

УДК 621.396.96

В.В. Тарнополова, І.В. Хуторна, В.О. Василюк, О.І. Сухаревський

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СФЕРИЧНОГО ОБТІЧНИКА АНТЕННОЇ СИСТЕМИ ГОЛОВКИ САМОНАВЕДЕННЯ РАКЕТИ У МІЛІМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ

Стаття присвячена визначенню товщини сферичного обтічника головки самонаведення з керамічного матеріалу, при якій досягається максимальний коефіцієнт підсилення антенної системи. В якості антенної системи пропонується використовувати модель апертурної антени, що вирізана в ідеально поглинаючому екрані. В статті наведено метод розрахунку поля, що збуджується випромінювальною апертурою в присутності довільної системи розсіювачів (зокрема, обтічника). На основі запропонованого методу отримано результати розрахунку характеристик випромінювання моделі антенної системи з обтічником в залежності від його товщини та діелектричної проникності.

Ключові слова: електромагнітне поле, антенна система, сферичний діелектричний обтічник.

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури. Створення сучасних радіолокаційних головок самонаведення ракет передбачає наявність захисного обтічника, що оберігає антенну систему головки від зовнішніх впливів [1]. Оскільки головка самонаведення відчуває досить значні теплові та механічні навантаження, обтічник зазвичай виготовляється з керамічного матеріалу. Зокрема, це можуть бути сполуки селену і цинку. Такий матеріал може добре протистояти механічним і тепловим навантаженням, при цьому мати гарну прозорість у міліметровому діапазоні довжин хвиль. Завдання роботи полягає у визначенні товщини сферичного обтічника головки самонаведення із зазначеного матеріалу, при якій досягається максимальний коефіцієнт підсилення антени. В якості моделі антенної системи пропонується використовувати модель апертурної антени, вирізаної в ідеально поглинаючому екрані [2]. Враховуючи великі електричні розміри антенної системи, такий підхід цілком виправданий.

У статті наведені результати розрахунку випромінювальних характеристик моделі антенної системи радіолокаційної головки самонаведення під сферичним діелектричним обтічником. Товщина і відносна діелектрична проникність обтічника змінювалися з метою оцінки діаграми спрямованості антенної системи при різних параметрах обтічника. Отримано оптимальні значення товщини обтічника в діапазоні зміни відносної діелектричної проникності матеріалу обтічника. Оцінена необхідна точність виготовлення сферичного діелектричного обтічника антенної системи.

Мета роботи – отримання характеристик випромінювання моделі антенної системи зі сферичним обтічником в залежності від його товщини та діелектричної проникності.

Основний матеріал

Основні розрахункові співвідношення. У роботі [1] отримано узагальнення принципу дзеркальних зображень на випадок наявності у півпросторі ідеальних провідників, ідеальних магнетиків, діелектриків. Зокрема, мова може йти про наявність у верхньому півпросторі Ω^+ радіопрозорого антенного обтічника G^+ тієї або іншої конструкції. Завдання полягає в отриманні наближених розрахункових формул, що виражають поле випромінювання апертури при наявності обтічника G^+ через розподіл в апертурі тангенціальних складових векторів \vec{E} і \vec{H} , для випадку коли фланці (Σ), що утворюють апертуру, є ідеально поглинаючими.

Такі розрахункові формули були отримані в [3]:

$$\vec{p} \cdot \vec{E}(\vec{R}^0) = \int_{S_0} \left(\left(\vec{E}^T(x) \times \vec{\mathcal{H}}_0(x, \vec{R}^0, \vec{p}) \right) - \left(\vec{H}^T(x) \times \vec{\mathcal{E}}_0(x, \vec{R}^0, \vec{p}) \right) \right) \cdot d\vec{S}. \quad (1)$$

Тут \vec{p} – орт напрямку, на який проектується поле випромінювання в дальній зоні; (\vec{R}^0) – орт напрямку випромінювання антени з обтічником; (\vec{E}^T, \vec{H}^T) – апертурні розподіли тангенціальних компонент векторів поля в наближенні Кірхгофа; $(\vec{\mathcal{E}}_0, \vec{\mathcal{H}}_0)$ – поле, що пройшло скрізь "симетризований" обтічник (рис. 1) та яке збуджене плоскою хвилею, що розповсюджується в напрямку $(-\vec{R}^0)$:

$$\vec{E}_0 = \left(\vec{R}^0 \times (\vec{p} \times \vec{R}^0) \right) \exp(-jk_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x})), \quad (2)$$

$$\vec{H}_0 = (\vec{p} \times \vec{R}^0) \sqrt{\epsilon_0/\mu_0} \exp(-jk_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x})). \quad (3)$$

Таким чином, для розрахунку поля випромінювання (діаграми спрямованості) апертурної антени з обтічником можна скористатися інтегральним представленням (1). При цьому поле (\vec{E}_0, \vec{H}_0) у точках апертури S_0 може бути наближено розраховано методом геометричної оптики, причому необхідно врахувати як проходження через реальний обтічник, так і поле, що пройшло через обтічник і перевідображене дзеркальним відображенням обтічника в точках апертури S_0 (якщо перевідображене поле в геометрооптичному наближенні потрапляє в S_0).

Амплітудно-фазовий розподіл \vec{E}^T, \vec{H}^T може бути задано. Розрахунок інтегралу у правій частині (1) може бути проведено методом середніх прямокутників [2].



Рис. 1. Замкнута діелектрична оболонка

Результати розрахунків. На основі запропонованого методу проведено дослідження характеристик випромінювання моделі антенної системи радіолокаційної головки самонаведення з обтічником (рис. 2). Вихідними даними для розрахунку є:

1. Радіус внутрішньої поверхні сферичного обтічника R .
2. Радіус апертури антени r .
3. Відстань між краєм апертури і обтічником d .
4. Товщина обтічника δ і його діелектрична проникність.
5. Частота зондуючого сигналу.
6. Кут опромінення γ .

Вихідними даними є залежність амплітуди поля антени в далекій зоні від кута опромінення або від параметрів обтічника.

Проведені дослідження характеристик випромінювання антени під обтічником.

Були використані наступні вихідні дані: частота зондуючого сигналу 94 ГГц; кут спостереження 0...5 градусів; радіус обтічника 118,03 мм; радіус антени 60 мм; відстань між краєм антени і обтічником 3,18 мм, товщина обтічника 3...6 мм; відносна діелектрична проникність матеріалу обтічника 11. На рис. 3 наведена залежність форми і відносної амплітуди діаграми спрямованості антени для двох товщин обтічника. Амплітуда діаграм спрямованості унормована до амплітуди діаграми спрямованості моделі антенної системи без діелектричного обтічника.

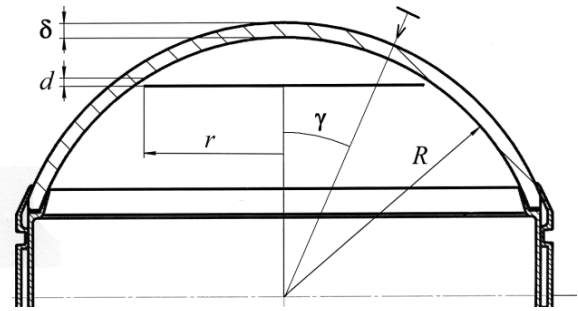


Рис. 2. Схема моделі антенної системи з обтічником, використаної при проведенні досліджень

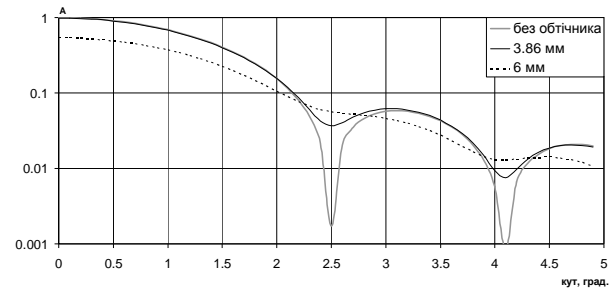


Рис. 3. Діаграма спрямованості антени для двох товщин обтічника (логічний масштаб)

Показано, що використання обтічника узгодженої товщини не призводить до розширення головної пелюстки діаграми спрямованості і зниження амплітуди сигналу. Однак мінімуми діаграми спрямованості «запливають». Використання обтічника неузгодженою товщиною (6мм) призводить до суттєвих енергетичних втрат в головній пелюстці діаграми.

