

ОЦІНКА РАДІАЛЬНИХ РОЗМІРІВ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОЧАСТОТНИХ ЗОНДУЮЧИХ СИГНАЛІВ

У статті проведено аналіз отримання інформації про радіальні розміри повітряних об'єктів з використанням характеристик флуктуацій відбитих сигналів на різних частотах. Розглянуто переваги та недоліки оцінки радіальних розмірів цілей з використанням багаточастотних зондуючих сигналів. Визначено, що для повітряних об'єктів, що відрізняються радіальними розмірами, спостерігається різний характер флуктуацій амплітуд відбитих сигналів, як при зміні кута візування цілі, так і при зміні частоти зондуючого сигналу. Сформовано висновок, що в основі наведених у статті кореляційних ознак розпізнавання, лежить залежність характеру флуктуацій ефективної поверхні розсіювання цілі при перебудові частоти зондуючого сигналу від радіального розміру цілі. Різний характер флуктуацій викликаний різною відстанню між ділянками локального відображення цілі уздовж лінії візування, положення яких визначає фазу розсіяної хвилі і напрям її приходу.

Ключові слова: багаточастотні сигнали, ділянка локального відображення, зондуючий сигнал, повітряний об'єкт, ефективна поверхня розсіювання.

Вступ та постановка задачі. Використання замість однієї частоти в сигналі, сукупності частот, що лежать в певній смузі, дозволяє підвищити ступінь інформативності радіотехнічних систем, оскільки кількість інформації, яка може бути передана в одиницю часу, виявляється прямо пропорційно цій смузі. Одним із шляхів отримання інформації про радіальні розміри повітряних об'єктів (ПО) є використання характеру флуктуацій відбитих сигналів на різних частотах. Зазначені флуктуації обумовлені змінами набігу фаз від різних ділянок локального відображення (ДЛВ) на «освітленій» поверхні цілі до фазового центру антенної системи радіолокаційної станції (РЛС) як при зміні кута візування цілі, так і при перебудові частоти зондуючого сигналу (ЗС). У більшості випадків вдається використовувати тільки амплітудну інформацію, яка залежить від інтерференційних ефектів вторинного випромінювання на досить високих частотах [1].

Для повітряних об'єктів, що відрізняються радіальними розмірами, спостерігається різний характер флуктуацій амплітуд відбитих сигналів як при зміні кута візування цілі, так і при зміні частоти зондуючого сигналу.

Однією з розпізнавальних ознак розпізнавання цілей, що відрізняються радіальними розмірами, є запропонований параметр ε , який характеризує частотну кореляцію флуктуацій ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) цілі при дискретній перебудові частоти сигналу РЛС і визначається виразом

$$\varepsilon = \frac{\sum_{m=1}^{S-1} |U^2(f_{m+1}) - U^2(f_m)|}{\sum_{m=1}^S U^2(f_m)}, \quad (1)$$

де $U^2(f_m)$ – амплітуда відбитого ціллю сигналу на частоті f_m , S – число частот багаточастотного сигналу (БЧС). Нормировка суми модулів різниці сигналів, відбитих від цілі, на суміжних частотах БЧС на суму сигналів, відбитих від цілі, на всіх частотах забезпечує інваріантність ознаки розпізнавання до зміни відстані від РЛС до цілі. Розрахувавши значення ознаки розпізнавання ε , можна класифікувати цілі за ознакою «радіальна протяжність». Застосування БЧС в цьому способі розпізнавання необхідно для отримання середнього значення модуля різниці відбитих від цілі сигналів, рознесених по частоті на величину ΔF , і його нормування.

Виходячи з цього, вираз (1) можна переписати у вигляді:

$$\varepsilon = \frac{|\sigma(f) - \sigma(f + \Delta F)|}{\bar{\sigma}} = \frac{E(\Delta F)}{\bar{\sigma}}, \quad (2)$$

де позначення $E(\Delta F) = |\sigma(f) - \sigma(f + \Delta F)|$ прийнято для того, щоб підкреслити залежність ознаки розпізнавання ε від розносу частот БЧС; σ – ЕПР цілі. Рознос суміжних частот ΔF вибирається з інтервалу кореляції найбільшою з розпізнаваних цілей.

