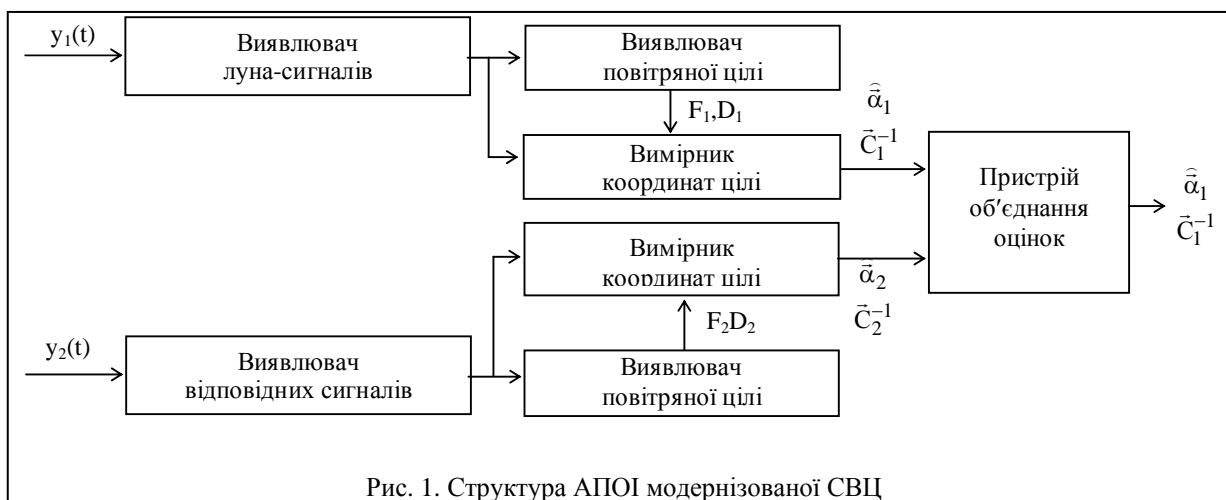


Рис. 1. Структура АПОІ модернізованої СВЦ

Вимірювання координат ПЦ хоча б у двох періодах огляду дозволяє вирішити друге завдання, тобто визначити можливість входження розглядуваної цілі в зону вогневого впливу комплексу.

Третє завдання вирішується шляхом включення наземного запитувача системи РЛР. АПОІ цього каналу здійснює виявлення і вимірювання координат ПЦ за відповідними сигналами. Виміряні координати ПЦ первинним ( $\bar{\alpha}_1$ ) і вторинним ( $\bar{\alpha}_2$ ) каналами надходять у пристрій об'єднання, де за результатами порівняння координат формується ознака «своїх» цілей, які на вихід блоку об'єднання не видаються. При відсутності такого порівняння, тобто відсутності координат ПЦ, які видаються вторинним каналом, ціль вважається «чужою». У цьому випадку координати ПЦ, отримані по первинному каналу, видаються на вихід пристрою об'єднання, тобто споживачеві інформації.

Автоматичні виявлювачі та вимірники координат цілей будуються, як правило, на аналізі й обробці пачок приймальних сигналів, тобто коли корисний сигнал є послідовністю періодично повторюваних імпульсів. Оскільки виграш у пороговому відношенні сигнал–шум за потужністю при багаторівневому квантуванні порівняно з двійковим квантуванням не перевищує 1 дБ, то використання багаторівневого квантування при виявленні цілей позбавлено практичного смислу. Аналогічне твердження стосується і вимірювання координат цілей, оскільки багаторівневе квантування сигналів незначно підвищує точність оцінки координат цілі порівняно з бінарним квантуванням, але значно ускладнює технічну реалізацію вимірника.

У кожному з каналів АПОІ (рис. 1) приймальні сигнали після лінійної обробки і детектування порівнюються в пороговому пристрої з порогом. Після виявлення сигналів на подальшу обробку надходить реалізація  $x_i = 1$ , якщо в елементі часового розділення відбулося перевищення порога; якщо ж не відбулося, то  $x_i = 0$ . Для ухвалення рішення про наявність або відсутність ПЦ у виявлювачі цілі обробці піддається сукупність нулів і одиниць  $x_i$ , загальною кількістю  $M$ . На основі цієї обробки формується відношення правдоподібності (ВП), яке порівнюється з порогом, обраним відповідно до припустимої ймовірності хибної тривоги. Функції правдоподібності для гіпотез наявності ( $H_1$ ) і відсутності ( $H_0$ ) сигналу у вторинному каналі АПОІ можна записати в такому вигляді:

$$L(x_i | H_1) = \prod_{i=1}^M (P_o P_{c3}(x_i))^{x_i} [1 - P_o P_{c3}(x_i)]^{1-x_i}; \quad (1)$$

$$L(x_i | H_0) = \prod_{i=1}^M P_3^{x_i}(x_i) [1 - P_3(x_i)]^{1-x_i}, \quad (2)$$

де  $P_o$  – коефіцієнт готовності (КГ) літакового відповідача системи РЛР [3];

$P_{c3}$  – імовірність виявлення при наявності сигналу до завади;

$P_3$  – імовірність виявлення при наявності завади.

