

В.Г. Гартованов, М.Р. Арасланов, В.Д. Батієв

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

ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ ТИПУ 5Н84А

Пропонується підвищити інформативність РЛС типу 5Н84А шляхом реалізації на сучасній цифровій елементній базі так званого гоніометричного методу виміру висоти виявлених повітряних об'єктів. Метод передбачає сховане фазове сканування результуючою діаграмою направленості у вертикальній площині в режимі прийому шляхом зміни амплітудно-фазового розподілу у вертикальному розкритті антени. Приведений варіант структурної схеми системи вимірювання висоти виявлених повітряних об'єктів стосовно до РЛС 5Н84А.

Ключові слова: радіолокаційна станція, діаграма направленості антени, автокореляційна функція, спецобчислювач.

Вступ

Постановка проблеми. Наземна рухома 2-х координатна радіолокаційна станція (РЛС) 5Н84А була прийнята на озброєння радіотехнічних військ в 1974 році й протягом багатьох десятиліть є однією із кращих станцій дальнього виявлення повітряних об'єктів. Однак вона вимірює тільки дві координати виявлених об'єктів, тому її використовують разом з радіовисотомірами.

Метровий діапазон хвиль, використовуваний у РЛС 5Н84А, з одного боку, дозволяє забезпечити більшу дальність виявлення повітряних об'єктів, у тому числі й малорозмірних, при відносно низьких експлуатаційних витратах і вартості локатора. Однак, з іншого боку, в метровому діапазоні хвиль досить складно сформувану вузьконаправлену діаграму направленості антени (ДНА) РЛС при прийнятних розмірах антенної системи, що не дозволяє традиційними амплітудними методами одержати при вимірах високих точностей і роздільних здатностей по кутових координатах.

Реалізація ефективного методу оцінки кута місця повітряних об'єктів в РЛС метрового діапазону пов'язана із синтезом алгоритмів, інваріантних до заважаючого впливу земної поверхні. Для досягнення інваріантності, насамперед, необхідно знати очікувані параметри цього впливу в кожному конкретному випадку виміру. Основним методом одержання такої інформації є моделювання відбиттів від земної поверхні з наступною реалізацією амплітудно-фазового методу пеленгації на базі кореляційної просторової обробки сигналів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість використовуваних методів виміру кута місця (висоти) цілей синтезовані в основному для вільного простору й припускають, що фронт ЕМХ – синфазний і плоский [1–3].

Однак через неоднорідність підстиляючої поверхні й електричних властивостей заважаючих відбивачів фронт випромєненої й прийнятих електромагнітних коливань спотворюється, здобуває додаткову амплітудно-фазову модуляцію, параметри якої різні на різних азимутальних й кутомісних напрямках.

Вважається, що параметри цієї модуляції можна визначити тільки в середньостатистичному, а для рівної (гладкої) навколишньої місцевості її враховують шляхом множення ДНА на множник Землі, тобто переносять її на модуляцію результуючої ДНА у вертикальній площині [4].

Існують методи виміру кута місця повітряного об'єкта, які "нечутливі" до відзеркалень від підстиляючої поверхні. В роботі [5] пропонується фазовий метод виміру кутів місця, інваріантний до наявності перевідбиття від земної поверхні. Метод базується на прийманні сигналів антенною системою з двома синтезованими фазовими центрами, рознесеними в горизонтальній площині по лінії візування повітряних об'єктів. Але практична реалізація такої системи утруднена через взаємне затінення при використанні дзеркальної антени, такою і є антена РЛС 5Н84А. До того ж відстань між опромінювачами для метрового діапазону хвиль повинна бути кілька десятків метрів, що практично унеможливує переробку антенної системи локатора.

У роботі [6] пропонується новий кореляційний метод оцінки кута нахилу фронту прийнятої електромагнітної хвилі (кута місця повітряного об'єкта). Метод заснований на використанні принципу порівняння кореляційних функцій флуктуацій прийнятих цифровими приймачами коливань із еталонами. Еталони формуються для щільної сукупності кутомісних напрямків шляхом імітаційного моделювання.

Метою статті є розробка алгоритму виміру кута місця повітряних об'єктів для РЛС 5Н84А на основі просторової кореляційної обробки прийнятих сигналів.

З обліком того, що суть просторово-кореляційного методу досить повно викладається в роботі [6], основна увага в статті приділена особливостям побудови й функціонування запропонованого вимірника кутових координат (висоти) виявлених повітряних об'єктів для РЛС 5Н84А, а також доробкам, які необхідно буде здійснити при реалізації режиму виміру висоти.

Виклад основного матеріалу

Застосування просторово-кореляційного методу виміру кута місця повітряних об'єктів стосовно до РЛС 5Н84А. Однією з найважливіших умов коректного функціонування кореляційного методу [6] є знання дійсної результуючої ДНА у вертикальній площині на відповідному заданому азимутальному напрямку, оскільки її параметри значною мірою залежать від рельєфу та його електричних властивостей.

У середньостатистичному змісті результуючі направлені властивості антени РЛС 5Н84А у вертикальній площині запропоновано визначати фацетно-розсіюючим методом [7] в припущенні напіврозсіяного характеру відбиттів.

Розглянемо найпростіший випадок вимірювальної системи, коли у вертикальній площині є два елементи решітки (режим роботи РЛС 5Н84А "Нижній промінь").

Вихідними даними для формування банку еталонних реалізацій очікуваних сигналів є отримані за допомогою фацетно-розсіюючого метода на заданих азимутальних напрямках результуючі кутомісні ДНА РЛС 5Н84А: на випромінювання в режимі "Нижній промінь" і на приймання – від верхнього і середнього випромінювачів.

Процедура формування банку еталонних реалізацій очікуваних сигналів у припущенні приймання сигналів із дальньої зони проводиться наступним чином.

