

УДК 621.396.969.181.24

А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко, Д.Ю. Свистунов

Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ В ОГЛЯДОВИХ РЛС З ВИКОРИСТАННЯМ НАДШИРОКОСМУГОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

Запропоновані й досліджені алгоритми вимірювання координат азимуту та дальності цілі із застосуванням існуючих вузькосмугових та запропонованих надширокосмугових сигналів. Методом математичного моделювання оцінюються величини середньоквадратичного відхилення похибки вимірювання азимуту, дальності та радіальної швидкості цілі від відношення сигнал-шум, ракурсу та типу цілі. Показано зменшення помилок вимірювання при застосуванні надширокосмугових сигналів.

**Ключові слова:** вимір координат, надширокосмугові сигнали, некогерентне накопичення, оглядова РЛС, радіальна швидкість цілі.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Оцінка параметрів сигналів, що несуть інформацію про координати і характеристики повітряних цілей, є одною з основних операцій первинної обробки радіолокаційних сигналів. Оцінка параметрів починається після того, як прийнято рішення про виявлення цілі. Останні дослідження показали, що надширокосмугові (НШС) сигнали, що забезпечують розрізнення елементів цілі по дальності та мають можливість отримувати їх дальнісні портрети (ДП), можуть використовуватися для виявлення цілей, а при підвищених вимогах до ймовірності правильного виявлення мають перевагу перед вузькосмуговими сигналами [3]. Пропонується розглянути можливості НШС сигналів щодо збільшення точності вимірювання дальності та азимуту цілі в результаті межперіодної обробки виявленої пачки НШС сигналів.

**Аналіз літератури.** В [1] результатами моделювання доведено, що застосування НШС сигналів дозволяє збільшити точність виміру дальності до протяжних цілей. Зокрема, при збільшенні ширини спектра від 1 до 80 МГц точність зростає в 2...4 рази залежно від енергії сигналу. При цифровій обробці інформації, в автоматичному способі її зчитування, оцінка дальності цілі отримується підрахуванням за допомогою двійкових лічильників кількості тактових імпульсів на інтервалі часу між моментом випромінювання зондувальних сигналів і моментом досягнення луна-сигналом максимального значення. Результати вимірювання усереднюються в межах отриманої пачки [2]. При використанні НШС сигналів застосування відомого методу неможливе, внаслідок того, що положення цілі за час прийому всього пакету зміщується в сусідні кільця дальності в залежності від швидкості цілі. Крім того, відбитий НШС сигнал має невизначеність форми та протяжності. Алгоритми, запропоновані в [1], не здійснюють обробки виявленої пачки відбитих від цілі

НШС сигналів, а також не враховують вплив руху цілі. Запропоновано метод вимірювання дальності до цілі при використанні НШС сигналів на основі поєднання аналізу часової затримки і закону залежності величин коефіцієнтів взаємної коваріації відбитих сигналів в межах виявленої пачки відносно центрального відбитого сигналу, що відповідає середині діаграми спрямованості, та застосування алгоритму роботи «лог – масштабового» виявлювача [3].

### Основна частина

**1. Аналіз алгоритмів вимірювання дальності в оглядових РЛС при застосуванні вузькосмугових та НШС сигналів.**

При використанні НШС розрахунок значень часової затримки (кількість дискрет) та визначення коефіцієнтів взаємної коваріації сигналів (дальнісних портретів) в межах виявленої пачки відносно центрального сигналу, дозволяє проводити вирівнювання за часом ДП та проводити їх некогерентне накопичення в межах виявленої пачки. В наслідок цього алгоритм вимірювання дальності цілі полягає в наступному. Після розрахунку автокореляційної функції ДП виявленої пачки (1), де опорним є

центральный дальнісний портрет  $\left| \dot{A}_{M \frac{n}{2}} \right|$ :

$$K'_m = \max_i \sum_{i=-L/2}^{+L/2} \sum_{n=1}^N \left| \dot{A}_{M \frac{n}{2}} \right| * \left| \dot{A}_{(m)(n+i)} \right|, \quad (1)$$

знаходиться вектор значень зсувів ДП щодо центрального:

$$\Delta L_m = |\Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_{M-1}|, \quad (2)$$