Використовуючи (1) і (2), ВП можна записати як

$$l(x_i) = \frac{L(x_i | H_1)}{L(x_i | H_0)} =$$

$$= \prod_{i=1}^M \left( \frac{[P_o P_{c3}(x_i)]}{P_3(x_i)} \right)^{x_i} \left( \frac{1 - P_o P_{c3}(x_i)}{1 - P_3(x_i)} \right)^{1-x_i} \geq l_0. \quad (3)$$

Логарифмуючи (3) і переутворюючи отриманий результат, одержимо

$$\sum_{i=1}^M x_i \eta_i \geq C, \quad (4)$$

$$\text{де } \eta_i = \ln \frac{P_o P_{c3}(x_i) [1 - P_o P_{c3}(x_i)]}{P_3(x_i) [1 - P_3(x_i)]};$$

$$C = \ln l_0 - \sum_{i=1}^M \frac{1 - P_o P_{c3}(x_i)}{1 - P_3(x_i)}.$$

Таким чином, алгоритм оптимального виявлення повітряної цілі вторинним каналом (4) зводиться до підсумовування вагових коефіцієнтів  $\eta_i$ , які визначаються формою діаграми спрямованості антени вторинної РЛС і КГ літакового відповідача, що відповідають позиціям пачки, де  $x_i = 1$ . При  $P_o = 1$  вищевикладений алгоритм є алгоритмом виявлення ПЦ первинним каналом АПОІ.

Якщо припустити, що  $P_{c3}(x_i)$  однакове в межах усієї ширини діаграми спрямованості (пачка приймальних сигналів має прямокутну форму), то алгоритм (4) зводиться до підрахунку кількості одиниць у межах ширини діаграми спрямованості.

Одержимо розрахункові вирази для показників якості виявлення ПЦ. Для вторинного каналу імовірність проходження  $n$ -імпульсного відповідного сигналу через дешифратор  $D_d$ , з урахуванням впливу КГ літакового відповідача, можна визначити як  $D_d = P_o P_{11}^n$ , де  $P_{11}$  – імовірність виявлення одиночних сигналів.