На кожному виході суматора маємо комплексні реалізації заданих просторових хвиль, обумовлених виразом:

$$\dot{A}_{\mu}(\varepsilon_i) = \dot{A}_c(\varepsilon_i) + \dot{A}_b(\varepsilon_i) \cdot e^{-j\Delta\varphi_{\mu}}, \quad (1)$$

де $i = 0, 1, 2, \dots, k$ – номер кутомісного напрямку приходу прийнятої хвилі;

$\mu = 0, 1, 2, \dots, n$ – номер реалізації результуючої ДНА;

$\Delta\varphi_{\mu} = \varphi_0 + \mu\Delta\varphi$ – різниця фаз живлення випромінювачів;

φ_0 і $\Delta\varphi$ – початкове значення й крок зміни $\Delta\varphi_{\mu}$;

$\dot{A}_{\mu}(\varepsilon_i)$ – комплексне значення реалізації просторової хвилі із заданого напрямку ε_i на виході антени РЛС при $\Delta\varphi_{\mu}$;

$\dot{A}_c(\varepsilon_i)$ та $\dot{A}_b(\varepsilon_i)$ – комплексні значення реалізації просторової хвилі із заданого напрямку ε_i відповідно із середнього й верхнього випромінювачів антени РЛС.

При програмній перевірці така процедура виконувалася в такий спосіб: для кожного заданого кута ε_i з використанням розрахованих результуючих ДНА одержуємо комплексні значення реалізації просторової хвилі з напрямку ε_i – $\dot{A}_c(\varepsilon_i)$ та $\dot{A}_b(\varepsilon_i)$. Комплексна реалізація прийнятого луна-сигналу із середнього випромінювача множиться на множник $e^{-j\Delta\varphi_{\mu}}$, що задає міжканальну різницю фаз прийнятих коливань. Після когерентного підсумовування реалізацій з обох каналів приймання й зважування отриманої суми відповідним комплексним значенням з результуючої ДНА РЛС у режимі випромінювання проводиться нормування отриманої реалізації для виключення впливу амплітуди й початкової фази хвилі на результат виміру. Отримане комплексне значення реалізації запам'ятовується, і процедура повторюється для наступного заданого значення $\Delta\varphi_{\mu}$.

У результаті формуються масиви комплексних значень реалізацій \dot{A}_{μ}^i просторової хвилі для кожного заданого кутомісного напрямку ε_i , що складаються із n членів (реалізацій від n результуючих ДНА РЛС).

Діапазон зміни $\Delta\varphi_{\mu}$ при моделюванні вибирається експериментально з умови найбільшої зміни параметрів результуючої ДНА в діапазоні вимірюваних кутів місця. Математичним експериментом встановлено, що для режиму роботи РЛС 5Н84А "Нижній промінь" діапазон зміни $\Delta\varphi_{\mu}$ повинен перебувати в межах від 15° до 201° , а раціональне значення кроку $\Delta\varphi$ становить 6° .

На рис. 1 наведені приклади розрахунків результуючої кутомісної ДНА на приймання для РЛС 5Н84А в режимі "Нижній промінь" для наступних значень $\Delta\varphi_{\mu}$: 15° (рис. 1, а), 135° (рис. 1, б), 171° (рис. 1, в), 201° (рис. 1, г).

Напрямок приходу просторової хвилі ε_i задається, як правило, у діапазоні від 0° до ε_{\max} , де ε_{\max} – кут, де значення кутомісної ДНА по потужності становить одну чверть від максимального значення. Раціональне значення кроку зміни $\Delta\varepsilon$ дорівнюється $0,01^{\circ}$. Подальше зменшення $\Delta\varepsilon$ не виправдане, тому що значно зростає час обчислень, а очікувана точ-

ність визначення кута місця при цьому практично не покращиться, тому що досягне свого потенційного значення.

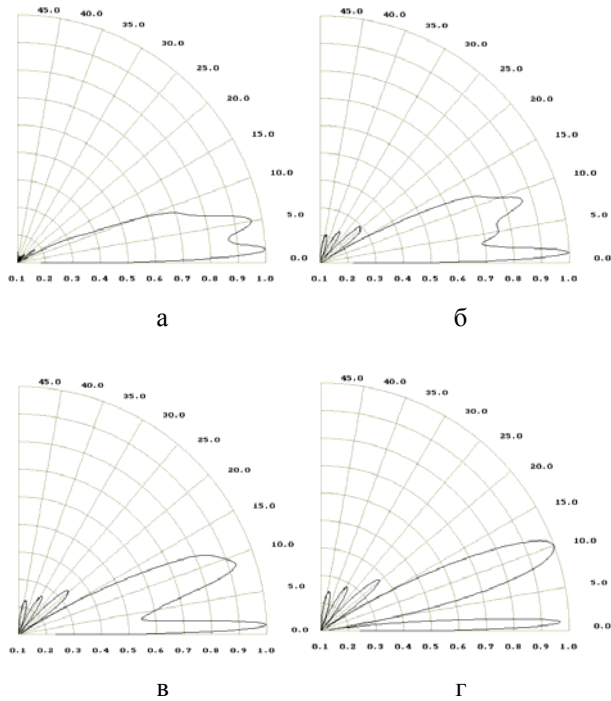


Рис. 1. Приклади результуючих кутомісних ДНА для РЛС 5Н84А у режимі "Нижній луч" при різних значеннях міжканального зрушення фаз $\Delta\varphi_\mu$:
 а – $\Delta\varphi_\mu = 15^\circ$; б – $\Delta\varphi_\mu = 135^\circ$;
 в – $\Delta\varphi_\mu = 171^\circ$; г – $\Delta\varphi_\mu = 201^\circ$

Далі проводяться процедури "схованого сканування" для прийнятої із дальньої зони реалізації просторової хвилі, одержання нормованих автокореляційних функцій (АКФ) реалізацій схованого сканування й формування масиву отриманих сум середньоквадратичних відхилень в однойменних точках автокореляційних функцій прийнятої реалізації й еталонних. Опис даних операцій наведено в роботі [6].