при яких автокореляційні функції досягають максимальних значень. Далі некогерентно накопичуємо ДП з урахуванням їх межперіодної часової затримки, яку визначає вектор значень  $\Delta L_m$ :

$$A_n = \sum_{i=-M/2}^{+M/2} \sum_{n=1}^N |\dot{A}_{m(n+L_m)}|; \quad (3)$$

В результаті цього маємо накопичений дальнісний портрет з випадковою величиною затримки в межах одного «вікна» дальності (рис. 1):

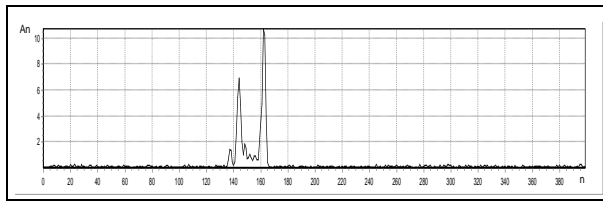


Рис. 1. Приклад накопиченого дальнісного портрету тактичного винищувача F-15

Проблему невизначеності форми та протяжності вирішує відома схема «лог-масштабного» виявлювача [3], яка приймає модель дальностних портретів цілей без пропусків (прямокутні портрети). Сукупність протяжності повітряних цілей перекривається трьома каналами, що відповідають трьом умовним класам цілей: важкий бомбардувальник, тактичний винищувач, крилата ракета [3]. Вимірювання дальності здійснюється після рішення про виявлення цілі, тому схема вимірювача (рис. 2) має відмінності від виявлювача, зокрема відсутність порогового пристрою.

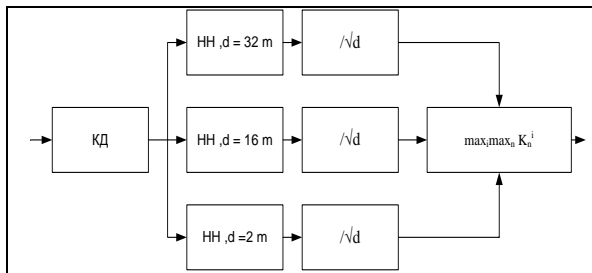


Рис. 2. «Лог-масштабний» вимірювач, (КД) – квадратурний детектор, (НН) – некогерентний накопичувач

У результаті обчислень у кожному «вікні» по дальності одержуємо три вектори значень різного розміру:

$$K_n^i = |K_1, K_2 \dots|. \quad (4)$$

Інформацію про оцінку дальності містить величина затримки ДП, виражена кількістю дискрет  $L_n$ , при якій досягається  $\max^i \max^n K_n^i$ . Окрім оцінки дальності, схема дає грубе розпізнавання типу цілі по інформації номеру каналу. Методом математичного моделювання із використанням програмного пакету по моделюванню електродинаміки вторинного випромінювання BSS (Back Scattering Simulation) [4] отримані значення середньоквадратичних відхилень (СКВ) похибок вимірювання дальності в залежності від ракурсу цілі (моделювання здійснювалось з усередненням через кожні 20°), відношення сигнал-шум

та типів цілей різної протяжності (стратегічного бомбардувальника B-52, тактичного винищувача F-15, крилатої ракети ALCM). Моделювання проводилось за допомогою ЛЧМ зондуючих сигналів з шириною спектра 150 МГц, та частотою повторення імпульсів 800 Гц. На рис. 3 наведена залежність усередненого за ракурсом СКВ помилки вимірювання дальності від відношення сигнал-шум та типу цілі при застосуванні НШС сигналу.

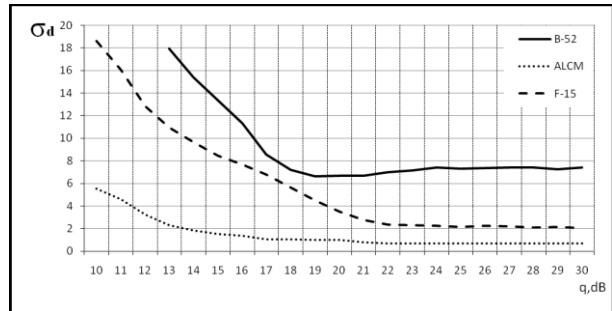


Рис. 3. Залежність СКВ помилки вимірювання дальності від відношення сигнал-шум та типу цілі при застосуванні НШС сигналів