Імовірність виявлення ПЦ цим каналом можна записати як

$$D = \sum_{i=C}^M C_M^i (P_o P_{11}^n)^i (1 - P_o P_{11}^n)^{M-i}. \quad (5)$$

Вважаючи  $n = 1$  і  $P_o = 1$ , одержуємо розрахунко-

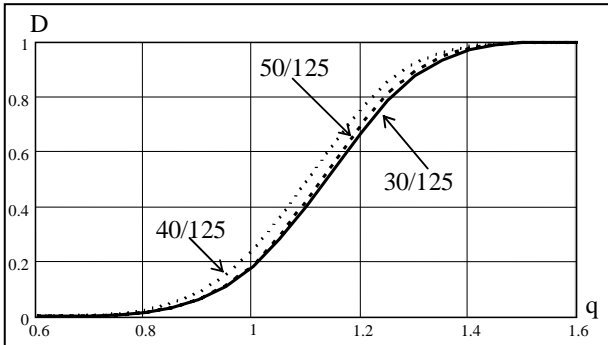


Рис. 2. Показники якості виявлення ПЦ первинним каналом СВЦ

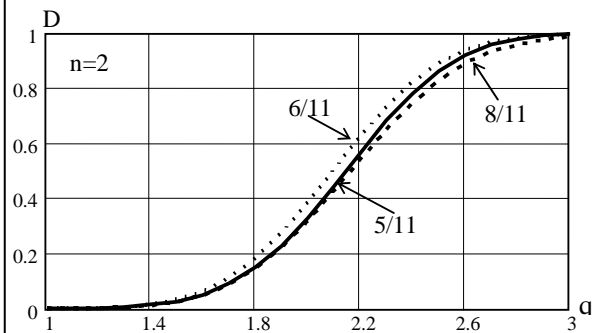


Рис. 3. Показники якості виявлення ПЦ вторинним каналом СВЦ

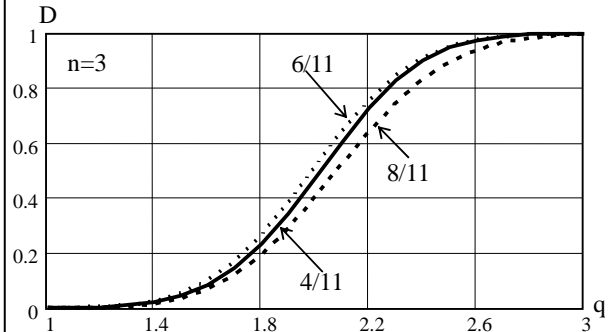


Рис. 4. Показники якості виявлення ПЦ вторинним каналом СВЦ

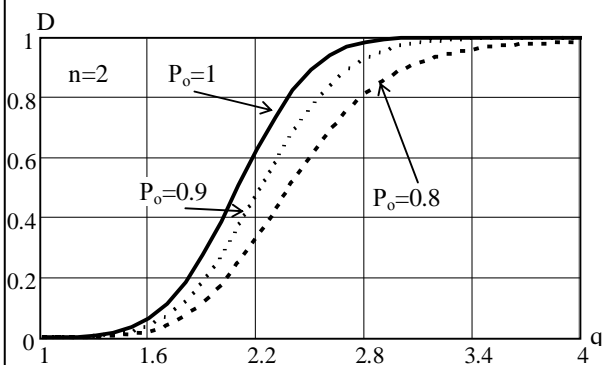


Рис. 5. Вплив КГ відповідача на якість виявлення ПЦ вторинним каналом СВЦ

ві співвідношення для показників якості виявлення ПЦ первинним каналом АПОІ.

Результати розрахунку імовірності виявлення повітряної цілі первинним каналом АПОІ при  $F = 10^{-6}$  наведені на рис. 2. Як впливає з представлених залежностей, оптимальним цифровим порогом виявлення ПЦ первинним каналом АПОІ є 40.

На рис. 3 наведені результати розрахунку імовірності виявлення повітряної цілі вторинним каналом АПОІ, при використанні існуючої системи РЛР, а на рис. 4 – міжнародні системи держрозпізнавання МК-12.

Порівняльний аналіз якості виявлення повітряної цілі вторинним каналом АПОІ показує:

оптимальний цифровий поріг виявлення ПЦ вторинним каналом АПОІ відповідає 6;

використання міжнародної системи держрозпізнавання дозволяє одержати незначний вигреш у пороговому відношенні сигнал–шум, обумовлений використанням триімпульсного відповідного сигналу.

На рис. 5 наведено вплив КГ літакового відповідача на якість виявлення ПЦ вторинним каналом.

З виходу виявлювачів сигналів первинного і вторинного каналів АПОІ послідовність нулів і одиниць надходить на вхід вимірника координат ПЦ відповідного каналу. Вимірювання кутових координат, зокрема азимуту, здійснюється шляхом аналізу пачки бінарно-квантованих імпульсів. Дисперсію помилки вимірювання азимуту вторинним каналом АПОІ можна оцінити за допомогою нижньої межі Крамера-Рао, яка для розглянутого випадку визначається відповідно до такого виразу [2]:

$$\frac{\sigma}{\Delta\beta} = \frac{\phi^2 \exp(z_1^2 / 2)}{2\sqrt{2}z_0q_0P_0} \left\{ \sum_{k=1}^{(M-1)/2} g^2(k) \exp(-q_k^2) k^2 I_1(z_1 q_k) B_i \right\}^{1/2},$$

$$\text{де } B_i = \sum_{i=0}^n \frac{[P_{11}^{1-i}(k)P_{10}^{n-i-1}(k)(i-nP_{11}(k))]^2}{P_0 P_{11}^i(k) P_{10}^{n-i}(k) + (1-P_0) P_{01}^i(1-P_{01})^{n-i}};$$

$\phi$  – ширина діаграми спрямованості антени вторинного каналу;

$z_1$  – поріг виявлення сигналів у вторинному каналі;

$P_{10}$  – імовірність пропускання сигналу;

$P_{01}$  – імовірність помилкового виявлення сигналу;

$\Delta\beta$  – кутова відстань між зондуваннями.

Вважаючи  $n = 1$  і  $P_0 = 1$ , одержуємо розрахункові співвідношення для показників якості вимірювання кутових координат первинного каналу АПОІ.