Масив отриманих сум середньоквадратичних відхилень в однойменних точках автокореляційних функцій прийнятої реалізації й очікуваних являє собою пеленгаційну характеристику. Оцінкою кута місця приходу луна-сигналу від повітряного об'єкта $\epsilon_{по}$ буде мати значення ϵ_i , при якому зворотна величина Δ_i буде максимальною.

Розглянемо особливості реалізації вимірювальної системи, коли у вертикальній площині є три елементи решітки (режим роботи РЛС 5Н84А "Верхній промінь").

У цьому випадку є можливість здійснювати "сховане сканування" чотирма результуючими ДНА, отриманими шляхом когерентного підсумовування в різній комбінації реалізацій з верхнього, середнього й нижнього випромінювачів (рис. 2). При цьому

комплексна реалізація прийнятого луна-сигналу з додаткового (нижнього) випромінювача множиться на множник $e^{-j2\Delta\varphi_\mu}$. Значення множника фазового зсуву реалізацій з виходу нижнього випромінювача й діапазон зміни $\Delta\varphi_\mu$ обрані евристично з умови забезпечення необхідних параметрів сканування результуючих ДНА, і в процесі моделювання може уточнюватися.

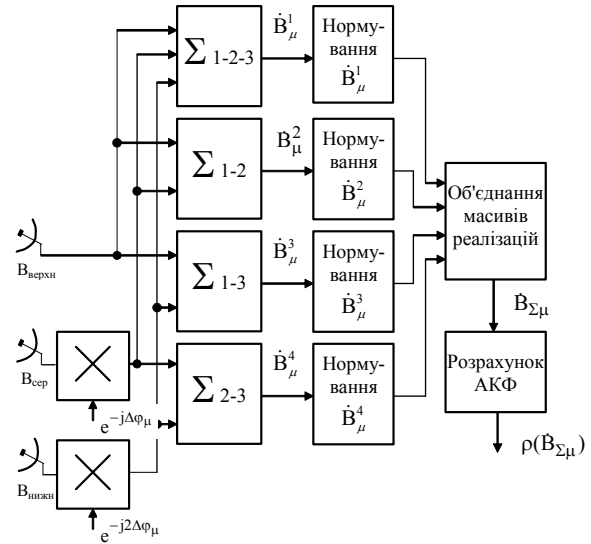


Рис. 2. Принцип формування автокореляційної функції прийнятих реалізацій луна-сигналу при "прихованому скануванні" антени РЛС 5Н84А в режимі "Верхній промінь"

Отримані в процесі здійснення "схованого" сканування ДНА масиви комплексних реалізацій прийнятого луна-сигналу $\dot{V}_\mu^1 \dots \dot{V}_\mu^4$ (рис. 2) поєднуються в загальний масив $\dot{V}_{\Sigma\mu}$ і потім розраховується автокореляційна функція даної реалізації.

Така ж процедура робиться й для еталонних реалізацій просторової хвилі з кожного заданого кутомісного напрямку ϵ_i .

Далі процес визначення кута місця повітряного об'єкта $\epsilon_{по}$ здійснюється відповідно до описаного вище правила.

Синтез алгоритму обробки прийнятих сигналів у режимі виміру висоти стосовно до оглядової РЛС 5Н84А. Виходячи з викладених вище принципів просторово-кореляційного методу для виміру висоти повітряних об'єктів у РЛС 5Н84А необхідно виконати наступну послідовність процедур:

а) одержати комплексні ДНА у вільному просторі, сформовані верхнім, середнім і нижнім випромінювачами антени РЛС;

б) розрахувати комплексні результуючі ДНА, сформовані кожним із трьох випромінювачів, для даної позиції на заданих азимутальних напрямках;

в) одержати комплексні результуючі ДНА РЛС на випромінювання в режимах "Верхній промінь" і "Нижній промінь" для заданих азимутальних напрямків;

г) з певним кроком (наприклад $0,1^\circ$) по куту місця задавати напрямок приходу еталонної просторової хвилі. Зважувати цю хвилю відповідною вибіркою з результуючої ДНА РЛС у режимі випромінювання й шляхом множення на відповідні вибірки з комплексних результуючих ДНА, сформованих окремими випромінювачами, одержувати комплексні реалізації очікуваного (еталонного) сигналу на виходах випромінювачів;

д) у режимі "Нижній промінь" шляхом множення очікуваних реалізацій сигналу на виході середнього випромінювача на $e^{-j\Delta\varphi_\mu}$, де $\Delta\varphi_\mu$ змінюється, як було відзначено вище, від 15° до 201° із заданим кроком, і наступного когерентного підсумовування результату із сигналом на виході верхнього випромінювача одержати набір реалізацій відгуків на задану просторову хвилю при різних зсувах фаз прийнятих коливань, тобто при "схованому" скануванні результуючої кутомісної ДНА РЛС у режимі приймання. Така процедура робиться для набору просторових хвиль, що приходять, наприклад, з напрямків по куту місця від 0° до 30° із заданим кроком по куту місця $\Delta\varepsilon$ й для просторової хвилі з напрямку приходу луна-сигналу $\varepsilon_{\text{по}}$, яке потрібно оцінити. У режимі "Верхній промінь" додатково використовуються очікувані реалізації з нижнього випромінювача, які множаться відповідно на множник $e^{-j2\Delta\varphi_\mu}$. Отримані реалізації із трьох цифрових каналів приймання когерентно підсумовуються в різних комбінаціях (три канали разом, верхній + середній, середній + нижній, верхній + нижній) і поєднуються в один масив, що має розмір, у чотири рази перевищуючий вихідні масиви;

