

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ КОЕФІЦІЄНТА БЕЗЛУННОСТІ БЕЗЛУНОВИХ КАМЕР НВЧ

У статті проведений аналіз можливих методів виміру радіолокаційних характеристик повітряних об'єктів. Проведена їх характеристика і запропонований метод електродинамічного моделювання, що враховує нелінійності тракту проходження сигналу і ефекти його перевідбиття, вклад яких практично неможливо оцінити іншими методами. Запропонований модифікований метод виміру коефіцієнта безлунності камер НВЧ і структурна схема установки для його виміру.

Ключові слова: камера НВЧ, макет, повітряний об'єкт.

Вступ

Використання каталогу радіолокаційних характеристик (РЛХ) повітряних об'єктів (ПО) в системах розпізнавання дозволить з більшою вірогідністю проводити їх класифікацію. Проте натурні виміри таких характеристик спряжено з рядом труднощів, основними з яких є організаційні незгодженості і висока собівартість.

Вирішення даної проблеми

Найбільш доступним і дешевим способом отримання каталогів РЛХ ПО є метод електродинамічного моделювання з використанням безлунових камер (БлнК) НВЧ, де в якості ПО застосовуються їх точні зменшені копії. Відоме значне число робіт, як наших співвітчизників, так і зарубіжних авторів, присвячених моделюванню [1 – 11] і методам безпосереднього виміру розсіяної потужності у безлунових камерах [12].

У цій статті приведений модифікований метод безпосереднього виміру розсіяної потужності, коли приймальна антена розташовується поза об'ємом БлнК.

Метою даної роботи є розгляд із загальних позицій модифікованого методу виміру величини коефіцієнта безлунності (K_B) БлнК НВЧ. Сучасний етап розвитку процесу виміру РЛХ ПО припускає два основні методи моделювання: математичне і фізичне. При рішенні завдань математичного моделювання основою для дослідження є чисельні методи. Для отримання РЛХ ПО, тобто об'єктів складної форми, схильних до випадкових дій або що мають стохастичну структуру, потрібне використання швидкодіючих ЕОМ, що пов'язано з відтворенням, як різних ракурсів повітряної цілі, так і її електродинамічної взаємодії з електромагнітним полем зондуючого сигналу.

Основними недоліками, що проявляються при машинній реалізації методів математичного моделювання процесу виміру РЛХ ПО, є: обмежена точність представлення поверхні імітаційних моделей, а у ряді випадків неповна визначеність в математичному описі цих поверхонь; складність і неоднозначність рішення електродинамічної задачі взаємодії імітаційних моделей ПО з плоскою електромагнітною хвилею зондуючих сигналів, особливо у разі моделей, що рухаються.

При фізичному моделюванні досліджувані процеси або об'єкти відтворюються зі збереженням їх фізичної природи (натурне моделювання), або з використанням подібних фізичних явищ (масштабне моделювання).

Натурне моделювання процесу виміру РЛХ вимагає створення дуже коштовних макетів РЛС, що опромінюють об'єкти. Для виміру РЛХ ПО під різними ракурсами потрібний або обліт цих об'єктів навкруги РЛС, або переміщення РЛС навколо них, розташованих на землі. У першому випадку вимір РЛХ буде дуже коштовним процесом, а в другому практично не вирішується задача пригнічення відображень, що заважають, від землі і місцевих предметів.

Масштабне моделювання характеризується, передусім, тим, що дослідження проводяться на фізичних моделях, що мають фізичну подібність, тобто що зберігають повністю або хоч би в основному природу явищ. Прикладом може служити застосування електродинамічного моделювання з використанням безлунових камер для дослідження процесів поширення радіохвиль.

Електродинамічне моделювання є основним методом отримання РЛХ макетів різних

ПО в широкому діапазоні частот. При виконанні вимог електродинамічної подібності в отримуваних результатах враховуються нелінійності тракту проходження сигналу і ефекти його переопромінення, вклад яких практично неможливо оцінити іншими методами.