Можливо помітити, що СКВ помилки вимірювання дальності залежить як від протяжності повітряної цілі, так і від відношення сигнал-шум. При відношенні сигнал-шум більших 20 дБ НШС помилки вимірювання дальності стабілізуються та залежать лише від протяжності цілі. Для протяжних цілей (на прикладі стратегічного бомбардувальника B-52) вимірювання дальності при відношенні сигнал-шум менше 13 дБ на бокових ракурсах стає неможливе, а на атакуючих СКВ помилки вимірювання стрімко зростає.

На рис. 4 представлена усереднена за ракурсом залежність СКВ помилки вимірювання дальності від відношення сигнал-шум при застосуванні НШС і вузькосмугового сигналів (на прикладі крилатої ракети ALCM). Результатами моделювання доведено, що застосування НШС сигналів має значну перевагу перед вузькосмуговими сигналами для вимірювання дальності до малорозмірних цілей.

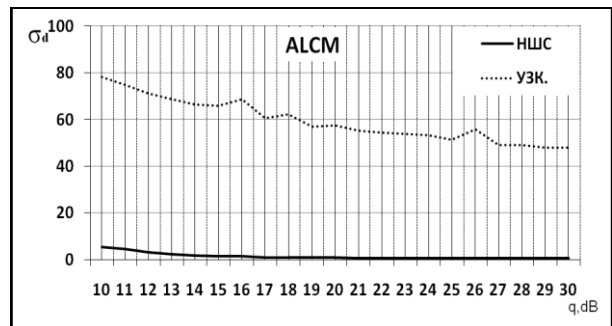


Рис. 4. Залежність СКВ помилки вимірювання дальності від відношення сигнал-шум при застосуванні НШС і вузькосмугового сигналів

**2. Аналіз алгоритмів вимірювання азимуту в оглядових РЛС при застосуванні вузькосмугових та НШС сигналів.**

Існуючі оглядові РЛС (19Ж6, 55Ж6, 1Л13) для оцінки азимута застосовують евристичні алгоритми без урахування форми діаграми спрямованості антени. Ці алгоритми більш прості в реалізації, але призводять до втрат в точності 25 – 30 % [2]. Оцінка азимута отримується як середнє між початком та кінцем виявленої пачки.

Методами математичного моделювання отримані числові характеристики похибки вимірювання азимуту цілі з використанням вузькосмугового та НШС сигналів в залежності від відношення сигнал-шум, типу та ракурсу цілі. На рис. 5 представлені залежності усереднених за ракурсами значень СКВ помилки вимірювання азимуту від відношення сигнал-шум при застосуванні НШС і вузькосмугового сигналів та типів цілей різної протяжності.