ж) для реалізацій сигналу з напрямку $\varepsilon_{\text{по}}$, отриманих шляхом "схованого сканування", розрахувати автокореляційну функцію. Потім знайти АКФ еталонних реалізацій з напрямків ε_i , де ε_i змінюється від 0° до 30° із кроком $\Delta\varepsilon$;

к) знайти "нев'язання" між автокореляційною функцією реалізації прийнятого сигналу й усіма автокореляційними функціями еталонних реалізацій просторової хвилі у вигляді сум середньоквадратичних відхилень відповідних вибірок;

л) шляхом "перегляду" усіх напрямків від 0° до ε_{max} із кроком $\Delta\varepsilon$ знайти мінімальне значення "нев'язання". Оцінкою $\hat{\varepsilon}_{\text{по}}$ буде значення ε_i еталонної реалізації, при якому забезпечується названа умова;

м) для отриманого $\hat{\varepsilon}_{\text{по}}$ й відомої дальності до об'єкта визначити з використанням, наприклад, еквівалентного радіуса Землі $R_{\text{зе}}$ висоту об'єкта над рівнем моря. Далі визначити відстань до точки на Землі, над якою перебуває об'єкт і по радіальних вибірках рельєфу, отриманих зі цифрової карти місцевості (ЦКМ) [8], знайти висоту рельєфу, а потім і висоту об'єкта над рельєфом.

Методика формування моделі результуючої ДНА на випромінювання й ДНА, сформованих окремими випромінювачами антени РЛС 5Н84А, з використанням фацетно-розсіюючого методу викладена в роботі [9].

Викладений алгоритм пройшов програмну перевірку. Численні реалізації пеленгаційної характеристики для РЛС 5Н84А при різних вхідних впливах і різних рівнях шумів показали можливість однозначної оцінки $\varepsilon_{\text{по}}$ з потенційною точністю не гірше $0,1^\circ$.

Розробка структурної схеми вимірювача висоти виявлених повітряних об'єктів для РЛС 5Н84А. Варіант структурної схеми вимірника висоти (кута місця) виявлених повітряних об'єктів для РЛС 5Н84А, що реалізує запропонований алгоритм обробки прийнятих сигналів, наведений на рис. 3.

Розглянемо порядок його функціонування. Для забезпечення роботи вимірника висоти передбачається мати наступні вихідні дані: результуючі ДНА на приймання, сформовані кожним з випромінювачів антени $\dot{A}_1, \dot{A}_2, \dot{A}_3$ й результуючі ДНА на випромінювання $\dot{A}_{\text{випр}}$ в режимах роботи "Верхній промінь" або "Нижній промінь" (у вигляді масивів комплексних значень нормованих коефіцієнтів підсилення антени на заданих кутомісних напрямках), розраховані із заданим кроком по азимуту для всіх азимутальних напрямків. Розрахунки проводяться завчасно в спецобчислювачі або з використанням електронної обчислювальної машини (ЕОМ), у яку внесені відповідні аркуші цифрових карт місцевості. Дана процедура передбачає:

- уведення географічних координат точки стояння РЛС;

- складання й уведення в спецобчислювач або ЕОМ електронного плану позиції із вказівкою висот елементів і їх електромагнітних властивостей (при необхідності);

- вибірку радіальних профілів місцевості зі ЦКМ і об'єднання з електронним планом позиції;

- розрахунки формованих окремими випромінювачами комплексних ДНА у вільному просторі, з урахуванням впливу навколишньої земної поверхні й результуючої ДНА на випромінювання [7].

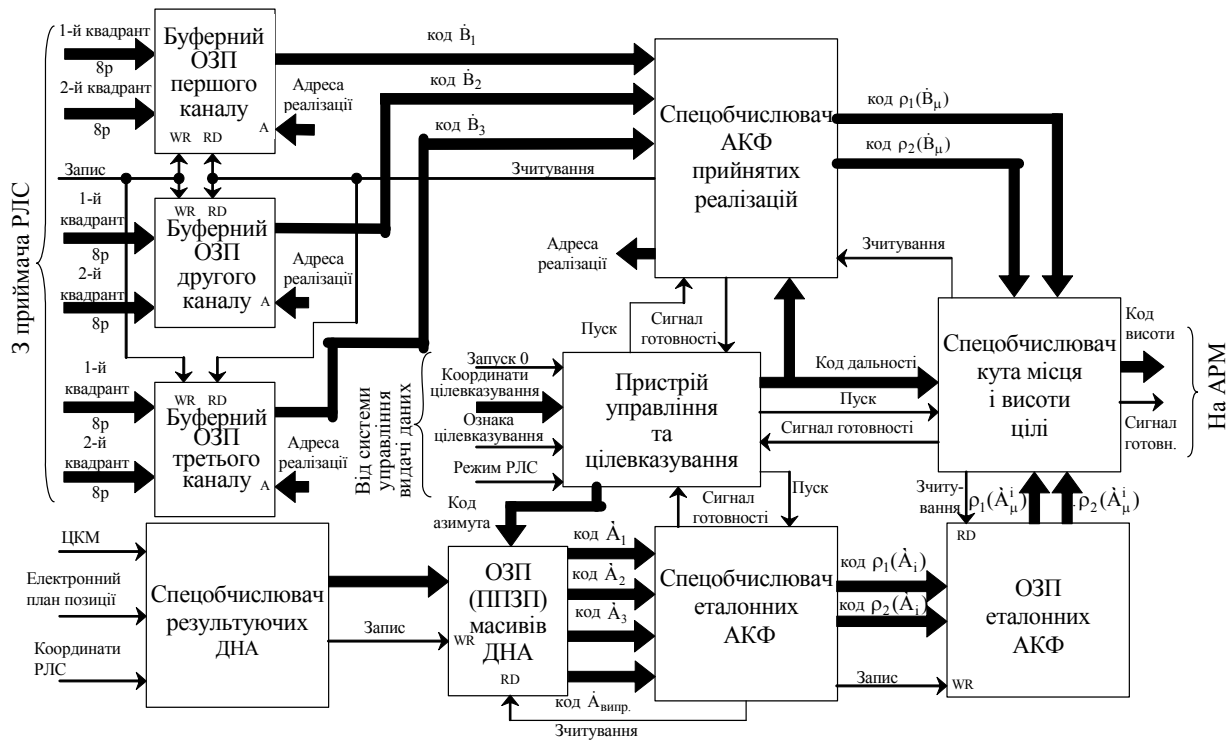


Рис. 3. Структурна схема системи вимірювання висоти виявлених повітряних цілей для РЛС 5Н84А

Отримані масиви записуються в оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) масивів ДНА або перепрограмуємий постійний запам'ятовуючий пристрій (ППЗП). Після виконання даної процедури система виміру висоти готова до роботи.