В качестве моделей применяют точные уменьшенные копии исследуемых радиолокационных объектов. При этом размеры модели l_m и цели l_c , а также длины волны λ_m , λ сигналов, которыми отличаются модель РЛС и реальная РЛС соответственно, должны быть такими, чтобы выполнялось условие [1, 12]:

$$l_o/l_m = \lambda_m/\lambda. \quad (1)$$

Тоді ефективна відзеркалювальна поверхня (ЕВП) реального об'єкта після отримання ЕВП її моделі складе $\sigma_o = \sigma_o \cdot \lambda^2 / \lambda_m^2$. Крім того, для зменшення погрішностей при отриманні РЛХ, необхідно, по-перше, забезпечити плоский фронт хвилі, що опромінює модель, тобто модель треба розташовувати від передавальної антени на відстані не менше [13]

$$r_{\min \text{ пер}} = \frac{D}{4} + \frac{D}{2 \frac{D}{\lambda}} \quad (2)$$

де $r_{\min \text{ пер}}$ - мінімальна допустима відстань від передавальної антени до об'єкту опромінення; D - розмір апертури передавальної антени; λ - довжина хвилі, що опромінює об'єкт.

Мінімальна відстань до об'єкту дослідження повинна забезпечуватися виконанням нерівності

$$r_{\min \text{ пр}} \geq \frac{l_{m \max}}{4} + \frac{l_{m \max}}{2 \frac{l_{m \max}}{\lambda}} \quad (3)$$

де $r_{\min \text{ пр}}$ - мінімальна допустима відстань від об'єкту опромінення до приймальної антени РЛС; $l_{m \max}$ - максимальний розмір елемента конструкції моделі.

Практично, у разі поєднаної РЛС, відстань від антен до моделі ПО вибирають значно більшим з двох значень $r_{\min \text{ пер}}$ і $r_{\min \text{ пр}}$.

Для зменшення погрішностей виміру, обумовлених паразитними відображеннями, як правило, модель поміщають у безлунову камеру. Основним завданням, якої є послаблення до необхідної величини відображень від поверхонь, що обмежують її об'єм. Так створюються умови "вільного простору" усередині замкнутого об'єму, при якому поле джерела не спотворюється за рахунок відображень.

Для виміру РЛХ, що мають значний перепад рівнів відбитих від ПО сигналів, доцільне облицювання внутрішньої поверхні БлнК радіопоглинаючими матеріалами (РПМ), що забезпечують мінімальну величину K_B в широкому діапазоні частот і кутів падіння електромагнітної хвилі.

До таких РПМ відносяться радіопоглинаючі матеріали розсіювального типу, які характеризуються значною поперечною неоднорідністю і можуть бути умовно об'єднані класом шиповидних або розсіювальних матеріалів. Поглинання радіохвиль в таких матеріалах, відбувається при їх багатократному перевідбитті. Електромагнітна хвиля, що впала на радіопоглинаючі піраміди, зазнає багатократне переопромінення між їх стінками до практично повного загасання. Число перевідбиттів тим більше, чим менше кут при вершині піраміди.

Радіопоглинаючі матеріали пірамідальної форми мають коефіцієнт відображення в області міліметрових і сантиметрових хвиль - 40...- 50 Дб [14].

Для виміру величини K_B БлнК запропонований модифікований метод безпосереднього виміру розсіяної потужності [14]. Необхідність модернізації відомого методу виміру K_B викликана тим, що при вимірі РЛХ ПО приймальна антена розташовується не усередині об'єму БлнК, а поряд з передавальною антеною.

Тому в знаменнику вираження для K_B доцільно використати не проникаючий по бічних і задніх пелюстках передавальної і приймальної антен сигнал передавача, флюктууючий при обертанні приймальної антени за випадковим законом, а сигнал, що приймається головною

пелюсткою приймальної антени від металевого листа, опромінюваного слабконаправленою передавальною антеною, тобто

$$K_B = \frac{\frac{P_{\text{пер}} G_{\text{пер}}}{(4\pi r_{\text{Блнк}}^2)^2} \sigma_{\text{Блнк}} A_{\text{еф}}}{\frac{P_{\text{пер}} G_{\text{пер}}}{(4\pi r_m^2)^2} \sigma_m A_{\text{еф}}} \quad (4)$$

де $P_{\text{пер}}$, $G_{\text{пер}}$ - потужність випромінювання і коефіцієнт посилення передавальної антени відповідно; $\sigma_{\text{Блнк}}$ і $r_{\text{Блнк}}$ - еквівалент ЕПР площі Блнк, що відбиває сигнал у напрямі головної пелюстки приймальної антени і відстань від цієї площі до передавальної і приймальної антен відповідно; $A_{\text{еф}}$ - ефективна площа приймальної антени; σ_m - ЕПР металевого листа, розташованого у напрямі головної пелюстки приймальної антени на відстані r_m від неї.

З останнього вираження виходить, що вимірний цим методом K_B пропорційний коефіцієнту відображення РПМ : $K_B = (\sigma_{\text{Блнк}}/\sigma_m)(r_m/r_{\text{Блнк}})^4$. Структурна схема виміру K_B описаним методом представлена на рис.1.

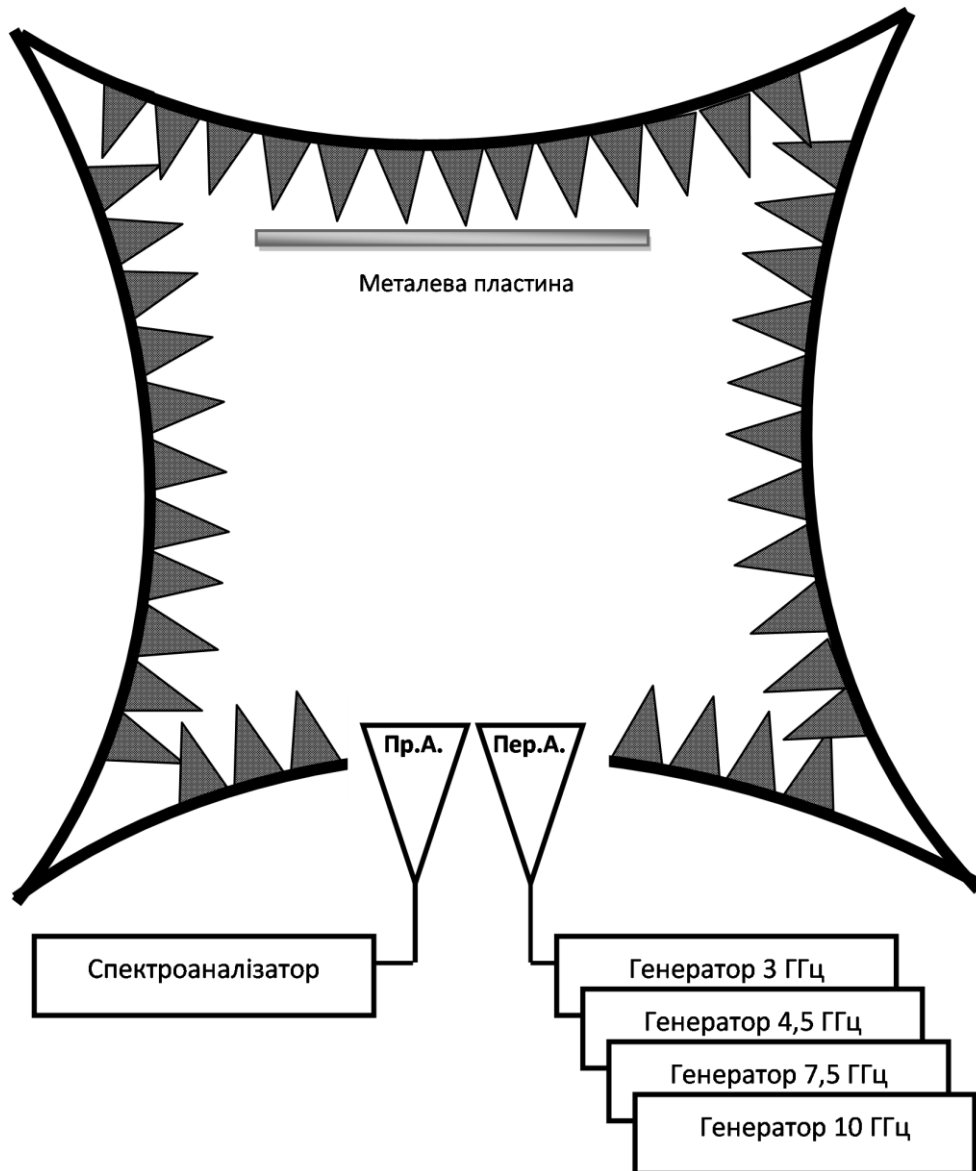


Рис.1. Структурна схема вимірювання коефіцієнта K_B

Для реалізації цього методу в якості слабконаправленої передавальної антени застосовується прямокутна рупорна антена з апертурою 12 см. Роль приймальної антени виконує прямокутна рупорна антена Пб-23, що призначена для лабораторних, високоточних вимірів і має вузьку діаграму спрямованості.

Методика виміру K_B полягає в наступному. Слабконаправленою передавальною антеною рівномірно опромінюється уся безлунова зона БлнК, а вузьконаправлена приймальна антена на першому етапі фокусується на металеву пластину, розташовану на протилежній стороні БлнК. Розмір металевієї пластини складає 0.25×0.5 м. На спектроаналізаторі вводиться загасання в 100дБ, і робиться вимір інтенсивності зондуючого сигналу, відбитого від металевієї пластини. Значення свідчення атенюатора фіксується.

Потім металеву пластину з БлнК прибирають. На другому етапі приймальна антена Пб-23 фокусується послідовно на усі ділянки БлнК. На спектроаналізаторі робиться вимір інтенсивності відображення від цих ділянок. Зменшуючи загасання, що вводиться атенюатором, домагаються такого ж значення інтенсивності сигналу, відбитого від поверхні ділянки БлнК, що і за наявності металевієї пластини. Різниця у свідченнях значень шкали атенюатора дає оцінку коефіцієнта K_B аналізованої ділянки БлнК.

Аналогічним чином проводяться виміри в усьому сантиметровому діапазоні радіохвиль.

Таким чином, використовуючи вищевикладений метод, проведені виміри мінімальних значень K_B , які знаходяться в межах -30дБ, -40дБ, -47дБ і -52дБ для частот $f_1=3$ ГГц, $f_2=4.5$ ГГц, $f_3=7.5$ ГГц, $f_4=10$ ГГц відповідно. Погрішність визначення метрологічних характеристик не перевищувала 1дБ. При цьому БлнК мала стіни криволінійної подушкоподібної форми з розмірами: $8.3 \times 5.2 \times 4$ м (рис.1); РПМ розсіювального типу що складається з 8400 пірамід з висотою -320мм, кутом при вершині 30 град (рис.2). При таких розмірах в діапазоні кутів падіння $Q = (0...40)$ градусів число відображень кожного променя складає не менше чотирьох і поглинання при кожному відображенні приблизно 5...12 дБ.



Рис 2. Стінки БлнК вкриті РПМ пірамідальної форми.

Висновки

При електродинамічному моделюванні РЛХ макетів ПО в широкому діапазоні частот з використанням БлнК НВЧ враховуються нелінійності тракту проходження сигналу і ефекти

його переопромінення, вклад яких практично неможливо оцінити іншими методами. Тому, в умовах обмеженого фінансування наукових досліджень, БлнК є практично єдиним способом, що дозволяє проводити дослідження і отримувати реальні РЛХ різних моделей об'єктів як з використанням простих, так і складних (багаточастотних) сигналів.

При цьому показник K_B є дуже важливим параметром, який показує міру достовірності вимірів, що проводяться.

ЛІТЕРАТУРА

1. Веников В.А., Веников В.Г. Теория подобия и моделирования. - М.: Высш.школа, 1984 - 439с.
2. Любарский Г.Я. Математическое моделирование и эксперимент. - Киев: Наукова думка, 1987 - 160с.
3. Максимей И.В. Математическое моделирование больших систем. - Минск: Высш.школа, 1985 - 119с.
4. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. - М.: Радио и связь, 1985 - 200с.
5. Фортовой А.А. Системное моделирование на ЭВМ. - Харьков: МО СССР, 1987 - 232с
6. Тамразов А.М. Планирование и анализ регрессионных экспериментов в технологических исследованиях. Киев: Наукова думка, 1987 -176с.
7. Егоров А.Б., Азаров Г.Н., Коваль А.В. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента. - Х.: Вища школа, 1986 - 240с.
8. Демидов Б.А. Методы военно-научных исследований часть 4. X. МО СССР, 1989 - 594с.
9. Молчанов В.П. Основы математического моделирования. Харьков: МО СССР, 1990 - 96с.
10. Математическое моделирование и эксперимент./ Любарский Г.Я., Слабоспицкий Р.П., Хажмурадов М.А., Адушкина Р.И., - Киев:Наук. думка, 1987-160с.
11. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник /Ширман Я.Д., Лосев Ю.И., Минервин Н.Н., Москвитин С.В., Горшков С.А., Леховицкий Д.И., Левченко Л.С./под ред. Ширмана Я.Д.-М.:ЗАО "МАКВИС", 1998-828с.: ил., библи. 539 назв.
12. Небабин В.Г., Сергеев В.В. Методы и техника радиолокационного распознавания. М.: Радио и связь, 1984, с. 121
13. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехн. спец. вузов.-М.:Высш. шк.,1988-432с.: ил.
14. Мицмахер М.Ю., Торгованов В.А. Безэховые камеры СВЧ.- М.: Радио и связь 1982-128с.,ил.

Надійшла: 17.11.2013р.

Рецензент: д.т.н., професор Вишнівський В.В.