

УДК. 621.396.677.859

Є.О. Рябоконт

Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПОЛІПШЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СПРЯМОВАНOSTІ СИСТЕМ АНТЕНА-ОБТІЧНИК ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ В КОНСТРУКЦІЇ СТІНКИ ОБТІЧНИКА

Досліджуються переваги використання радіопрозорих матеріалів з різною діелектричною проникністю в конструкції стінки обтічника для поліпшення характеристик спрямованості системи антена – обтічник. Розглянуто двовимірну антенну решітку укриту обтічником з великою кривизною поверхні. Для проведення розрахунків застосований метод, що базується на рішенні об'ємних інтегральних рівнянь відносно повного поля в стінці обтічника.

Ключові слова: радіопрозорий обтічник, діелектрична проникність, антенна система.

Вступ

Постановка проблеми. Радіопрозорі обтічники антенних систем (АС) літальних апаратів (ЛА) застосовуються для захисту антенних пристроїв ЛА від дії дозвукового середовища в умовах польоту. Оскільки обтічники АС літальних апаратів одночасно є і елементами бортового радіотехнічного устаткування, і елементами планера ЛА, їх форма визначається геометричними параметрами антенних пристроїв, місцем розташування останніх і аеродинамічними властивостями ЛА. Внаслідок цих причин носові обтічники ЛА мають ділянки з великою кривизною поверхні, що може призводити до значного спотворення діаграми спрямованості (ДС). В той самий час, обтічники повинні задовольняти досить жорстким вимогам до механічної міцності.

При заданій формі і характеристиках міцності, основна проблема при проектуванні обтічників полягає у вирішенні питань електродинамічного характеру [1, 2]. У зв'язку з вищевикладеними причинами великий інтерес представляє поліпшення характеристик спрямованості систем антена-обтічник.

Аналіз останніх публікацій. До недавнього часу виконати строгий електродинамічний розрахунок вдавалося лише для обмеженого числа випадків, при простих геометричних формах поверхонь обтічника (конус, півсфера і т. п.). Для обтічників більш складної форми усі розрахунки проводилися на основі певних допущень і наближень. Точне ж доведення геометрії стінки обтічника виконувалося на основі експериментальних вимірювань [1, 2]. Проте, з появою точних методів розрахунку обтічників з ділянками великої кривизни поверхні [3, 4, 10] і гібридних методів, що дають малі похибки обчислень [5, 6], стало можливим досить точно розраховувати ДС систем «антена – нерегулярний обтічник». Під нерегулярними обтічниками розуміють обтічники, поверхня яких має ділянки з радіусами кривизни, порівнянними з довжиною хвилі [1].

У [9] був описаний обтічник, стінка якого виготовлена з композиційних діелектричних матеріалів і складається з декількох кутових сегментів, в межах яких матеріал заповнювача має відповідну діелектричну проникність, в [7, 12, 13] описаний спосіб виготовлення такого обтічника.

Метою статті є дослідження можливості поліпшення характеристик спрямованості систем антенна-сегментований обтічник за рахунок застосування різних діелектричних матеріалів і вибору кутових розмірів сегментів стінки.

Виклад основного матеріалу

Для математичного моделювання обтічника був вибраний метод розрахунку, заснований на рішенні інтегральних рівнянь відносно поля в шарі діелектрика в двовимірному випадку [10]. Всі ДС будемо нормувати до максимуму ДС АС без обтічника.

Геометричну форму обтічника, згідно [10], можна описати рівнянням:

$$y = \begin{cases} -\mu x^\gamma + \nu, & x > x_\varphi, \\ \sqrt{R^2 - x^2} + y_\varphi - \frac{x_\varphi}{\bar{n}_\varphi}, & x < x_\varphi, \end{cases}$$

де точка (x_φ, y_φ) – точка сполучення бічних стінок обтічника з дугою кола, що описує його «носік». \bar{n}_φ – орт нормалі в точці (x_φ, y_φ) ; R – радіус дуги що описує «носік»; $\mu, \gamma, \nu, \varphi$ – параметри, що визначають форму бокової стінки обтічника; $\varphi = \arctg(x_\varphi/y_\varphi)$ – кут, між віссю симетрії обтічника і напрямом на точку (x_φ, y_φ) .

Розіб'ємо стінку обтічника на сегменти з внутрішніми поверхнями $S_1, S_2 \dots S_n$, кожен з яких має свою діелектричну проникність. Розміри сегментів задаватимемо за допомогою кутів $\theta_1, \theta_2 \dots \theta_n$ (рис. 1). У якості АС, укритою обтічником розглянемо р-елементну антенну решітку, її елементи задамо за допомогою струмових ниток $a_1 \dots a_p$.