Попередньо запускається спецобчислювач еталонних АКФ. Проводиться зчитування із запам'ятовувального пристрою комплексних масивів результуючих діаграм направленості $\dot{A}_1, \dot{A}_2, \dot{A}_3, \dot{A}_{\text{випр}}$ необхідного азимутального напрямку, після чого виконується підпрограма визначення із заданим кроком $\Delta\epsilon$ очікуваної огинаючої АКФ функції луна-сигналу від точкової цілі на інтервалі зміни амплітудно-фазового розподілу в розкритті антени у вигляді реакції на просторову хвилю одиничної амплітуди.

У ході огляду простору в буферні ОЗП верхнього, середнього й нижнього каналів по сигналу "цілевказівка" у вигляді послідовності керуючих стробів із пристрою цілевказівки проводиться запис реалізацій \dot{B}_B, \dot{B}_C і \dot{B}_H (дискретних вибірок з кожного елемента розділення), одержуваних на квадратних виходах радіолокаційних приймачів протягом часу, рівного тривалості строба цілевказівки, наприклад, над майданчиком розміром 6×6 км, над якою повинен перебувати повітряний об'єкт, що рухається. Таким чином, у буферних ОЗП концентрується цифрова інформація про параметри сигналів у межах заданих областей простору. Для запису одного такого масиву інформації буде потрібно обсяг

ОЗП близько 2 кбайт у кожному каналі. Буферні ОЗП повинні вмщати інформацію, наприклад, не менш ніж від 200 цілей, у такий спосіб обсяг ОЗП кожного каналу повинен бути не менш 400 кбайт.

При надходженні команди на вимір висоти чергового зазначеного повітряного об'єкта спецобчислювач АКФ прийнятих реалізацій по відповідному адресу здійснює зчитування з буферних ОЗП каналів прийому до буферної пам'яті процесора масиву реалізацій сигналів з відповідної ділянки повітряного простору й виконує підпрограму виявлення пачки луна-сигналів, а потім визначення огинаючих автокореляційної функції для кожної реалізації луна-сигналу в пачці на інтервалі зміни амплітудно-фазового розподілу в розкритті антени.

Після завершення операцій знаходження огинаючих АКФ прийнятих $\rho(\dot{B}_\mu)$ і очікуваних реалізацій $\rho_1(\dot{A}_\mu^i)$ проводиться запуск спецобчислювача кута місця й висоти цілі. При цьому здійснюється зчитування масивів $\rho_1(\dot{B}_\mu), \rho_1(\dot{A}_\mu^i)$ – у режимі "Нижній промінь" або $\rho_2(\dot{B}_\mu), \rho_2(\dot{A}_\mu^i)$ – у режимі "Верхній промінь" і виконання підпрограм знаходження нев'язання огинаючих автокореляційних функцій, отриманих по очікуваних і прийнятих реалізаціях, присвоєння реалізації виявленого луна-сигналу кутової координати очікуваної реалізації з мінімальним нев'язанням і визначення висоти повітряного об'єкта. Дані по висотах, що отримані по ко-

жній реалізації луна-сигналу у виявленій пачці, усереднюються.

При необхідності, одержавши зі ЦКМ параметри рельєфу місцевості в точці стояння РЛС і під виявленим об'єктом, визначається висота польоту об'єкта над поверхнею Землі.

Код обмірюваної висоти цілі передається на автоматизоване робоче місце або блок індикації висоти, де здійснюється її запис у формуляр виявленого об'єкта й відображення.

Конструктивно спецобчислювачі можна реалізувати на швидкодіючих мікропроцесорних пристроях.

Вибір чотирипроцесорного варіанта пристрою обумовлений вимогою високої швидкодії системи виміру висоти для забезпечення її роботи в реальному масштабі часу.

Функції вимірника висоти можна реалізувати й на ЕОМ.

Програмна перевірка функціонування алгоритму обробки прийнятих сигналів у режимі виміру висоти для оглядової РЛС 5Н84А. Програмна перевірка алгоритму обробки прийнятих сигналів у режимі виміру висоти проводилася з метою підтвердження працездатності запропонованого просторово-кореляційного методу при вимірі третьої координати стосовно до двоканальної (режим "Нижній промінь") і триканальної (режим "Верхній промінь") по куту місця побудові приймальної системи модернізованої РЛС 5Н84А.

Для здійснення програмної перевірки функціонування цифрової моделі вимірника висоти повітряних об'єктів був розроблений вимірювальний стенд на базі персональної ЕОМ.

З використанням розробленого стенда проведене програмне налагодження й перевірка алгоритму виміру висоти виявленого повітряного об'єкта стосовно до РЛС 5Н84А в режимах роботи "Нижній промінь" і "Верхній промінь".

У процесі налагодження програми була передбачена можливість зміни коефіцієнта підсилення прийомних каналів і введення міжканального фазового розстроєння. Відшукувалися також раціональні межі й крок зміни амплітудно-фазового розподілу у розкритті антени у вертикальній площині при реалізації "схованого" сканування ДНА РЛС. Передбачалася можливість приймання й обробки імітуємих відбитих від повітряного об'єкта сигналів з різним відношенням сигнал/шум і незалежними реалізаціями шумів на виході приймальних каналів.

На рис. 4–9 наведені приклади пеленгаційних характеристик для декількох вхідних реалізацій сигналів з різними параметрами для різних режимів роботи РЛС.

Знизу пеленгаційних характеристик на рисунках наведені дані про:

- режим роботи РЛС: "Нижній промінь" або "Верхній промінь";
- значення дійсного і виміряного кута міста цілі та похибки виміру;
- відношення сигнал-шум на вході приймача;
- значення амплітудних і фазових нестабільностей приймального тракту.

Пеленгаційні характеристики отримані по одному імпульсу, розташованому приблизно в центрі пачки. Пачки – флюктуючі з різним середнім відношенням сигнал/шум, так що можливі реалізації імпульсів навіть у центрі пачки з малим відношенням сигнал/шум.

Слід зазначити, що в режимі "Нижній промінь" рівень фону пеленгаційних характеристик вище, чим у режимі "Верхній промінь" (порівняти рис. 4 і 5 – для кута місця повітряного об'єкта 1° та рис. 6 і 7 – для кута місця повітряного об'єкта 12°). На краях діапазонів виміру кутів місця також збільшується рівень фону (рис. 6).

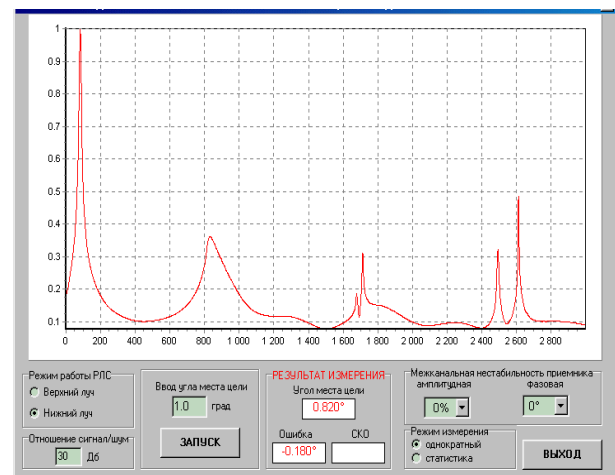


Рис. 4. Пеленгаційна характеристика вимірювача у режимі "Нижній промінь", кут міста цілі 1°

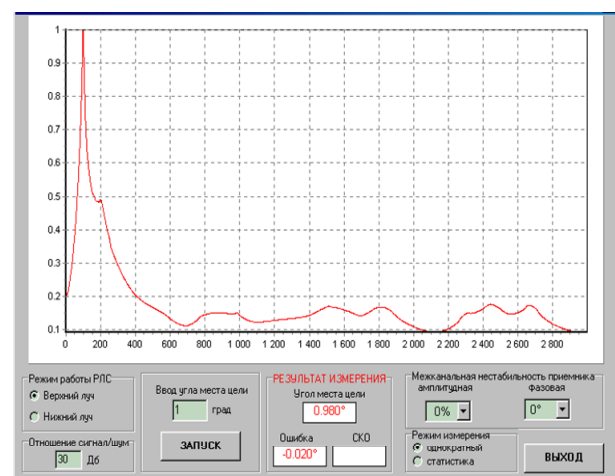


Рис. 5. Пеленгаційна характеристика вимірювача у режимі "Верхній промінь", кут міста цілі 1°

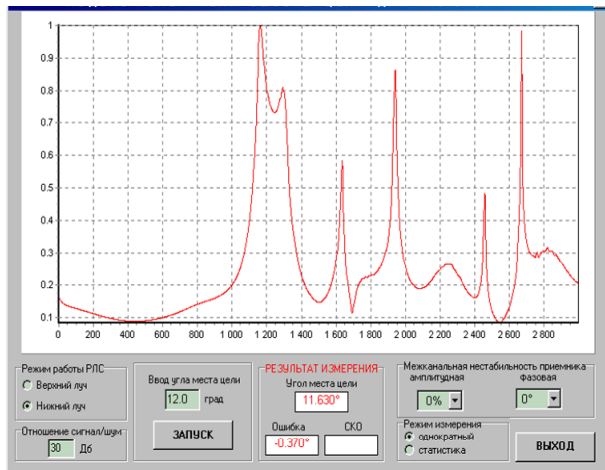


Рис. 6. Пеленгаційна характеристика вимірювача у режимі "Нижній промінь", кут міста цілі 12°

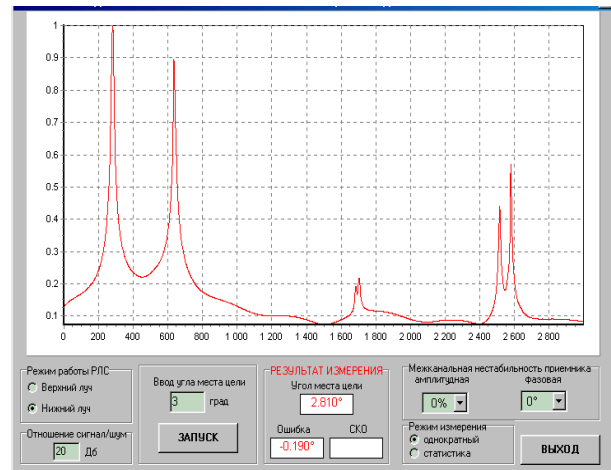


Рис. 9. Пеленгаційна характеристика вимірювача при відношенні сигнал/шум 20 дБ, кут міста цілі 3°

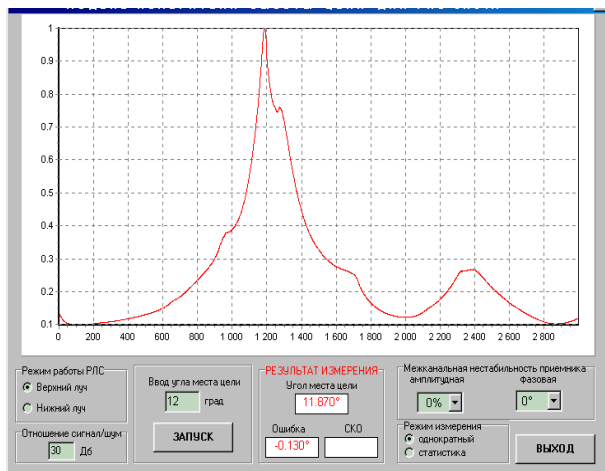


Рис. 7. Пеленгаційна характеристика вимірювача у режимі "Верхній промінь", кут міста цілі 12°

Зменшення відношення сигнал-шум на вході приймача погіршує фоновий рівень пеленгаційної характеристики й точність виміру кутів місця (порівняти рис. 8 і 9 – для відношення сигнал/шум 30 дБ і 20 дБ відповідно). Але їх вплив суттєво менший в режимі "Верхній промінь".

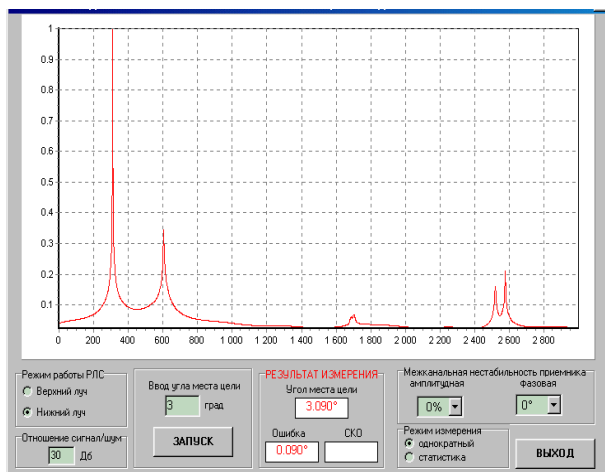


Рис. 8. Пеленгаційна характеристика вимірювача при відношенні сигнал/шум 30 дБ, кут міста цілі 3°

Усі наведені пеленгаційні характеристики отримані при зміні тільки міжканального зсуву фази прийнятих сигналів. Зміни амплітудного розподілу, що проведені в ході моделювання, забезпечували незначні зміни пеленгаційних характеристик, очевидно, у силу малого числа прийомних каналів (випромінювачів антени А0).

Зміна кутового кроку формування еталонних (очікуваних) АКФ із 0,1° до 0,01° при відносинах сигнал/шум менш 35 дБ також не давало істотних змін пеленгаційної характеристики, хоча точність оцінки пеленга при більших відносинах сигнал/шум трохи підвищувалася. Слід також зазначити, що при кроці 0,1° по кутовій координаті відхилення кута місця цілі від еталона на 0,02° практично еквівалентно наявності шумів у сигналі на рівні - 45 дБ, а відхилення на 0,05° на рівні мінус 40 дБ.

Перевірка впливу на точність виміру амплітудних і фазових міжканальних нестабільностей приймача показала, що для досягнення заданої точності кутомісних вимірів у режимі "Верхній промінь" розбіжність характеристик каналів не повинна перевищувати 20%, а фазових – 20°. У режимі "Нижній промінь" вимоги до стабільності прийомного тракту підвищуються, так, наприклад, амплітудна міжканальна нестабільність приймача допускається не гірше 10%, а фазова – не більше 5%.

Висновки

Проведене імітаційне моделювання показало, що використання запропонованого просторово-кореляційного методу виміру кутових координат повітряних об'єктів дозволить реалізувати на двокоординатній РЛС метрового діапазону режим виміру третьої координати. Для практичної його реалізації потрібне проведення додаткових досліджень, що передбачає не тільки виготовлення макета вимірника висоти, але й проведення експериментальних робіт з калібрування моделей "результуючої" ДНА

РЛС і всієї системи виміру кута місця в різних умовах місцевості.

Розглянуті приклади й проведене моделювання показують нові можливості по реалізації режиму

виміру висоти виявлених об'єктів із прийнятною точністю з темпом огляду простору у всіх типах РЛС РТВ.

Список літератури

1. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. (в четырех томах) под общей ред. К.Н. Трофимова. Том 4. Радиолокационные станции и системы. – М.: Сов. радио, 1978. – 376 с.
2. Основы построения радиолокационного вооружения радиотехнических войск: учебник / Под ред. В.В. Литвинова. – Х.: ВИРТА ПВО, 1986. – 348 с.
3. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В.Н. Тяпкин, А.Н. Фомин, Е.Н. Гарин [и др.]; под общ. ред. В.Н. Тяпкина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2011. – 536 с.
4. Теория и техника генерирования, излучения и приема радиолокационных сигналов: учебник / Под ред. Ю.Н. Седышева. – Х.: ВИРТА ПВО, 1986. – 650 с.
5. Профатилова Г.А. Измерение малых углов места фазовым методом в условиях интерференции / Г.А. Профатилова, Г.Н. Соловьев // Вестник московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: приборостроение. – 2013. – №1(90). – С. 2-13.
6. Арасланов М.Р. Корреляционный метод определения угла места воздушных объектов над неровной земной поверхностью / М.Р. Арасланов, В.Г. Гартванов, И.В. Кабаченко, С.В. Пшеничных // Системы обработки информации. – 2002. – №3(19). – С. 73-84.
7. Арасланов М.Р. Фацетно-рассеивающий метод определения результирующих направленных свойств антенны обзорной РЛС в вертикальной плоскости при неровностях окружающей земной поверхности / М.Р. Арасланов, Э.Н. Бабак, В.Г. Гартванов, А.Н. Колесник // Збірник наукових праць Харківського військового університету. – 2001. – №7(37). – С. 51-54.
8. Арасланов М.Р. Автоматическое получение информации о рельефе местности из цифровых карт / М.Р. Арасланов, В.Д. Батыев, Г.Г. Камалтынов, Л.О. Тимошенко // Збірник наукових праць Харківського військового університету. – 1999. – №4(26). – С. 86-94.
9. Гартванов В.Г. Моделирование результирующей диаграммы направленности антенны радиолокатора типа 5Н84А у вертикальной плоскости / В.Г. Гартванов, М.Р. Арасланов, В.Д. Батыев // Системы озброєння і військова техніка. – 2017. – №4(52). – С. 85-94.