Отримано аналітичний опис ознаки $E(\Delta F)/\bar{\sigma}$ для групової зосередженої цілі:

$$\frac{E(\Delta F)}{\bar{\sigma}} = \frac{\sqrt[4]{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N y_i y_j \sin^2 \left[\frac{2\pi \Delta F}{c} (\Delta r_j - \Delta r_i) \right]}}{\sqrt{\rho \sum_{i=1}^N y_i}}, \quad (3)$$

де N – число «блискучих» елементів на «освітленій» поверхні цілі; $\sigma_{i(j)}$ – ЕПР «блискучих» елементів, які не залежать від зміни частоти в обмеженому діапазоні; $\Delta r_{i(j)}$ – зміщення $i(j)$ -го «блискучого» елемента уздовж лінії візування РЛС щодо першого елемента; c – швидкість поширення електромагнітних хвиль. [2]

Залежність ознаки розпізнавання $E(\Delta F)/\bar{\sigma}$ від ΔF і $\Delta r_{j(i)}$ показує його чутливість до радіального розміру цілі, при фіксованому розносі частот. Однак не всі РЛС мають можливість випромінювати багаточастотний сигнал з необхідними параметрами для розпізнавання ПО. Тому, взявши до уваги аналогію характеру флуктуацій миттєвої ЕПР ПО різної протяжності як при зміні несучої частоти ЗС, так і кута візування, проведення усереднення за рахунок зміни несучої частоти ЗС при отриманні ознаки розпізнавання ε можна замінити усередненням за рахунок зміни кута візування цілі при використанні ЗС всього на двох частотах. Таким чином, вираз для обчислення ознаки розпізнавання ε при використанні двохчастотного ЗС прийме вигляд:

$$\varepsilon = \frac{E(\Delta F)}{\bar{\sigma}} = \frac{\sum_{m=1}^M |U_m^2(f) - U_m^2(f + \Delta F)|}{0,5 \sum_{m=1}^M (U_m^2(f) + U_m^2(f + \Delta F))}, \quad (4)$$

де M – кількість оглядів, за які проводиться усереднення; 0,5 – нормуючий множник, що враховує знаходження середньої ЕПР цілі $\bar{\sigma}$ по двохчастотному сигналу. Аналітичний опис ознаки розпізнавання (3) буде справедливо і для даного способу обчислення ознаки.

Крім того, в РЛС з гнучким поєднанням режимів виявлення і розпізнавання для отримання високих показників якості розпізнавання ПО за допомогою ознаки $E(\Delta F)/\bar{\sigma}$ можливе поєднання двох-і багаточастотних способів розпізнавання, а саме поєднання усереднення, як за різними оглядам, так і за рахунок зміни несучої частоти. Це дозволить зменшити кількість звернень до цілі для проведення усереднення, а значить і час, що витрачається на проведення розпізнавання.

Таким чином, можна виділити два способи розрахунку значень ознаки розпізнавання ε , як відношення середнього значення модуля різниці сигналів, рознесених по частоті, до середньої ЕПР цілі: амплітудний багаточастотний спосіб розпізнавання при дискретній перебудові частоти ЗС і амплітудний двохчастотний спосіб розпізнавання з усередненням по числу незалежних звернень до цілі парами частот.

Для оцінки ефективності розпізнавання класів повітряних цілей за ознакою «радіальна протяжність» з використанням двохчастотного ЗС були проведені експериментальні дослідження на РЛС чергового режиму в різних режимах її роботи. [3]

На рисунку 1 представлені гістограми розподілу ознаки розпізнавання $\overline{E(\Delta F)}/\overline{\sigma}$ для літаків Як-52 і Ан-26, як представників класів – літак середнього розміру і літак малого розміру при числі оглядів, обраних для усереднення, $M = 10$. Оцінка достовірності розпізнавання проводилася за правилом максимальної правдоподібності і склала в середньому 94%.

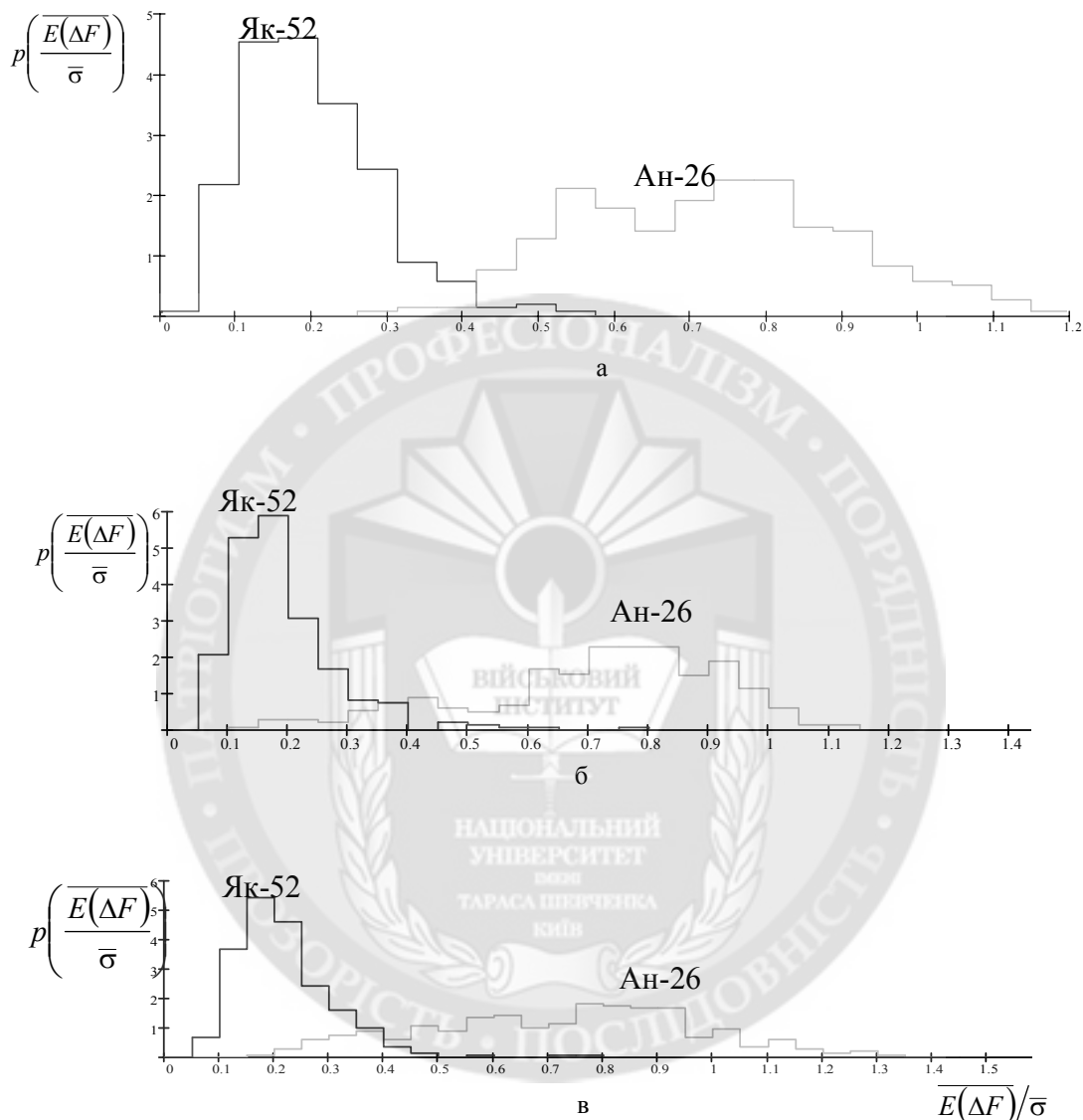


Рис. 1. Гістограми розподілу ознаки розпізнавання в різних режимах роботи РЛС: а – амплітудний; б – некогерентного накопичення; в – швидкого перетворення Фур'є

Сутність способів розпізнавання полягає в знаходженні взаємозв'язку амплітуд (потужностей) сигналів, рознесених по частоті. Чим більше розмір цілі, тим цей взаємозв'язок менше. Застосування БЧС необхідно лише для заміни усереднення за часом (по реалізаціям цілі), розподілених на несучій частоті, що може скоротити час на розпізнавання до одного контакту з ціллю (за один огляд).

Висновки. Таким чином, в основі наведених у статті кореляційних ознак розпізнавання лежить залежність характеру флуктуацій ЕПР цілі при перебудові частоти ЗС від радіального розміру цілі. Різний характер флуктуацій викликаний різною відстанню між ДЛВ цілі уздовж лінії візування, положення яких визначає фазу розсіяної хвилі і напрям її приходу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ширман Я.Д., Горшков С. А., Лещенко С. П. и др. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование//Зарубежная радиоэлектроника. 1996. № 11. С. 3–63.
2. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн. / А.П.Преображенский // Воронеж, Издательство Научная книга, 2007 – 248 с.
3. Штагер Е. А. Рассеяние радиоволн на телах сложной формы / Е. А. Штагер //М: Радио и связь, 1986, 184 с.

Рецензент: д.т.н., проф. **Ленков С.В.**, начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

**к.воен.н. Никифоров Н.Н., к.т.н., доц. Шваб В.К.,
к.т.н., с.н.с. Охрамович М.Н., Лалетин С.П.**

ОЦЕНКА РАДИАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОЧАСТОТНЫХ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ

В статье проведен анализ получения информации о радиальных размерах воздушных объектов с использованием характеристик флуктуаций отраженных сигналов на разных частотах. Рассмотрены преимущества и недостатки оценки радиальных размеров целей с использованием многочастотных зондирующих сигналов. Определено, что для воздушных объектов, отличающихся радиальными размерами, наблюдается различный характер флуктуаций амплитуд отраженных сигналов, как при изменении угла визирования цели, так и при изменении частоты зондирующего сигнала. Сформулирован вывод, что в основе приведенных в статье корреляционных признаков распознавания, лежит зависимость характера флуктуаций эффективной поверхности рассеивания цели при перестройке частоты зондирующего сигнала от радиального размера цели. Различный характер флуктуаций вызван разным расстоянием между УЛО цели вдоль линии визирования, положение которых определяет фазу рассеянной волны и направление ее прихода.

Ключевые слова: многочастотные сигналы, участок локального отражения, зондирующий сигнал, воздушный объект, эффективная поверхность рассеивания.

**Ph.D. Nikiforov N.N., Ph.D. Schwab V.K., Ph.D. Ohranovich M.M., Laletin S.P.
AIR TARGETS RADIAL SIZE ASSESSMENT USING MULTI-FREQUENCY PROBING
SIGNALS**

The author analyzes obtaining information about air targets radial sizes using characteristics of the reflected signals fluctuations at different frequencies. The advantages and disadvantages of the air targets radial sizes assessment using multi-frequency probing signals have been addressed. It has been defined that air objects differing radial dimensions have a different nature of the reflected signals amplitudes fluctuations while changing both the antenna look angle and probing signal frequency. The conclusion was made that the basis for the stated in the article correlation recognition features is the dependence of the character of fluctuations of the effective target scattering surface while restructuring the probing signal frequency from the radial size of the target. The different nature of fluctuations was caused by the different distances between the local reflection section of the target along the line of alignment, the position of which determines the scattered wave phase and the direction of its arrival.

Keywords: multi-frequency signals, local reflection section, probing signal, air object, effective target scattering surface.