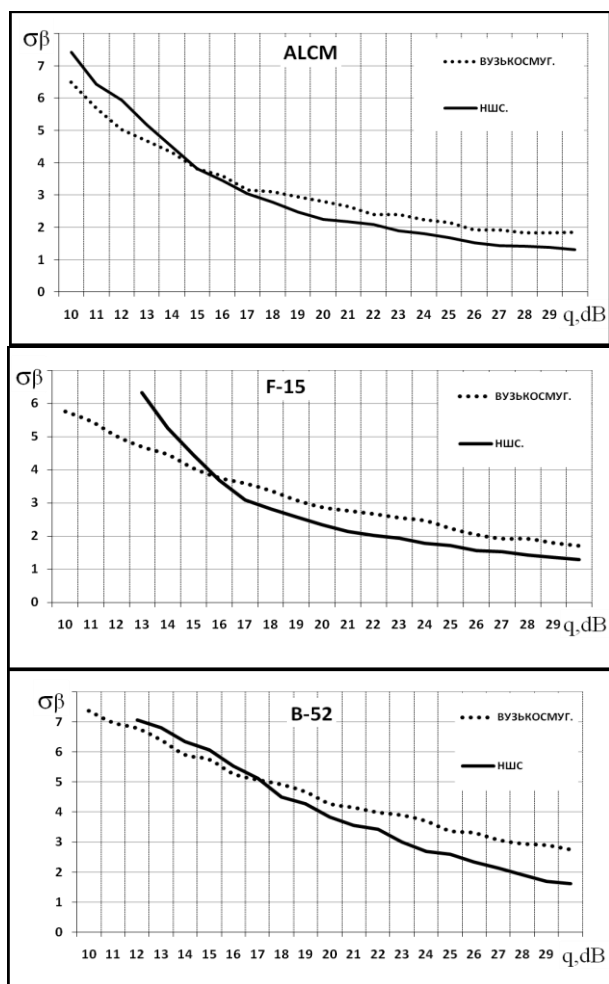


Рис. 5. Залежності СКВ помилки вимірювання азимуту від відношення сигнал-шум при застосуванні НШС і вузькосмугового сигналів

Аналіз отриманих результатів моделювання показав що при відношеннях сигнал-шум більших 17-18 дБ застосування НШС сигналів має перевагу

перед вузькосмуговими по показнику СКВ похибки вимірювання азимуту для усіх типів цілей. Результати моделювання вказують на зростання СКВ похибки вимірювання азимута на бокових ракурсах цілі. Нижче представлені усереднені по відношенню сигнал-шум (12 – 30 дБ) залежності СКВ похибки від ракурсу цілі з використанням НШС та вузькосмугового сигналів для цілей великої протяжності (B-52) та малорозмірної цілі (ALCM) (рис. 6).

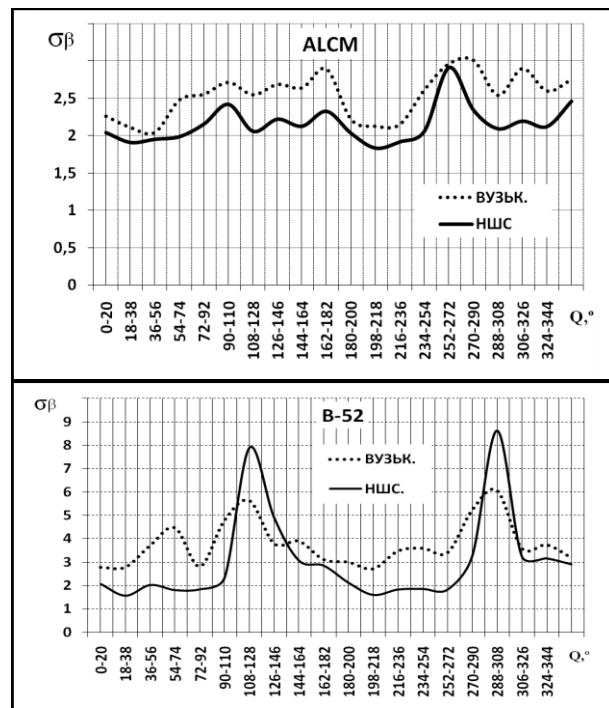


Рис. 6. Залежності СКВ помилки вимірювання азимуту від ракурсу та типу цілі при застосуванні НШС і вузькосмугового сигналів

Використання НШС сигналів призводить до зниження СКВ похибки вимірювання азимуту у всьому діапазоні ракурсів для цілей середньої (F-15) та малої протяжності (ALCM) в порівнянні з використанням вузькосмугових сигналів. Для вимірювання азимуту цілей великої протяжності (B-52) НШС сигнали мають перевагу перед використанням вузькосмугових сигналів, за виключенням бокових ракурсів.

**3. Аналіз алгоритмів вимірювання радіальної швидкості в оглядових РЛС при застосуванні НШС сигналів.**

В оглядових РЛС, що використовують вузькосмугові сигнали, вимір радіальної швидкості цілі виконується по вимірам дальності на кожному оберті антени. Для виконання виміру радіальної швидкості потрібно спостерігати цілі не менш ніж на двох обертах. В оглядовій РЛС при застосуванні НШС сигналів можливе отримання оцінки радіальної швидкості цілі в межах однієї прийнятої пачки сигналів відбитих від цілі методом запропонованим в

[5]. Методом математичного моделювання отримані числові характеристики похибки вимірювання радіальної цілі в залежності від відношення сигнал-шум, типу та ракурсу цілі. На рис. 7 представлені залежності усереднених за ракурсами значень СКВ помилки вимірювання радіальної швидкості від відношення сигнал-шум та типів цілей.

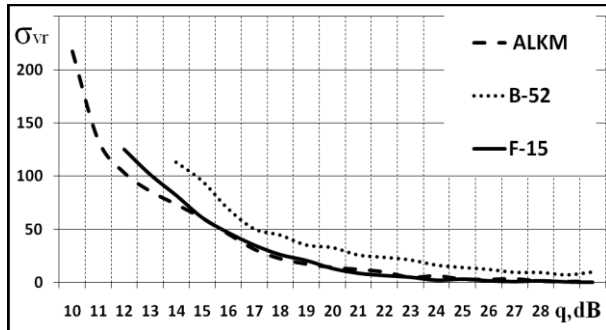


Рис. 7. Залежності СКВ помилки вимірювання радіальної швидкості від відношення сигнал-шум та типу цілі

### Висновки

1. При використанні надширокосмугових сигналів забезпечується значне зниження СКВ помилок вимірювання дальності в оглядових РЛС у всьому діапазоні ракурсів для всіх типів цілей.

2. Застосування надширокосмугових сигналів для вимірювання азимуту повітряної цілі в оглядових РЛС має перевагу перед вузько смуговими при відношеннях сигнал-шум більших 17 – 18 дБ для всіх типів цілей.

3. Необхідно відмітити, що використання надширокосмугових сигналів дозволяє отримувати оцінку радіальної швидкості в межах однієї прийнятої пачки сигналів методом вказаним в [5], що неможливо при використанні вузькосмугового сигналу.

4. Отримані результати у вигляді баз даних значень числових характеристик похибки вимірювання дальності, азимуту, ймовірності правильного виявлення для різних значень ракурсу, відношення сигнал-шум та типу цілі можуть бути використані в інших дослідженнях, де необхідне врахування особливостей вторинного випромінювання.

### Список літератури

1. Леценко С.П. Возможности широкополосных РЛС по измерению координат и сопровождению воздушных целей / С.П. Леценко // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ, 2002. – Вип. 1 (39). – С. 90-92.
2. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: Радио и связь, 1986. – 351 с.
3. Орленко В.М. Особенности обнаружения радиолокационных целей при широкой полосе частот зондирующих сигналов / В.М. Орленко // Прикладная радиоэлектроника. – Х.: АНПРЭ, 2006. – № 4. – С. 528-535.
4. Radar Target Backscattering Simulation Software and User's Manual / S.A. Gorshkov, S.P. Leshchenko, V.M. Orlenko, S.Yu. Sedyshev, Y.D. Shirman. – Boston-London: Artech House, 2002. – 71 p.
5. Ковтунов А.Л. Методи виявлення широкосмугових сигналів та виміру радіальної швидкості цілі в оглядових РЛС./ А.Л. Ковтунов, С.П. Леценко // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 3(32). – С. 78-81.

Надійшла до редколегії 18.08.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.І. Сухаревський, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

### МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ В ОБЗОРНЫХ РЛС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

А.Л. Ковтунов, С.П. Леценко, Д.Ю. Свистунов

Предложены и исследованы алгоритмы измерения координат азимута и дальности цели с применением существующих узкополосных и предлагаемых сверхширокополосных сигналов. Методом математического моделирования оцениваются величины среднеквадратического отклонения ошибки измерения азимута, дальности и радиальной скорости цели от отношения сигнал-шум, курса и типа цели. Показано уменьшения ошибок измерения при применении сверхширокополосных сигналов.

**Ключевые слова:** измерение координат, сверхширокополосные сигналы, некогерентное накопление, обзорная РЛС, радиальная скорость цели.

### METHODS OF AIR TARGETS' COORDINATE MEASURING IN SURVEILLANCE RADARS USING SUPERBROADBAND SIGNALS

A.L. Kovtunov, S.P. Leshenko, D.Yu. Svistunov

The algorithms of measuring the azimuth and target range coordinates using the given narrowband and proposed superbroadband signals are studied. Standard deviation of azimuth range and radial target velocity of signal-noise ratio, target course and type is estimated by the method of mathematical modeling. The decrease of measuring errors while using superbroadband signals is shown.

**Keywords:** coordinate measuring, superbroadband signals, noncoherent accumulation, surveillance radar, radial target velocity.