References

1. Skolnik, M.I. (1978), “*Spravochnik po radiolokatsii, Tom 4. Radiolokatsionnyie stantsii i sistemyi*” [Radar handbook. Volume 4. Radar stations and systems], Sov. radio, Moscow, 376 p.
2. Litvinov, V.V. (1986), “*Osnovy postroyeniya radiolokatsionnogo vooruzheniya radiotekhnicheskikh voysk: uchebnik*” [Fundamentals of the construction of radar weapons of the radio technical troops: a textbook], VIRTA PVO, Kharkov, 348 p.
3. Tyapkin, V.N., Fomin, A.N. and Garin, E.N. (2011), “*Osnovy postroyeniya radiolokatsionnykh stantsiy radiotekhnicheskikh voysk: uchebnik*” [Fundamentals of the construction of radar stations of radio technical troops: a textbook], Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 536 p.
4. Sedyshev, Yu.N. (1986), “*Teoriya i tekhnika generirovaniya, izlucheniya i priyema radiolokatsionnykh signalov: uchebnik*” [Theory and technique of generation, emission and reception of radar signals: a textbook], VIRTA PVO, Kharkov, 650 p.
5. Profatilova, G.A. and Soloviev, G.N. (2013), “*Izmereniye malykh uglov mesta fazovym metodom v usloviyakh interferentsii*” [Measurement of small angles of a place by a phase method in the conditions of an interference], *Bulletin of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. Series: instrument making*, No. 1(90), pp. 2-13.
6. Araslanov, M.R., Gartvanov, V.G., Kabachenko, I.V. and Pshenichnykh, S.V. (2002), “*Korrelyatsionnyy metod opredeleniya ugla mesta vozdushnykh ob'yektov nad nerovnoy zemnoy poverkhnost'yu*” [Correlation method for determining the elevation angle of air objects over an uneven ground surface], *Information Processing Systems*, No. 3(19), pp. 73-84.
7. Araslanov, M.R., Babak, E.N., Gartvanov, V.G. and Kolesnik, A.N. (2001), “*Fatsetno-rasseivayushchiy metod opredeleniya rezul'tiruyushchikh napravlennykh svoystv anteny obzornoй RLS v vertikal'noy ploskosti pri nerovnostiyakh okruzhayushchey zemnoy poverkhnosti*” [The facet-scattering method for determining the resulting directional properties of the antenna of the survey radar in the vertical plane when unevenness of the surrounding earth's surface], *Scientific Works of Kharkiv Military University*, No. 7(37), pp. 51-54.
8. Araslanov, M.R., Batev, V.D., Kamaltynov, G.G. and Tymoshenko, L.O. (1999), “*Avtomaticheskoye polucheniye informatsii o rel'yefe mestnosti iz tsifrovyykh kart*” [Automatic retrieval of terrain information from digital maps], *Scientific Works of Kharkiv Military University*, No. 4(26), pp. 86-94.
9. Gartvanov, V.G., Araslanov, M.R. and Batev, V.D. (2017) “*Modelyuvannya rezul'tuyuchoyi diahramy napravlennosti anteny radiolokatoru typu 5N84A u vertykal'niy ploschyni*” [Modeling the resulting antenna directivity diagram of the radar 5N84A in the vertical plane], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 4(52), pp. 85-94.

Надійшла до редколегії 19.01.2018

Схвалена до друку 20.03.2018

Відомості про авторів:**Гартованов Володимир Григорович**

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9498-4319>
e-mail: gartovanovvg@gmail.com

Арасланов Михайло Рімович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8911-0470>
e-mail: armiri@ukr.net

Батієв Володимир Джангірович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2917-2952>
e-mail: vdbatyiev@gmail.com

Information about the authors:**Vladimir Gartovanov**

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9498-4319>
e-mail: gartovanovvg@gmail.com

Mikhail Araslanov

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8911-0470>
e-mail: armiri@ukr.net

Vladimir Batyev

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2917-2952>
e-mail: vdbatyiev@gmail.com

**ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ
ТИПА 5Н84А**

В.Г. Гартованов, М.Р. Арасланов, В.Д. Батієв

Предлагается повысить информативность РЛС типа 5Н84А путем реализации на современной цифровой элементной базе так называемого гониометрического метода измерения высоты обнаруженных воздушных объектов. Метод предусматривает скрытое фазовое сканирование результирующей диаграммой направленности в вертикальной плоскости в режиме приема путем изменения амплитудно-фазового распределения в вертикальном раскрытии антенны. Приведен вариант структурной схемы системы измерения высоты обнаруженных воздушных объектов применительно к РЛС 5Н84А.

Ключевые слова: радиолокационная станция, диаграмма направленности антенны, автокорреляционная функция, спецвычислитель.

INCREASING INFORMATIVITY OF RADAR STATIONS TYPE 5N84A

V. Gartovanov, M. Araslanov, V. Batyev

It is proposed to increase the informativeness of the 5N84A radar by implementing the so-called goniometric method of measuring the height of detected air objects on a modern digital element base. The method envisages hidden phase scanning of the resulting directional pattern in a vertical plane in the mode of reception by the change of amplitude-phase distribution in the vertical antenna aperture. The variant of the structural scheme of the system for measuring the height of detected air objects for the radar station 5N84A is given.

Keywords: radar station, antenna directivity diagram, autocorrelation function, special calculator.