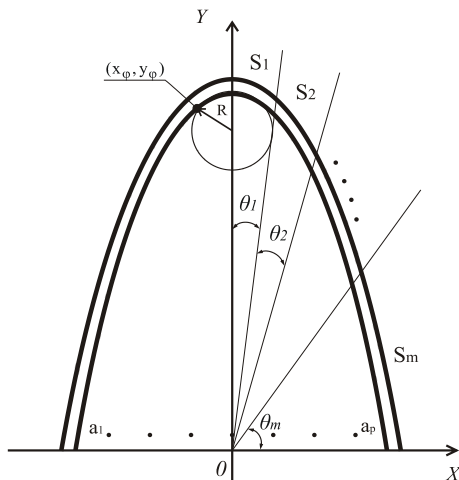


Рис. 1. Геометрія системи і розбиття стінок обтічника на сегменти

Розрахунок ДС системи проведемо за допомогою методу розрахунку, запропонованого в [10], згідно якого інтегральне рівняння, що описує повне поле системи "антена-обтічник" (рис. 1) у разі Е-поляризації має вигляд :

$$u(\bar{x}) = u_0(\bar{x}) - \sum_{i=1}^m (k_i^2 - k_0^2) \int_0^{2h} \int_{S_i} dn \int u(\bar{\xi}) g(\bar{x}, \bar{\xi}) d\bar{\xi} \quad (1)$$

де \bar{x} – точка спостереження; $\bar{\xi}$ – точка інтегрування ($\bar{\xi} \in D$); $g(\bar{x}, \bar{\xi})$ – двовимірна функція Гріна вільного простору; m – кількість сегментів; k_i – хвильове число для i -того сегменту; n – координата, відлічувана по нормалі до поверхні обтічника; $2h$ – товщина обтічника.

При проведенні розрахунків товщину стінки обтічника вважатимемо рівною $d = 0,5 \lambda_p / \sqrt{\epsilon'}$, де λ_p – робоча довжина хвилі бортової РЛС, яку приймемо рівною $\lambda_p = 0,03$ м, ϵ' – відносна діелектрична проникність однорідного обтічника.

Для проведення моделювання були вибрані обтічники, форма поверхні стінки яких описується такими рівняннями:

$$y = -9.47x^{1.51} + 0.265; \quad (2)$$

$$y = -9.47x^{2.15} + 0.265, \quad (3)$$

а геометрична форма і електричні розміри моделей обтічників показані на рис. 2.

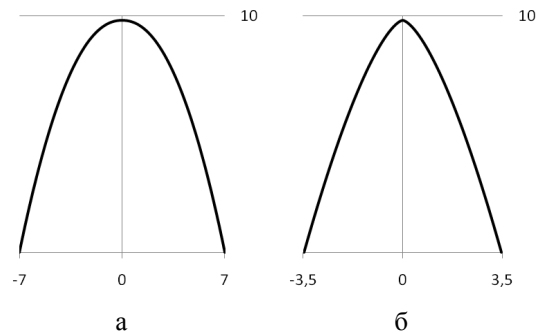


Рис. 2. Геометрична форма обтічників: а – рівняння (2); б – рівняння (3)

Розіб'ємо поверхню обтічника на сегменти S_i , що розташовані симетрично відносно осі ОУ (рис. 1). Товщину стінки сегментованого обтічника в усіх випадках приймемо рівній товщині стінки однорідного обтічника, кількість елементів антенної решітки $p = 7$. Відносну діелектричну проникність ϵ' вибиратимемо з діапазону значень від 3,4 до 14, оскільки матеріали, що найчастіше застосовуються для виготовлення обтічників ЛА, мають значення ϵ' , що лежать в цих межах [8].

Розрахунки ДС для моделі обтічника (2), при кутових розмірах сегментів рівних $\theta_1 = 5^\circ; \theta_2 = 5^\circ; \theta_3 = 5^\circ; \theta_4 = 15^\circ; \theta_5 = 60^\circ$ і відносній діелектричній проникності сегментів в порядку наступності від «носіка» до основи $\epsilon'_{S_1} = 10; \epsilon'_{S_2} = 7; \epsilon'_{S_3} = 4; \epsilon'_{S_4} = 7; \epsilon'_{S_5} = 5$ приведені на рис. 3 (пунктирна лінія), порівняно з ДС системи з монолітним обтічником з відносною діелектричною проникністю $\epsilon' = 7$ (суцільна лінія).

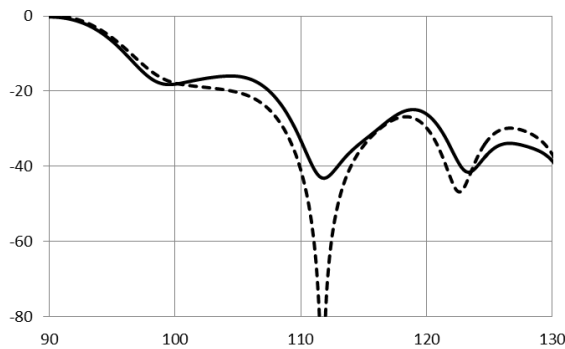


Рис. 3. ДС системи «антена – обтічник» для моделі (2)

З аналізу рис. 3 видно, що система «антена – обтічник зі змінною діелектричною проникністю стінки» має рівень бічних пелюсток в діапазоні кутів $100^\circ - 120^\circ$ істотно менше, ніж система «антена – монолітний обтічник» тих самих геометричних розмірів із стінкою тієї ж товщини. Так, для системи з сегментованим обтічником в цьому діапазоні кутів рівень бічних пелюсток менше на 4 – 40 дБ.

Для моделі обтічника (3) були проведені розрахунки для кутових розмірів стінки $\theta_1=5^\circ$; $\theta_2=5^\circ$; $\theta_3=15^\circ$; $\theta_4=60^\circ$ при відносній діелектричній проникності сегментів $\epsilon'_{S_1}=8$; $\epsilon'_{S_2}=4$; $\epsilon'_{S_3}=7$; $\epsilon'_{S_4}=7$ відповідно. Порівняльні ДС представлені на рис. 4.

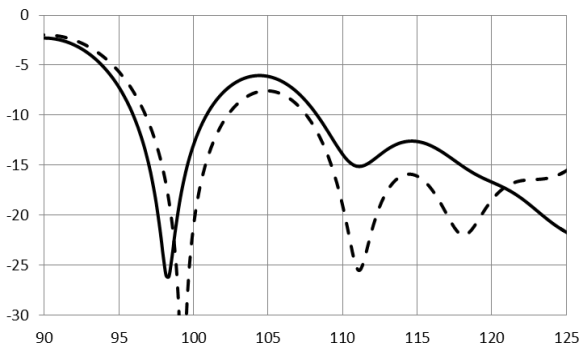


Рис. 4. ДС системи «антена – обтічник» для моделі (3)

Для моделі обтічника (3) в діапазоні кутів $100 - 120^\circ$ рівень бічних пелюсток системи з сегментованим обтічником на 2 – 10 дБ нижче ніж системи з монолітним обтічником з $\epsilon'=7$. Також були проведені розрахунки для моделі (3) сегментованого обтічника, в «носику» якого знаходиться діелектричний матеріал з електричними втратами з комплексною діелектричною проникністю $\epsilon'_{S_1}=10+j10$ (рис. 5). Кутіві розміри сегментів і відносна діелектрична проникність були вибрані рівними $\theta_1=10^\circ$; $\theta_2=80^\circ$ та $\epsilon'_{S_1}=10+j10$; $\epsilon'_{S_2}=7$ відповідно.

З рис. 5 видно, що розміщення в носіку обтічника сегменту, матеріал якого має поглинаючі властивості (електричні втрати) призводить до фокусування головної пелюстки ДС. Цей ефект, мабуть, є спорідненим ефекту «плями Пуассона» в оптиці [11],

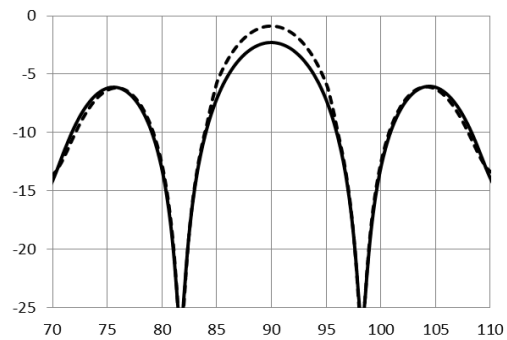


Рис. 5. Ефект фокусування головної пелюстки ДС при розміщенні поглинаючого матеріалу в носіку обтічника

а також в деякій мірі, наслідком зменшення перевідбиттів електромагнітної енергії від стінок всередині обтічника.

Висновки

Аналізуючи результати розрахунків неважко помітити, що застосування при виготовленні обтічників, що мають велику кривизну поверхні стінок, матеріалів з різною відносною діелектричною проникністю (у тому числі поглинаючих) дозволяє не лише істотно поліпшити характеристики спрямованості системи антена – обтічник, але і понизити далеке бічне випромінювання в певному секторі. Застосування для виготовлення обтічників конструкцій стінок з різною діелектричною проникністю дозволить отримувати вироби з меншим рівнем бічного випромінювання в заданому діапазоні кутів, ніж у однорідних обтічників. Таке рішення може виявитися корисним для зменшення впливу деяких елементів конструкції планера ЛА на ДС системи антена-обтічник.

Результати, що були отримані представляють інтерес на етапах проектування ЛА і їх модернізації, з метою поліпшення характеристик спрямованості бортових АС без внесення істотних змін до їх конструкції.

Список літератури

1. Каплун В.А. Обтекатели антен СВЧ / В.А. Каплун. – М.: Советское радио, 1950. – 239 с.
2. Пригода Б.А. Обтекатели антен летательных аппаратов / Б.А. Пригода, В.С. Кокунько. – М.: Машиностроение, 1978. – 120 с.
3. Расчет излучения антенной решетки с носовым диэлектрическим обтекателем / С.В. Кукобко, С.В. Нечитайло, А.З. Сазонов, О.И. Сухаревский // Радиофизика и радиоастрономия. – 2003. – Т. 8, № 3. – С. 287-295.
4. Lu C. A fast algorithm based on volume integral equation for analysis of arbitrary shaped dielectric radomes // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 2003. – Vol. 51 – P. 606-612.
5. Abdel Moneum M.A. Hybrid PO-MoM analysis of large axi-symmetric radomes / M.A. Abdel Moneum, Z. Shen, J.L. Volakis, O. Graham // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 2001. – Vol. 49 – P. 1657-1666.

6. Qiang Z. A combined equivalent source and geometric optics approach to analysis of radome / Z. Qiang, C. Wei // IEEE Int. Antennas Propagat. Symp. Dig. – 2003. – Vol. 41 – P. 424-427.

7. Рябоконт Є.О. Способи виготовлення носових діелектричних обтічників, що мають малі помилки пеленгу цілі / Є.О. Рябоконт // Системи озброєння і військова техніка № 3(15) – 2008. – С. 161-163.

8. Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков / И.Г. Гуртовник, В.И. Соколов, Н.Н. Трофимов, С.И. Шалгунов / под ред. В.И. Соколова – М.: Мир, 2003. – 363 с.

9. Патент на корисну модель № 37021 Україна, 7 МПК H01Q 1/42. Обтічник зі змінною відносною діелектричною проникністю стінки / Є.О. Рябоконт, С.В. Кукобко, С.В. Нечитайло та ін. – № u200808282; заяв. 19.06.2008; опубл. 10.11.2008; Бюл. № 21. – 4 с.

10. Sukharevsky O.I. Volume integral equation analyses of a two-dimensional radome with a sharp nose / O.I. Sukharevsky, S.V. Kukobko, A.Z. Sazonov // IEEE Trans. on Antennas and Propagat. – 2005 – Vol. 53 – P. 1500-1506.

11. Ландау Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1967. – 460 с.

12. Патент на корисну модель № 47391 Україна, 7 МПК H01Q 1/42. Спосіб виготовлення обтічника зі змінною відносною діелектричною проникністю стінки з заповнювачем з керамічних матеріалів / Є.О. Рябоконт, С.В. Кукобко, В.Л. Місайлов та ін. – № u200909753; заяв. 24.09.2009; опубл. 25.01.2010; Бюл. № 2. – 4 с.

13. Патент на корисну модель № 54274 Україна, 7 МПК H01Q 1/42. Обтічник зі змінною відносною діелектричною проникністю стінки / Є.О. Рябоконт, С.В. Нечитайло, О.В. Батурін та ін. – № u201001536; заяв. 15.02.2010; опубл. 10.11.2010; Бюл. № 21. – 4 с.

Надійшла до редколегії 05.04.2013

Рецензент: д-р. техн. наук, проф. Е.Л. Казаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ СИСТЕМ АНТЕННА-ОБТЕКАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИИ СТЕНКИ ОБТЕКАТЕЛЯ

Е.А. Рябоконт

Исследуются преимущества использования радиопрозрачных материалов с различной диэлектрической проницаемостью в конструкции стенки обтекателя для улучшения характеристик направленности системы антенна - обтекатель. Рассмотрена двумерная антенная решетка укрытая обтекателем с большой кривизной поверхности. Для проведения расчетов применен метод, базирующийся на решении объемных интегральных уравнений относительно полного поля в стенке обтекателя.

Ключевые слова: радиопрозрачный обтекатель, диэлектрическая проницаемость, антенная система.

RESEARCH OF POSSIBILITY OF ANTENNA-RADOME SYSTEM DIRECTIVITY PROPERTIES IMPROVEMENT BY USING DIFFERENT DIELECTRICAL MATERIALS IN RADOME WALL CONSTRUCTION

Е.О. Ryabokon

Advantages of the using radiotransparent materials with different permittivities in the radome wall construction for the improvement of directivity properties of the antenna-radome system are investigated. A two-dimensional array hided by a radome with large curvature of surface is considered. For calculations, the method based on solving the volume integral equation relatively the total field in the radome is applied.

Keywords: radiotransparent radome, permittivity, antenna system.