Результати розрахунку СКП вимірювання кут-

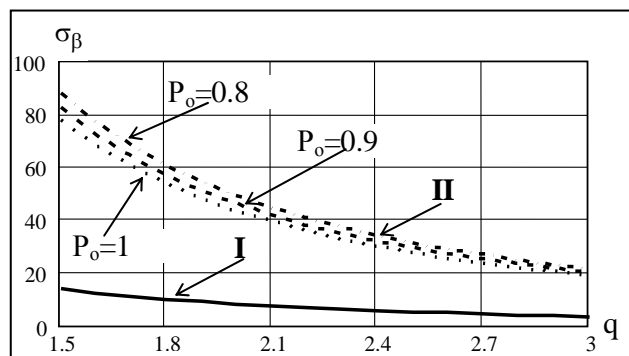


Рис. 6. Помилки вимірювання азимута первинним та вторинним каналами

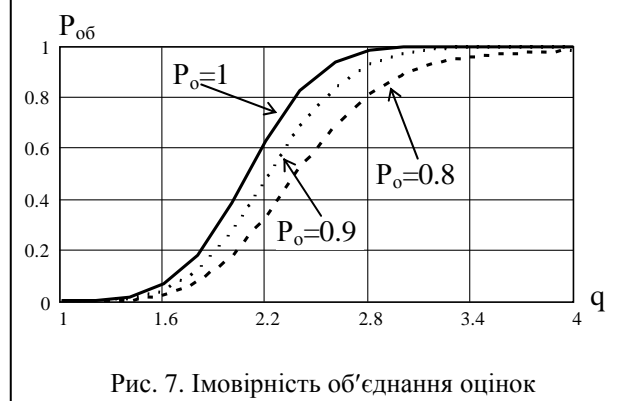


Рис. 7. Імовірність об'єднання оцінок

вої координати первинним (I) і вторинним (II) каналами АПОІ наведені на рис. 6.

Представлені залежності показують таке:

КГ літакового відповідача впливає на точність вимірювання азимуту вторинним каналом АПОІ;

точність вимірювання азимуту первинним каналом істотно вища (у 5 разів) за точність вимірювання азимуту вторинним каналом, що обумовлено малою кількістю імпульсів у пачці вторинного каналу.

Порівняння координат ПЦ, отриманих первинним і вторинним каналами АПОІ, дозволяє виключити вогневий вплив по «своїх» цілях. Вирішення цього завдання ґрунтується на виявленні ПЦ первинним і вторинним каналами й об'єднанні оцінок координат ПЦ. Будемо вважати, що відхилення координат у первинному і вторинному каналах АПОІ незалежні та підлягають нормальному розподілу. При такій постановці питання імовірність об'єднання оцінок можна визначити як

$$P_{об} = \frac{1}{4} \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\delta\theta}{\sqrt{2} \sqrt{\sigma_{\theta 1}^2 + \sigma_{\theta 2}^2}} \right) \right] \times \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\delta r}{\sqrt{2} \sqrt{\sigma_{r 1}^2 + \sigma_{r 2}^2}} \right) \right],$$

де  $\Phi(x)$  – інтеграл імовірності;

$\delta\theta$  і  $\delta r$  – міри розділення за азимутом і дальністю;

$\sigma_{\theta 1}$  і  $\sigma_{\theta 2}$  ( $\sigma_{r 1}$  і  $\sigma_{r 2}$ ) – помилки визначення азимуту (дальності) первинного та вторинного каналів АПОІ відповідно.

Розрахунки імовірності об'єднання оцінок представлені на рис. 7.

Розрахунки показують істотний вплив КГ літакового відповідача на імовірність виключення з вогневого впливу «своїх» літальних апаратів.

### Висновки

Таким чином, модернізація СВЦ ЗГРК «Тунгуска» за рахунок введення до її складу автоматичного виявлювача-вимірювача координат ПЦ дозволяє:

наблизити якість виявлення і вимірювання координат до потенційно можливого;

виключити з процесу виявлення вимірювання координат ПЦ та аналізу можливості входження ПЦ у зону дії вогневих засобів комплексу оператора.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аппаратура первичной обработки радиолокационной информации. Стандарт СЭВ 3201-81. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 17 с.
2. Теоретичні основи побудови завадозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков та ін. – К.: МОУ, 2004. – 271 с.
3. Обод И.И. Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации. – М.: ЦНТИ, 1998. – 119 с.

Надійшла 11.01.2006

Рецензент: д-р техн. наук доцент Г.В. Єрмаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба.