

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

КУЦЕНКО ВОЛОДИМИР ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 621.396.962.4(043.3)

МЕТОД ЗНИЖЕННЯ ЧАСУ ПОШУКУ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ  
ЗЕНІТНО-РАКЕТНИМ КОМПЛЕКСОМ В УМОВАХ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО  
ПОДАВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ  
ПАСИВНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Харківському університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Міністерство оборони України.

Науковий керівник: доктор технічних наук професор  
**Єрмаков Геннадій Валентинович**,  
Академія внутрішніх військ МВС України,  
професор кафедри управління діями підрозділів  
із засобами військового зв'язку.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук професор  
**Обод Іван Іванович**,  
Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут",  
професор кафедри систем інформації

доктор технічних наук професор  
**Піскорж Володимир Вікторович**,  
публічне акціонерне товариство  
"АТ Науково-дослідний інститут  
радіотехнічних вимірювань" ДКА України,  
головний науковий співробітник.

Захист відбудеться "06" червня 2013 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 66061, м. Харків, просп. Леніна, 14, ауд. 13.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 66061, м. Харків, просп. Леніна, 14.

Автореферат розіслано "26" квітня 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



В.М. Безрук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Аналіз літератури з питань бойового застосування пілотованих засобів повітряного нападу (ПЗПН) у локальних війнах та конфліктах кінця 20-го – початку 21-го сторіччя демонструє зростання загрози для військ та об'єктів в зоні прикриття протиповітряної оборони (ППО). Широке застосування ними активних завад проти радіолокаційних станцій (РЛС) комплексів ППО Сухопутних військ (СВ) із спектральною щільністю потужності від 2 до 200 Вт/МГц призводить до того, що наявні системи захисту від завад не дозволяють ефективно виконувати бойові завдання зенітним комплексам (ЗК) ближньої дії (БД). Внаслідок цього склалося *протиріччя* між розвитком можливостями ПЗПН (штурмової авіації, літаки якої є основними повітряними цілями (ПЦ) для засобів ППО СВ) щодо подолання системи ППО та можливостями радіолокаційних засобів ППО СВ, щодо часу пошуку ПЦ та видачі цілевказання (ЦВ) для їх подальшого знищення. Одним з можливих шляхів розв'язання даного протиріччя є створення пасивної радіотехнічної системи (ПРТС) на базі батареї ЗК БД (наприклад, зенітний гарматно-ракетний комплекс (ЗГРК) "Тунгуска"). Використання методів пасивної радіолокації в батареї ЗК БД дозволяє отримати інформацію про координати ПЦ потай, без використання радіолокаційного випромінювання РЛС ЗК БД. Крім того, можливе отримання інформації про тип та кількість ПЦ у групі, що забезпечить функціонування ЗК БД при їх радіоелектронному подавленні.

У рамках дисертаційної роботи досліджено можливість створення додаткових пасивних каналів, об'єднаних в ПРТС на базі батареї ЗК БД, питання побудови ПРТС, завдання якої полягають у своєчасному виявленні ПЦ, вимірі її координат і формуванні цілевказання для бойових машин (БМ), що забезпечить наведення засобів ураження з мінімальними часовими витратами.

Таким чином, є актуальною тема дисертаційних досліджень, спрямованих на розробку метода зниження часу пошуку повітряних цілей ЗРК БД при стрільбі по маловисотним цілям в умовах радіоелектронного подавлення з використанням додаткового пасивного каналу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Результати, отримані в дисертації відображені у наступних науково-дослідних роботах: НДР "Дослідження можливостей підвищення живучості засобів ЗРК малої дальності та ближньої дії" (шифр "Агат"), №ДР0101U000241 - 2004 р., НДР "Дослідження метрологічних характеристик вихідних еталонів Збройних Сил України, які експлуатуються в Метрологічному центрі військових еталонів Збройних Сил України" (шифр «Цямрина -11»), виконаної на замовлення Центрального управління метрології і стандартизації Збройних Сил України – 2011 р.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є розробка рекомендацій по створенню пасивної радіотехнічної системи на базі батареї зенітних ракетних комплексів ближньої дії в умовах радіоелектронного подавлення для зменшення часу пошуку повітряних цілей ЗРК БД при стрільбі по маловисотним цілям.

Для досягнення поставленої мети були вирішені такі завдання:

- аналіз і обґрунтування вимог до ПРТС на базі ЗК БД і визначення шляхів їх задоволення;

- розробка моделі функціонування ПРТС на базі ЗК БД, визначення параметрів блоків моделі, що забезпечують працездатність системи пасивної радіолокації при ураженні маловисотних цілей ракетним озброєнням;

- розробка методу зниження часу пошуку ПЦ ЗРК при стрільбі по маловисотним цілям в умовах радіоелектронного подавлення на основі використання ПРТС;

- розробка методу уточнення закону розподілу помилок виміру координат ПЦ і визначення параметрів розподілу для розрахунку ймовірності видачі ЦВ з точністю, що забезпечує найменшу помилку при різних положеннях ПЦ для різницево-далекомірного методу пасивної радіолокації;

- обґрунтування вимог до характеристик вузлів і блоків ПРТС, яка створюється на базі ЗК БД, і розробка науково обґрунтованих рекомендацій по її побудові;

- розрахунок математичного очікування числа знищених маловисотних цілей в умовах радіоелектронного подавлення при веденні протиповітряного бою батареєю ЗК БД з використанням запропонованої ПРТС.

**Об'єктом дослідження** є процес отримання цілевказання з необхідною точністю з мінімальними часовими витратами для ураження маловисотних цілей ракетним озброєнням зенітних комплексів ближньої дії в умовах радіоелектронного подавлення їх РЛС.

**Предметом дослідження** є метод зниження часу пошуку ПЦ зенітним комплексом ближньої дії в умовах радіоелектронного подавлення при створенні додаткового пасивного каналу, що забезпечує зменшення помилок цілевказання при вимірі координат маловисотних цілей, а також технічні характеристики вузлів і блоків, що входять до складу ПРТС на базі батареї ЗК БД.

**Методи дослідження** визначаються сукупністю вирішуваних завдань і включають: основи теорії радіолокації для обґрунтування необхідності впровадження засобів пасивної радіолокації в радіолокаційне озброєння ЗК БД; методи розрахунку антенних систем, методи визначення точності виміру координат, статистичне моделювання і методи теорії ймовірності при визначенні помилок виміру координат ПЦ; методика прогнозування ефективності угруповань військ ППО СВ.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

1. Отримала подальший розвиток модель функціонування мобільної ПРТС, побудованої на базі батареї ЗК БД, в режимі управління стрільбою, яка на відміну від відомих, дозволяє оцінювати вплив точнісних показників ПРТС на час пошуку ПЦ при стрільбі по маловисотним цілям в умовах радіоелектронного подавлення РЛС ЗК БД при спільному використанні систем активної і пасивної радіолокації.

2. Отримав подальший розвиток метод уточнення закону розподілу і числових значень його параметрів при розрахунку помилок виміру координат маловисотних цілей. На відміну від відомих метод враховує зміну форми закону

розподілу в процесі визначення координат ПЦ для різницево-далекомірною методу пасивної локації.

3. Запропонований новий метод зниження часу пошуку ПЦ ЗК БД при стрільбі по маловисотним цілям в умовах радіоелектронного подавлення РЛС за рахунок комплексування ПРТС і інформаційної системи ЗК БД. На відміну від відомих метод дозволяє використовувати ПРТС для автоматизованого управління стрільбою при видачі ЦВ ракетному каналу.

**Практичне значення отриманих результатів:**

1. Отримана в роботі модель функціонування мобільної ПРТС, побудованої на базі батареї ЗК БД є основою для розробки ПРТС на базі батареї ЗК БД.

2. Розроблений метод уточнення закону розподілу помилок виміру координат при різному положенні ПЦ для різницево-далекомірною методу пасивної радіолокації забезпечує вимір координат ПЦ з точністю, достатньою для ведення стрільби ракетним озброєнням.

3. Обґрунтування вимог до характеристик вузлів і блоків ПРТС на базі ЗК БД, розробка науково обґрунтованих рекомендацій по її побудові можуть бути використані при розробці перспективних ЗК БД, а також при модернізації існуючих комплексів для підвищення їх ефективності.

4. Застосування отриманих результатів дозволяє отримати кількісні оцінки числа знищених маловисотних цілей в умовах радіоелектронного подавлення при веденні протиповітряного бою батареї ЗК БД з використанням запропонованої ПРТС.

**Достовірність результатів та висновків**, що отримано в дисертаційній роботі, підтверджено коректним використанням строгого математичного апарату, збігом з відомими результатами, отриманими іншими авторами, проведенням імітаційного моделювання.

**Особистий внесок здобувача.** Автор самостійно отримав основні результати дисертаційної роботи. У роботах, виконаних у співавторстві, автору належать: [1] – проведена оцінка точності виміру координат ПЦ при різницево-далекомірному методі пасивної радіолокації залежно від помилки часу синхронізації системи єдиного часу; [4] – розроблений метод спільного використання систем активної і пасивної радіолокації в ЗК БД; [5] – запропонована методика забезпечення необхідної точності визначення координат ПЦ в ПРТС ЗК БД; [6] – проведена оцінка можливості збільшення дальності виявлення ПЦ в ЗК БД при використанні пасивної радіолокації; [7] – отримані результати оцінки ефективності використання ПРТС при бойовому застосуванні батареї ЗГРК "Тунгуска"; [8] – запропонована модель функціонування ПРТС; [9] – запропоновано метод уточнення числових значень параметрів закону розподілу помилок під час виміру координат ПЦ при різницево-далекомірному методі пасивної радіолокації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень представлялися та обговорювалися на: 1-й науково-технічній конференції ХУПС (м. Харків, 16-17 лютого 2005 року); 1-й міжнародній науково-технічній конференції ДП "ЦНДІ НУ" "Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку" (м. Київ, 5-6 липня 2010 року); 8-й науково-технічній

конференції “Новітні технології – для захисту повітряного простору” (м. Харків 18-19 квітня 2012 року).

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 10 друкованих робіт. З них 7 статей у спеціалізованих фахових виданнях, 3 тези доповідей конференцій.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, додатки та список використаних джерел у кількості 105 найменувань. У додаток включені акти впровадження результатів роботи. Робота містить 128 сторінок основного тексту, 32 рисунків і 14 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність вирішення наукової задачі, наведено взаємозв'язок проведених досліджень із планами наукової та науково-технічної діяльності, сформульовано мету і задачі, визначено об'єкт та предмет досліджень. Визначено наукову новизну і практичне значення результатів дослідження, надано інформацію про публікації, апробації та особистий внесок автора.

У першому розділі дисертації проаналізовані умови функціонування ЗК БД в процесі відбиття ударів ПЦ в умовах радіоелектронного подавлення. Обґрунтована доцільність побудови системи пасивної радіолокації на базі батареї ЗК "Тунгуска" для зменшення часу пошуку цілі, заснована на даних полігонних випробувань.

Представлені результати аналізу частотно-часових параметрів випромінювання бортових РЛС ПЦ: діапазон робочих частот: 8500...10000 МГц; тривалість сигналів, випромінюваних бортовими РЛС: 0,25...4 мкс; частота повторення випромінюваних сигналів: 1...50 кГц.

Отримані оцінки помилок виміру дальності до ПЦ для станції виявлення цілі (СВЦ) і станції супроводження цілей (ССЦ) ЗГРК "Тунгуска" за умови, що завада ставиться із зони баражування і в режимі самоприкриття одним літаком тактичної авіації типу F-4, F-16, A-10 зі складу ударної групи, для різних значень потужності завади  $P_n$ . Розрахунки показали, що досягнення значень помилок вимірів обох РЛС, визначених в тактико-технічних характеристиках, можливі на відстанях менше 100 м. Це дозволяє вважати, що використання комплексів і систем пасивної радіолокації є одним з перспективних напрямків вдосконалення системи ППО СВ взагалі і її інформаційної підсистеми зокрема. Це стосується і радіотехнічних систем ЗК ППО СВ, на базі яких можуть бути створені додаткові пасивні канали, що дозволяють реалізувати малобазову ПРТС для стрільби по маловисотним цілям. Очевидно, що використання пасивних каналів дозволить підвищити достовірність визначення типу ПЦ, точніше визначати дальності і швидкості ПЦ, що в результаті призводить до зменшення часу пошуку ПЦ і реакції комплексів в цілому. Крім цього, істотно може бути зменшений час реакції комплексу за рахунок автоматизації розпізнавання ПЦ.

Обґрунтовані характеристики приймального пристрою, що забезпечує вигоди до огляду по частоті зони пошуку для визначених частотно-часових пара-

метрів бортових РЛС ПЦ: смуга пропускання приймального пристрою  $\Delta f = 5$  МГц; гранична чутливість приймального каналу при  $k_{ш} = 5$ ,  $T_0 = 300$  К буде дорівнювати  $P_{ш} = 3 \cdot 10^{-16}$  Вт; загальний час огляду по частоті:  $t_{обз} = 1,5$  с.

Сформовано науково-технічне завдання, щодо зменшення часу пошуку цілей ЗГРК "Тунгуска" при стрільбі по маловисотним цілям в умовах радіоелектронного подавлення при створенні додаткового пасивного каналу, а також визначення технічних характеристик вузлів і блоків, що входять до складу ПРТС, яка створюється на базі батареї ЗГРК "Тунгуска".

У другому розділі дисертації розроблена модель функціонування ПРТС на базі батареї ЗГРК "Тунгуска", що враховує зв'язки між окремими підсистемами, що входять до її складу, та забезпечує вирішення завдань, покладені на ПРТС. Система є багатопозиційною просторово некогерентною з часовою синхронізацією (часовою когерентністю) приймальних пунктів (рис. 1).

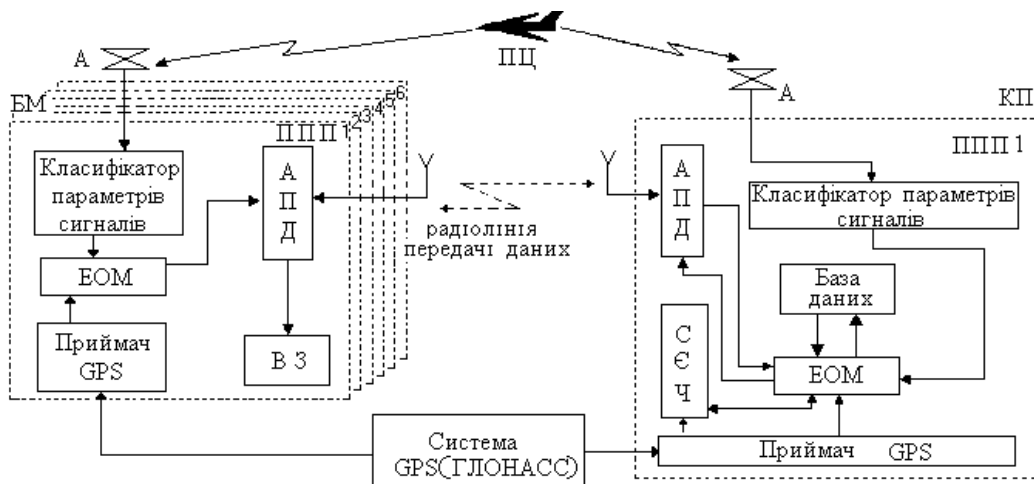


Рис. 1 - Модель функціонування ПРТС на базі ЗК БД: А - антена; КП - командний пункт; АПД - апаратура передачі даних; СЄЧ - система єдиного часу; ЕОМ - бортова електронна обчислювальна машина; ВЗ - вогневі засоби; GPS(ГЛОНАСС) - супутникова радіонавігаційна система; ППП - пасивний приймальний пункт

Командний пункт має такі ж характеристики, що і БМ, за виключенням: додатково до його складу входять база даних, що дозволяє ідентифікувати всі ПЦ та вибрати найбільш небезпечну; СЄЧ, пов'язана з приймачем GPS, АПД і ЕОМ, і що дозволяє синхронізувати виміри на усіх БМ при роботі по вибраній ПЦ шляхом прив'язки до єдиної шкали часу.

Зниження часу пошуку цілі можливо досягти за рахунок зменшення сектора пошуку маловисотної цілі в режимах "ЦУ-В" (зовнішнє ЦВ), "ЦУ-Г" (головне ЦВ), тобто коли СВЦ подавлена завадами. Зменшення розмірів сектора пошуку можливо у разі видачі ЦВ пасивним каналом на ССЦ (оптичний приціл "слідкуватиме" за приводами ССЦ). Розмір сектора пошуку визначатиметься помилками виміру кутових координат ПЦ.

За допомогою різницево-далекомірного методу в роботі проведено аналіз визначення просторових координат ПЦ  $x_u, y_u, z_u$  в ПРТС ЗК БД. Вихідними у методі є три незалежно вимірних різниці відстаней до ПЦ  $R_i$ :

$$\begin{cases} R_1 = \sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2} - \sqrt{(x_u - x_1)^2 + (y_u - y_1)^2 + (z_u - z_1)^2} \\ R_2 = \sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2} - \sqrt{(x_u - x_2)^2 + (y_u - y_2)^2 + (z_u - z_2)^2}, \\ R_3 = \sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2} - \sqrt{(x_u - x_3)^2 + (y_u - y_3)^2 + (z_u - z_3)^2} \end{cases} \quad (1)$$

де  $x_i, y_i, z_i$  - декартові координати точок стояння БМ;  
 $i = 1, 2, 3$  номери приймальних позицій.

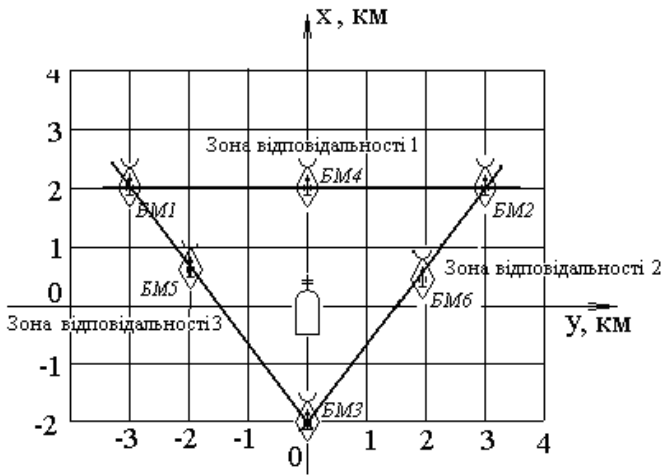


Рис. 2 - Бойовий порядок батареї ЗК БД в обороні (варіант)

На рис. 2 наведений варіант бойового порядку батареї ЗК БД. Координати БМ позначимо через  $x_i, y_i, z_i$ , де  $z_i$  - висота антени пасивного каналу в ПРС ЗК БД.

Середньоквадратичні помилки (СКП) виміру різниць відстаней можуть бути знайдені, якщо відомі СКП виміру координат ПЦ  $\sigma_{x_u}, \sigma_{y_u}, \sigma_{z_u}$  і СКП виміру координат БМ  $\sigma_{x_i}, \sigma_{y_i}, \sigma_{z_i}$ . Враховуючи, що СКП виміру координат некорельовані між собою, отримаємо СКП виміру різниці відстаней:

$$\begin{aligned} \sigma_{R_i}^2 = & \left( \frac{\partial R_i}{\partial x_u} \right) \sigma_{x_u}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial y_u} \right) \sigma_{y_u}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial z_u} \right) \sigma_{z_u}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial x_0} \right) \sigma_{x_0}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial y_0} \right) \sigma_{y_0}^2 + \\ & + \left( \frac{\partial R_i}{\partial z_0} \right) \sigma_{z_0}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial x_i} \right) \sigma_{x_i}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial y_i} \right) \sigma_{y_i}^2 + \left( \frac{\partial R_i}{\partial z_i} \right) \sigma_{z_i}^2, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\sigma_{x_u}, \sigma_{y_u}, \sigma_{z_u}$  - СКП виміру декартових координат ПЦ з КП;

$\sigma_{x_0}, \sigma_{y_0}, \sigma_{z_0}, \sigma_{x_i}, \sigma_{y_i}, \sigma_{z_i}$  - СКП виміру координат точок стояння КП і БМ (для автономного режиму виміру координат за допомогою GPS(ГЛОНАСС) ці помилки відомі і складають близько 15 м);

$i=0, 1, 2, 3$ .



З аналізу виразу (2) витікає, що для визначення СКП виміру різниці відстаней необхідно визначити СКП виміру координат ПЦ з КП  $\sigma_{x_u}, \sigma_{y_u}, \sigma_{z_u}$ :

$$\begin{cases} \sigma_{R_1}^2 = \left(\frac{\partial R_1}{\partial x_u}\right)^2 \sigma_{x_u}^2 + \left(\frac{\partial R_1}{\partial y_u}\right)^2 \sigma_{y_u}^2 + \left(\frac{\partial R_1}{\partial z_u}\right)^2 \sigma_{z_u}^2 + D_1 \\ \sigma_{R_2}^2 = \left(\frac{\partial R_2}{\partial x_u}\right)^2 \sigma_{x_u}^2 + \left(\frac{\partial R_2}{\partial y_u}\right)^2 \sigma_{y_u}^2 + \left(\frac{\partial R_2}{\partial z_u}\right)^2 \sigma_{z_u}^2 + D_2, \\ \sigma_{R_3}^2 = \left(\frac{\partial R_3}{\partial x_u}\right)^2 \sigma_{x_u}^2 + \left(\frac{\partial R_3}{\partial y_u}\right)^2 \sigma_{y_u}^2 + \left(\frac{\partial R_3}{\partial z_u}\right)^2 \sigma_{z_u}^2 + D_3 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{де } D_i = \left[ \left(\frac{\partial R_i}{\partial x_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_i}{\partial y_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_i}{\partial z_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_i}{\partial x_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_i}{\partial y_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_i}{\partial z_0}\right)^2 \right] \sigma_0^2;$$

$i=1, 2, 3$ .

Різниця відстаней визначається як різниця часу приходу сигналів на дві приймальні позиції  $R = c(t_2 - t_1)$ . СКП різниці відстаней визначається як:

$$\sigma_R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial t_2}\right)^2 \sigma_{t_2}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial t_1}\right)^2 \sigma_{t_1}^2}, \quad (4)$$

де  $\frac{\partial R}{\partial t_2} = \frac{\partial R}{\partial t_1} = c$ ;  $\sigma_{t_1} = 0,1 \dots 0,01$  мкс - помилка синхронізації;

$c=3 \times 10^8$  м/с - швидкість світла.

Тоді СКП різниці відстаней буде:  $\sigma_R = \sqrt{2}c\sigma_t = 42 \dots 4,2$  м.

Отримані значення СКП  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  декартових координат ПЦ  $x_u, y_u, z_u$  з командного пункту дають можливість дослідити точність визначення координат ПЦ з бойових машин, порівняти отримані дані з технічними можливостями активного каналу ССЦ і оцінити можливість стрільби ракетним озброєнням ЗГРК "Тунгуска". Для цього необхідно декартові координати ПЦ, розраховані з КП, перерахувати в сферичні координати для БМ.

В роботі розраховані відповідні значення помилок вимірів сферичних координат ПЦ в точці стояння БМ з різними координатами. Розрахунки показали, що наприклад, при  $x=-2000$  м,  $y=-3000$  м зменшення сектора огляду ЗГРК "Тунгуска" можливо за рахунок використання пасивного каналу. Так, для дальності 18 км максимальний сектор огляду для польоту ПЦ на висоті 100 м буде  $(33,6^\circ \times 4,2^\circ)$ . З урахуванням того, що як ЦВ каналу ведення стрільби будуть видані координати з зазначеною точністю, то операторові доведеться оглянути в

оптичному прицілі 7 секторів при полі зору об'єктиву в  $5^\circ$ , на відміну від необхідності перегляду 128 секторів в режимах "ЦУ-В", "ЦУ-Г". Разом з тим необхідно відмітити, що помилка по дальності може бути істотною і складати величину більше 1 км. В цьому випадку, як і у разі використання активної локації, визначення дальності до ПЦ, тобто часу пуску ракети, може бути виконано за шкалою оптичного прицілу. Наведення ракети здійснюється за методом "трюх-точка", тобто для побудови кінематичної траєкторії потрібні тільки кутові координати ПЦ.

Від конфігурації ПРТС залежить вибір методів рішення нелінійних рівнянь. Відомо, що тільки при симетричному розташуванні приймальних пунктів в одну лінію система рівнянь (1) має аналітичне рішення при розрахунках координат ПЦ. При порушенні цих вимог в системі виникають систематичні помилки, які в широкому секторі відповідальності системи фактично неможливо компенсувати.

Для отримання розрахункових значень помилок вимірів декартових координат ПЦ був використаний метод статистичних випробувань. Програма для розрахунку реалізована в пакеті MAPLE, за допомогою якої були отримані гістограми розподілів помилок визначення координат літака в запропонованій системі координат з розміром статистичної вибірки  $N = 500$ .

Помилка синхронізації системи єдиного часу запропонованої в роботі складає 0,01 мкс. В цьому випадку СКП визначення різниці відстаней складе величину  $\sigma_r = 4,2$  м і буде однаковою для усіх приймальних пунктів, координати приймальних пунктів незмінні. Помилка визначення місця розташування вимірювального засобу забезпечується навігаційною апаратурою і складає величину 15 м. При розрахунках враховувалося, що висота польоту літака складає 1000 м, а її інші координати відповідають: дальній границі зони виявлення (18 км); дальньому рубежу видачі цілевказання (13 км); дальній границі зони ураження ракетним озброєнням (8 км); дальній границі зони ураження артилерійським озброєнням (4 км).

При визначенні законів розподілу помилок виміру координат на підставі отриманих в результаті розрахунків гістограм, були вибрані наступні теоретичні безперервні розподіли з можливими значеннями на усій числовій вісі: нормальний закон розподілу (1); двосторонній показовий розподіл Лапласа (2); розподіл Коши (3); розподіл мінімального значення (4); розподіл максимального значення (5); подвійний показовий розподіл (6); логістичний розподіл (7); розподіл Чампернауна (8); розподіл Шарльє (9).

Для визначення числових значень параметрів розподілів використовувався метод найменших квадратів з точністю апроксимації  $10^{-6}$ . В якості критерія узгодження при конкретизації виду розподілу був вибраний критерій  $\chi^2$  Пірсона з 5% -м рівнем значущості.

На рис. 3 представлена початкова гістограма, що описує розподіл помилки виміру координати  $z$  для ПЦ з координатами  $x=18000$  м,  $y=9000$  м,  $z=1000$  м.

За допомогою методу найменших квадратів з помилкою  $10^{-6}$  для кожного з представлених вище 9 теоретичних розподілів визначаються їх параметри.

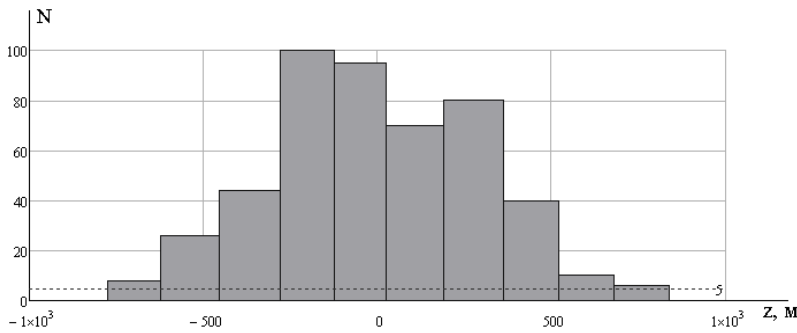


Рис. 3 - Початкова гістограма

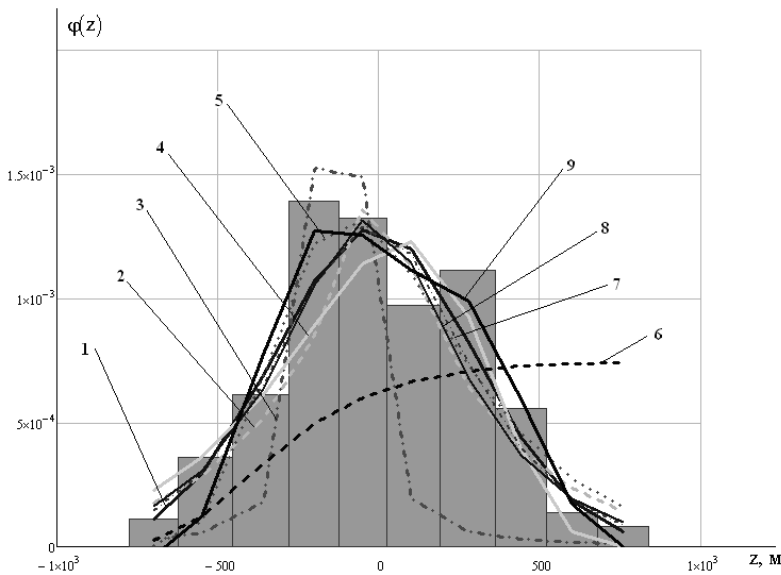


Рис. 4 - Розрахункові значення щільності ймовірності для різних законів розподілу

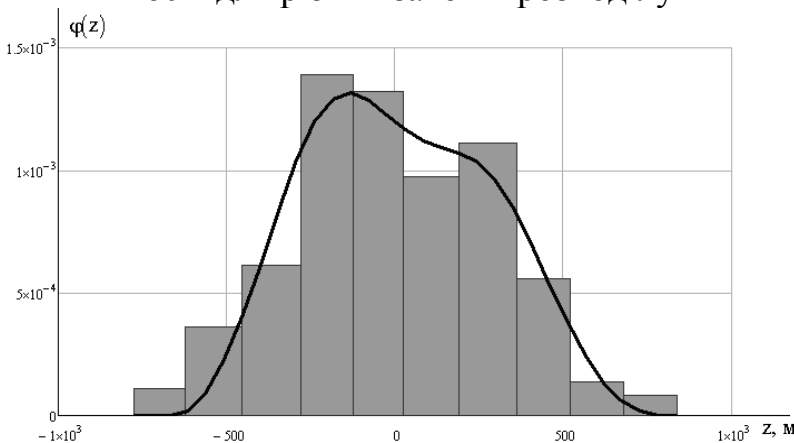


Рис. 5 - Розрахункова щільність ймовірності помилок вимірів

помилка виміру координати  $z$ , є розподіленою згідно із законом Шарльє і дорівнює 440 м, буде 0,9. При нормальному законі розподілу така ймовірність може бути досягнута при помилці виміру 520 м.

Вважаючи, що ймовірність захоплення ПЦ на автосупровід в режимі видачі автоматичного цілевказання за відсутності перешкод  $P=0,9$ , отримаємо, що точне визначення закону розподілу помилок виміру координат ПЦ дозволяє стверджувати про зменшення помилки цілевказання, що призводить до змен-

Після визначення числових значень параметрів щільності ймовірності для кожного із законів (рис. 4), може бути визначена теоретична щільність ймовірності (рис. 5) для кожного зі значень помилки початкової гістограми.

В результаті проведених розрахунків встановлено, що помилки вимірів координат літака для вибраного напрямку підкоряються закону Шарльє.

Далі висувається гіпотеза, що помилка розподілена згідно із законом Шарльє із заданими параметрами, яка перевіряється за допомогою критерію узгодження Пірсона з 5% -м рівнем значущості. Аналогічній перевірці підлягають і гіпотези про розподіл помилок за іншими законами (1...8). З урахуванням даних рис. 6 може бути розрахована вірогідність того, що помилка виміру координат ПЦ потрапляє в заданий інтервал для розрахованого і нормального законів розподілів (рис. 6).

З аналізу даних, приведених на рис. 6, витікає, що ймовірність того, що

шення розмірів зони пошуку і зниження часу реакції ЗК БД в цілому в умовах радіоелектронного подавлення.

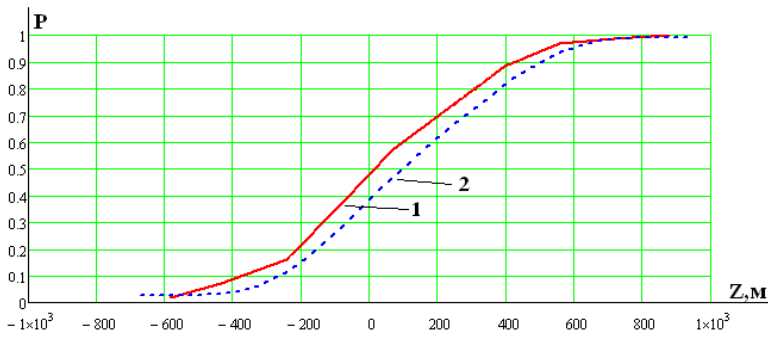


Рис. 6 - Функція розподілу згідно із законом Шарльє (1) і функція розподілу для нормального закону (2)

ПЦ, розраховані з КП, перерахувати в сферичні координати для БМ (табл. 1).

Це дає можливість дослідити точність визначення координат ПЦ з бойових машин, порівняти отримані дані з технічними можливостями активного каналу ССЦ і оцінити можливість стрільби ракетним озброєнням батареї ЗГРК "Тунгуска". Для цього необхідно декартові координати

Таблиця 1 - Значення СКП вимірів сферичних координат ПЦ в точках стояння БМ

Координата ПЦ, м	Для БМ 1 $x = 2000, y = 0$			Для БМ 2 $x = -2000, y = 3000$			Для БМ 3 $x = -2000, y = -3000$		
	$\sigma_D, \text{м}$	$\sigma_{\beta}, '$	$\sigma_{\varepsilon}, '$	$\sigma_D, \text{м}$	$\sigma_{\beta}, '$	$\sigma_{\varepsilon}, '$	$\sigma_D, \text{м}$	$\sigma_{\beta}, '$	$\sigma_{\varepsilon}, '$
$x = 20000, y = 0$	112	167	42	168	113	36	134	113	32
$x = 18000, y = 9000$	287	142	35	321	113	20	284	113	28
$x = 11000, y = 17000$	420	103	5	416	84	9	416	84	9
$x = 15000, y = 0$	50	93	28	87	54	32	64	54	20
$x = 13000, y = 7000$	125	88	22	145	65	10	124	65	17
$x = 7000, y = 13000$	300	63	4	295	48	10	295	48	10
$x = 10000, y = 0$	16	88	15	29	39	9	20	40	8
$x = 8500, y = 4500$	58	64	19	70	40	5	57	39	11
$x = 4500, y = 8500$	99	18	4	97	11	7	96	11	7
$x = 6000, y = 0$	8	56	15	18	19	5	11	19	6
$x = 5500, y = 3000$	40	31	4	38	16	5	37	17	5
$x = 3000, y = 5500$	29	17	4	28	8	4	28	8	4

Аналіз результатів наведених у табл. 1 показує, що СКП виміру сферичних координат  $\sigma_D, \sigma_{\beta}, \sigma_{\varepsilon}$  залежать від помилки синхронізації в ССЧ і для різних напрямів польоту ПЦ, різних відстаней до ПЦ і різних БМ, організуючих ПРТС, істотно розрізнятимуться:

- для далекої межі зони ураження СКП виміру дальності  $\sigma_D$  варіюватиметься в межах 112...420 м;
- для далекого рубежу видачі ЦВ – 50...300 м;
- для далекої зони ураження ракетним каналом – 16...99 м;
- для далекої зони ураження артилерійським каналом – 8...29 м.

Такий аналіз може бути покладений в основу методики вибору БМ для обстрілу ПЦ: в обстрілі повинна брати участь та БМ, яка має найменше значення СКП виміру дальності, оскільки помилки кутових координат зрівняні з помилками активного каналу і не вимагають додаткового перегляду сектора.

Такий вибір може бути обґрунтований тим, що передбачається, що оператор захопив ПЦ і супроводжує її по кутових координатах, а центральна обчислювальна система (ЦОС) розрахувала кінематичну траєкторію.

**У третьому розділі** пред'явлені вимоги до основних вузлів і блоків ПРТС, що забезпечують необхідну точність ЦВ по ПЦ а саме: системи єдиного часу, апаратури координатного забезпечення, апаратури передачі даних, електронної обчислювальної машини, антени пасивного каналу.

У ПРТС ЗК БД для реалізації алгоритму різницево-далекомірною методу необхідно забезпечити точний вимір часу різниці приходу сигналів від джерела випромінювання до двох рознесених в просторі пунктів прийому. Це необхідно для забезпечення необхідної точності визначення координат по методиках, запропонованих в розділі 2.

Приведена в роботі структурна схема СЕЧ дозволяє синхронізувати тактові генератори годинників в усіх пунктах прийому за допомогою символічної частоти в радіорелейних станціях (РРС) з точністю 10 нс, яка не потребує ніяких змін в каналах зв'язку.

У ПРТС ЗК БД для координатного забезпечення КП і БМ пропонується використовувати дані від супутникової радіонавігаційної системи GPS або ГЛОНАСС. Аналіз принципів роботи використовуваних споживачами даних систем GPS та ГЛОНАСС дозволив зробити вибір відповідних пристроїв, що випускаються промисловістю, наприклад: СН-3700, СН-3702, СН-3704, СН-3707, СН-3833.

Враховуючи, що діапазон радіохвиль у ПРТС, який за результатами досліджень пропонується до використання, складає 8,5...10 ГГц, актуальним завданням є вибір конструкції і розрахунок характеристик антенної системи з коефіцієнтом перекриття  $K_{пер} = 1,2$ .

Антенна для забезпечення узгодження антенної системи і тракту фідера має мати постійний вхідний опір в широкій смузі частот і бути всеспрямованою за азимуту. Аналіз показав, що такі характеристики має біконічна антенна.

Для аналізу характеристик антени, що розробляється, був використаний відомий асимптотичний метод (асимптотичне обчислення інтеграла Кірхгофа). Розрахункова конструкція біконічної антени представлена на рис. 7. На рисунку використані наступні позначення:  $R_0$  - радіус що направляє (підстави конуса),  $a$  - довжина твірної,  $\Theta_0$  - кут між твірною конуса і віссю обертання,  $I$  - живлячий фідер.

Розрахунки показують, що значення коефіцієнта відбиття в фідері буде дорівнювати -10 дБ в широкій смузі частот, починаючи приблизно з  $a / \lambda = 0,3$ . Це свідчить про те, що біконічна антенна при виборі параметра  $\Theta_0 = 66^\circ$  забезпечує широкосмугове узгодження по рівню - 10 дБ. Нижня частота узгодження визначається розміром антени і її можна оцінити з умови  $a / \lambda = 0,3$ . На висо-

ких частотах в центрі головної пелюстки можуть спостерігатися провали до 2 дБ.

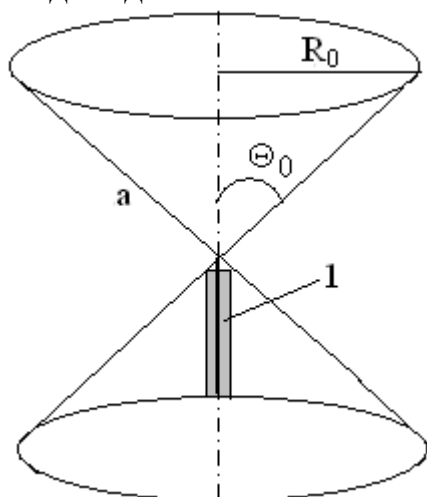


Рис. 7 - Розрахункова конструкція біконічної антени

Проведений аналіз дозволяє визначити геометричні розміри біконічної антени. Нижня частота спектру даного діапазону складає величину 8,5 ГГц ( $\lambda = 3,3$  см). Враховуючи, що узгодження в смузі частот (8,5...10 ГГц) забезпечується при  $0,3 \leq \frac{a}{\lambda} \leq 2,4$ , знайдемо, що розмір твірної складе величину  $a = 15$  см, при цьому радіус направляє буде  $R_0 = 6$  см

Діаграми спрямованості біконічної антени для  $a / \lambda = 0,3$  (а) і для  $a / \lambda = 2,6$  (б), відповідно наведені на рис. 8.

Збільшення відношення  $a / \lambda$  призводить до більш сильної взаємодії крайових хвиль краєвих біконуса на низьких частотах. На високих частотах ця взаємодія мала для пропонованого варіанту біконічної антени.

Як вказувалося раніше, біконічна антена є всеспрямованою за азимутом, ширина діаграми спрямованості в кутомісній площині складає величину  $2\Theta_{0,7E} = 60^\circ$ , рівень бічної пелюстки - 14 дБ.

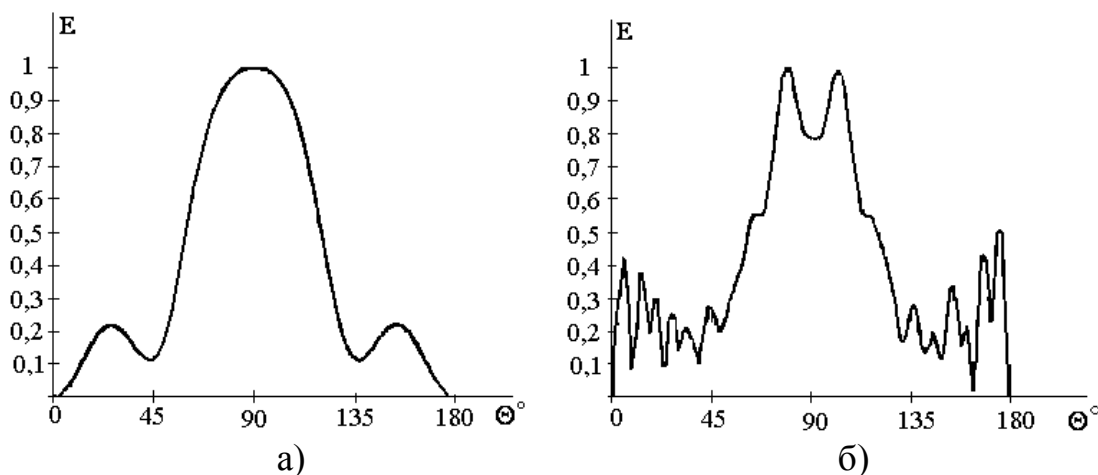


Рисунок 8 - Діаграма спрямованості біконічної антени

Для забезпечення передачі повідомлень в ПРТС ЗК БД між БМ і КП пропонується використовувати телекодовий зв'язок. В якості передавального пристрою можливе застосування малогабаритної радіорелейної станції міліметрового діапазону частот "Інтервал-37", яка призначена для організації безпроводних дуплексних каналів зв'язку між об'єктами в зоні прямої видимості.

Характеристики ЕОМ з розподілом часу на базі існуючого спецобчислювача АРГОН-15 ЗГРК "Тунгуска", можливо оцінити на основі швидкодії ЕОМ по коротких операціях  $\psi$ . Результати розрахунків показали, що номінальна проду-

ктивність ЕОМ АРГОН-15 дорівнює  $v=208000$  опер/сек, що повністю задовольняє розглянутим вимогам до ЕОМ ПРТС ЗК БД.

Для забезпечення зниження часу пошуку ПЦ ЗК БД при стрільбі по мало-висотним цілям в умовах радіоелектронного подавлення РЛС розроблено алгоритм обробки інформації в ПРТС на базі ЗК БД. Роботу якого можливо описати наступним чином.

Спочатку (бл. 1) на КП і кожній БМ, що входять до складу ПРТС, за допомогою апаратури, що працює з сигналами систем глобального позиціонування GPS/ГЛОНАСС, відбувається визначення власних координат. Далі відбувається виявлення сигналів бортових РЛС ПЦ (бл. 2). У випадку, якщо сигнал не виявлений (бл. 3), бойова робота ЗК переходить в штатний активний режим роботи "Пошук ПЦ СВЦ" (бл. 4) і далі робота ведеться в штатних режимах. Якщо ж має місце виявлення сигналу бортової РЛС ПЦ (бл. 3), то відбувається визначення часу його приходу  $t_i$  (бл. 53) і вимір параметрів сигналу частоти, тривалості та періоду слідування ( $f_i, \tau_i, T_i$ ) (бл. 54). Потім імпульси передаються на класифікатор параметрів сигналів (бл. 55), де для кожного  $i$ -го імпульсу відбувається ототожнення його параметрів. В бл. 56 проводиться параметрична обробка прийнятих сигналів, виділення ознаки наявності ПЦ і розрахунок її поточних координат, визначається найбільш небезпечна ПЦ.

У випадку, коли дальність до ПЦ складає 3...10 км – «раптова ціль» - (бл. 57), здійснюється видача ЦВ на оптичний приціл (ОП) (бл. 58) та перехід в штатний режим роботи «Супровід ПЦ ОП» (бл. 52), прийняття рішення на обстріл ПЦ (бл. 20), після чого ЗК продовжує роботу в штатному режимі.

При дальності до ПЦ більше 10 км здійснюється вибір оптимальної конфігурації ПРТС для забезпечення максимальної відповідності СКП координат ПЦ паспортним (бл. 59). Видача ЦВ на БМ, для якої СКП визначення координат буде найменшою (бл. 60), яка виконує допошук ПЦ в ОП. При задоволенні вимог ЦВ передається в ЦОС (бл. 28) і далі ПЦ береться на супровід (бл. 29). Алгоритми роботи БМ описані в блоках 4...29, 31...47 і 49...52 є штатними режимами роботи комплексу. Але при неможливості компенсувати перешкоди СВЦ (бл. 30) і ССЦ (бл. 48) в даному алгоритмі пропонується перехід в пасивний режим роботи.

Робота комплексу по обстрілу ПЦ описується блоками 20...27 і 42...47, які теж є штатними для алгоритму бойової роботи комплексу при стрільбі по ПЦ. Проте при роботі в пасивному режимі має бути змінений алгоритм оцінки результатів стрільби (бл. 26).

Надійна робота усієї ПРТС визначається точністю відомих алгоритмів синхронізації вимірів за допомогою СЕЧ, пов'язаної з системою глобального позиціонування GPS, визначення координат БМ і КП, ототожнення параметрів сигналів від БРЛС ПЦ.

У четвертому розділі проведено порівняльний аналіз ефективності ведення бойових дій батареєю ЗГРК "Тунгуска", що веде розвідку ПЦ за допомогою штатних РЛС і з використанням запропонованої ПРТС. Для цього в методиці прогнозу ефективності бойових дій підрозділів військ ППО уточнені: коефіці-

ент стискання зони виявлення РЛС з урахуванням рівня перешкод; коефіцієнт стискання зони виявлення з урахуванням впливу рельєфу місцевості; коефіцієнт зміни дальності виявлення з урахуванням ефективної поверхні розсіювання ПЦ; коефіцієнт перерахування дальності виявлення з урахуванням імовірності виявлення ПЦ. Результати прогнозу ефективності бойових дій батареї ЗГРК “Тунгуска” з використанням ПРТС наведені у таблиці 2 та рис. 9 – 10.

Таблиця 2 - Вихідні дані та результати прогнозу ефективності бойових дій батареї ЗГРК “Тунгуска” проти угруповання ПЦ

	Змінна															
	$L_{фр}$	$L_{зл}$	$L_{ф}$	$L_{z}$	$\sigma_{ц}$	$R_i(H)$	$D_o$	$m$	$q$	$A$	$N_{ПЦ}$	$t$	$N_{цк}$	$BH(H_j)$	$N_{сп}$	$\mu_i$
ЗК БД	45000	32000	18000	5000	3	8000	16500	6	1	60%	6	10	6	1	12	1
ЗК БД з ПРТС	45000	32000	18000	5000	-	8000	35000	3	1	60%	6	10	2	1	12	1
	Результат															
	$N_{обс}$		$N_{ун.ц}$		$n_{прж.зрк}$		$\mathcal{E}_{ун.ц}$									
ЗК БД	2		1		4		16%									
ЗК БД з ПРТС	3		2		2		34%									

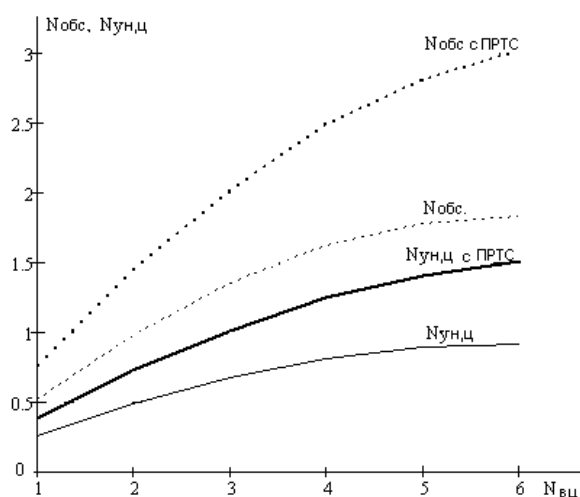


Рис. 9 - Залежність МОЧ обстріляних і знищених ПЦ від їхнього числа в ударі за час  $t=10$  хв.

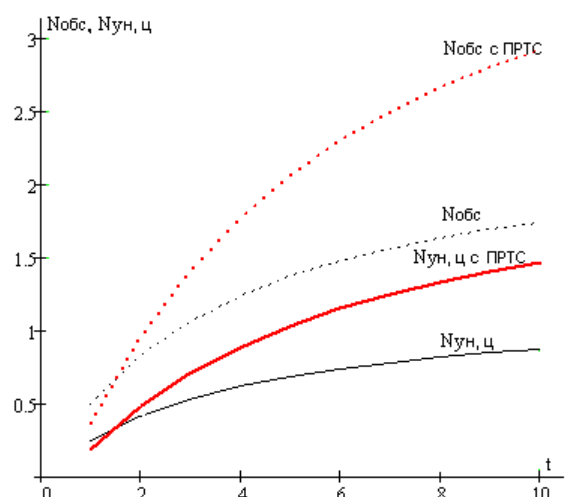


Рис. 10 - Залежність МОЧ обстріляних і знищених ПЦ від часу нальоту

З узагальнення отриманих результатів видно, що при використанні ПРТС у батареї ЗГРК “Тунгуска”, ефективність ведення бойових дій проти угруповання у складі 6 ПЦ буде до 20% вище в порівнянні із традиційними ЗГРК.

**В додатках** до дисертації представлені методика прогнозу ефективності ведення протиповітряного бою та акти впровадження.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача забезпечення стрільби по маловисотним цілям в умовах радіоелектронного подав-



лення ЗРК БД, на основі нового методу зниження часу пошуку ПЦ з використанням ПРТС, моделі функціонування ПРТС на базі ЗК БД, методу уточнення закону розподілу помилок виміру координат ПЦ і визначення параметрів розподілу для розрахунку ймовірності видачі точного ЦВ.

При цьому отримані нові результати:

1. Розроблена модель функціонування мобільної ПРТС в режимі управління стрільбою, побудованої на базі батареї ЗК БД, яка дозволяє оцінювати вплив показників точності виміру координат ПЦ за допомогою ПРТС на час пошуку ПЦ при стрільбі по маловисотним цілям в умовах радіоелектронного подавлення РЛС ЗК БД за рахунок спільного використання систем активної і пасивної радіолокації.

2. Розроблено метод уточнення закону розподілу і числових значень його параметрів при розрахунку помилок виміру координат маловисотних цілей. Метод враховує зміну форми закону розподілу в процесі визначення координат ПЦ для різницево-далекомірною методу пасивної локації в залежності її від положення.

3. Запропоновано метод зниження часу пошуку ПЦ в ЗК БД при стрільбі по маловисотним цілям в умовах радіоелектронного подавлення РЛС за рахунок комплексування ПРТС і інформаційної системи ЗК БД. Метод дозволяє використовувати ПРТС для автоматизованого управління стрільбою ракетним озброєнням при видачі ЦВ.

4. Науково обґрунтовані вимоги до характеристик вузлів і блоків ПРТС на базі ЗК БД, розроблені рекомендації по її побудові.

5. Отримані результати дозволили отримати кількісні оцінки числа знищених ПЦ в умовах радіоелектронного подавлення при веденні протиповітряного бою батареєю ЗК БД з використанням запропонованої ПРТС.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Ермаков Г.В. Анализ точности измерения координат воздушных целей при разностно-дальномерном методе пассивной радиолокации / Г.В. Ермаков, В.В. Куценко, С.М. Телюков // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. ХУПС. – Вип.8(98). – Х.: ХУПС, – 2011. – С.70 - 74.

2. Ермаков Г.В. Метод выбора приемных позиций для уменьшения ошибок измерения координат целей при разностно-дальномерном методе в подвижной системе пассивной радиолокации / Г.В. Ермаков, В.В. Куценко, С.Н. Телюков // Новітні технології – для захисту повітряного простору: мат. восьм. наук. конф. Харківського університету Повітряних Сил. 18 – 19 квіт. 2012 р. – Харків, 2012. – 424 с.

3. Куценко В.В. Алгоритм комплексирования радиолокационной информации при организации системы пассивной радиолокации для разведки та управління в підрозділах ППО СВ / В.В. Куценко // Перша науково-технічна конференція Харківського університету Повітряних Сил: тези доповідей всеукр. наук.-техн. конф. 16-17 лют. 2005 р. - Харків, 2005. – 392 с.

4. Ермаков Г.В. Метод комплексирования пассивного канала с информа-

ционной системой зенитно-ракетного комплекса ближнего действия при его радиоэлектронном подавлении / Г.В. Ермаков, В.В. Куценко, С.Н. Телюков // Зб. наук. пр. Системи озброєння і військової техніки. - Харків. ХУПС, - 2012. – Вып. 4(32). – С.124 – 127.

5. Куценко В.В. Методика обеспечения требуемой точности определения координат цели в подвижной системе пассивной радиолокации зенитных комплексов ближнего действия / В.В. Куценко, О.Л. Смирнов, А.А. Наконечный // Зб. наук. пр. ХУПС. - Вып. 2(2). - Х.: ХУПС, - 2005. - С.54 –59.

6. Куценко В.В. Оценка возможностей увеличения дальности обнаружения СВН средствами активной и пассивной радиолокации за счет их комплексирования / В.В. Куценко, В.А. Гардаш // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. ХВУ. – Вып. 11(39). –Х.: ХВУ, - 2004. - С.108 – 112.

7. Куценко В.В. Оценка эффективности боевых действий зенитного комплекса ближнего действия с использованием подвижной системы пассивной радиолокации/ В.В. Куценко, Г.В. Ермаков, С.М. Телюков // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. ХУПС. – Вып.9(90). – Х.: ХУПС, 2010. – С.61 - 63.

8. Куценко В.В. Система пасивної радіолокації при виявленні та супроводженні повітряних об'єктів у режимі радіомовчання / В.В. Куценко // Зб. наук. пр. ХВУ. - Вып. 2(49). – Х.: ХВУ, - 2004. - С.86 – 90.

9. Ермаков Г.В. Уточнение числовых значений параметров законов распределений ошибок в процессе измерения координат при разностно-дальномерном методе пассивной локации / Г.В. Ермаков, В.В. Куценко, С.Н. Телюков // наук. журн. Системи озброєння і військової техніки. - Харків. ХУПС, - 2012. – Вып. 3(31). – С.145 – 148.

10. Куценко В. В. Пути повышения возможностей по разведке средств воздушного нападения радиолокационными средствами ЗК БД / В. В. Куценко // Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку: мат. перш. міжнар. наук.-техн. конф. ДП “Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління”. 5–6 лип. 2010 р. – Київ, 2010. – 68 с.

## АНОТАЦІЯ

**Куценко В. В. Метод зниження часу пошуку повітряних цілей зенітно-ракетним комплексом в умовах радіоелектронного подавлення на основі застосування пасивних радіотехнічних систем.** - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. - Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, МО України, Харків, 2013.

У дисертаційній роботі розроблено метод зниження часу пошуку ПЦ ЗК БД при стрільбі по маловисотним цілям в умовах радіоелектронного подавлення РЛС за рахунок комплексування ПРТС і інформаційної системи ЗК БД. На відміну від відомих метод дозволяє використовувати ПРТС для автоматизованого управління стрільбою при видачі ЦВ ракетному каналу.

Проведено вдосконалення математичного апарату, орієнтованого на дослідження явищ, що відбуваються при пасивному прийомі сигналів бортових РЛС

ПЦ, а також особливостей функціонування ПРТС на базі ЗК БД, які виникають при несиметричному розташуванні БМ, що в цілому дозволяє зменшити час пошуку ПЦ при використанні ПРТС на базі ЗК БД.

Отримані результати дозволили отримати кількісні оцінки числа знищених ПЦ в умовах радіоелектронного подавлення при веденні протиповітряного бою батареєю ЗК БД з використанням запропонованої ПРТС.

**Ключові слова:** пасивна радіолокація, зенітний комплекс ближньої дії, пасивна радіотехнічна система, ефективність ведення бойових дій.

## АННОТАЦІЯ

**Куценко В.В. Метод снижения времени поиска воздушных целей зенитно-ракетным комплексом в условиях радиоэлектронного подавления на основе применения пассивных радиотехнических систем. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. - Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, МО Украины, Харьков, 2013.

В диссертационной работе разработан метод снижения времени поиска воздушных целей зенитным ракетным комплексом ближнего действия при стрельбе по маловысотным целям в условиях радиоэлектронного подавления с использованием дополнительного пассивного канала. Метод, в отличие от известных, позволяет использовать ПРТС для автоматизированного управления стрельбой при выдаче ЦУ ракетному каналу.

Основной результат диссертационной работы заключается в развитии модели функционирования мобильной ПРТС, построенной на базе батареи ЗК БД, в режиме управления стрельбой, метода уточнения закона распределения и числовых значений его параметров при расчете ошибок измерения координат маловысотных целей.

При этом получены оценки снижения времени поиска ВЦ ЗК БД, учитывающие точность измерения координат ВЦ в условиях радиоэлектронного подавления и ошибки времени синхронизации системы единого времени: время обзора пространства оптическим прицелом снижается со 128 секторов до 7 секторов при ошибке синхронизации по времени 0,1 мкс; разработан метод уточнения закона распределения ошибок измерения координат ВЦ, проведена оценка числовых значений его параметров. Определено, что наиболее часто ошибки измерения подчиняются закону Шарлье. Это позволяет более точно выдавать ЦУ ОП при захвате ВЦ для стрельбы ракетным вооружением; теоретически обоснованы требования к характеристикам узлов и блоков ПРТС на базе ЗК БД и разработаны научно обоснованные рекомендации по ее построению.

Практическая ценность результатов работы заключается в обосновании требований к характеристикам узлов и блоков мобильной ПРТС на базе ЗК БД, разработке научно обоснованных рекомендаций по ее построению которые могут быть использованы при разработке или модернизации ЗК БД.

**Ключевые слова:** пассивная радиолокация, зенитный комплекс ближнего действия, пассивная радиотехническая система, эффективность ведения боевых действий.

## ABSTRACT

**Kutsenko V.V. Method of reducing the search time of air targets by anti-aircraft complex under radio suppression with the use of passive radar systems - Manuscript.**

Dissertation for a degree of candidate of technical sciences, specialty 05.12.17 - Radio and Television Systems. Kharkiv Kozhedub Air Force University, Ministry of Defense of Ukraine, Kharkiv, 2013.

The thesis solves the urgent scientific task of developing the method of reducing the search time of air targets by anti-aircraft short-range complex when shooting in low-altitude targets under radio suppression with the use of additional passive channel. The purpose of the research is to give guidelines to the development of passive channel in the battery of anti-aircraft short-range complexes under radio suppression for reducing the complex response time when shooting in low-altitude targets. When solving the given scientific problem the mathematical apparatus is advanced oriented to research the phenomena under the passive reception of air target radar signals, as well as those functioning features of passive radar systems on the base of anti-aircraft short-range complexes, which are made by combat machine asymmetric arrangement, and it allows to reduce the complex response time when using complex passive radar systems based on anti-aircraft short-range complexes.

The developed method of reducing the search time of air targets by anti-aircraft complex under radio suppression with the use of passive radar systems can improve the effectiveness of combat use of anti-aircraft short-range complex.

**Keywords:** passive radar, anti-aircraft short-range complex, passive radar system, the effectiveness of combat operations.

Підп. до друку 25.04.13. Формат 60x84 1/16. Спосіб друку - ризографія.

Умов. друк. арк. 1,2. Облік. вид. арк. 1,1. Тираж 100 прим.

Зам. № 2-279. Ціна договірна.

---

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Леніна. 14

---

Віддруковано в навчально-науковому  
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ  
61166, Харків, просп Леніна, 14