Проведені дослідження енергетичних характеристик антени в залежності від товщини обтічника.

На рис. 4 наведена залежність відносної максимальної амплітуди діаграми спрямованості антени (нормованої до максимуму діаграми спрямованості антени без обтічника) від товщини обтічника.

Показано, що залежність носить періодичний характер, прийнятні значення амплітуди досягаються у вузьких діапазонах товщин обтічника.

При цьому помилка в завданні товщини 0,05 мм призводить до зниження потужності сигналу в максимумі на 20%. Помилка в товщині 0,11 мм при виготовленні обтічника призводить до втрати половини випромінюваної потужності.

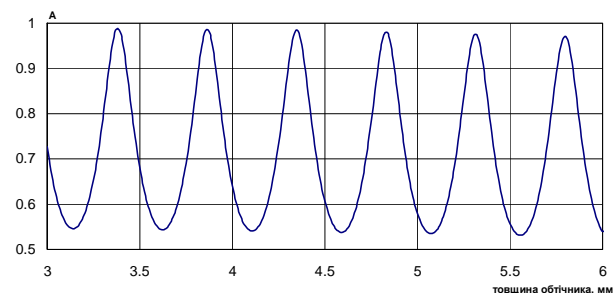


Рис. 4. Залежність відносної максимальної амплітуди діаграми спрямованості антени від товщини обтічника

Результати розрахунків вказують на необхідність дослідження характеристик випромінювання моделі антенної системи з обтічником при одночасній зміні його відносної діелектричної проникності і товщини.

На рис. 5 наведена номограма, яка ілюструє залежність відносної максимальної амплітуди діаграми спрямованості антени від відносної діелектричної проникності і товщини обтічника.

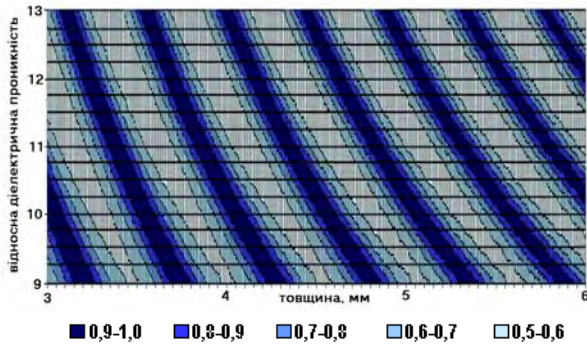


Рис. 5. Номограма залежності відносної максимальної амплітуди

Більш темні області відповідають високому коефіцієнту проходження обтічника і більш високою максимальною амплітудою діаграми спрямованості. Світліші відповідають низькому коефіцієнту проходження обтічника і, відповідно, меншою максимальною амплітудою діаграми спрямованості. Якщо існує можливість одночасного варіювання товщини і відносної діелектричної проникності обтічника, то слід вибирати такі параметри обтічника, щоб вони відповідали темним смугам наведеної номограми.

Висновки

У роботі досліджено вплив сферичного діелектричного обтічника на характеристики випроміню-

вання антенної системи радіолокаційної головки самонаведення ракети.

В роботі викладено метод розрахунку поля, збуджуваного випромінюючою апертурою в присутності довільної системи розсіювачів (зокрема, обтічника). В якості моделі антенної системи пропонується використовувати модель апертурної антени, вирізаної в ідеально поглинаючому екрані. Враховуючи великі електричні розміри антенної системи, такий підхід цілком виправданий. Викладений метод дозволяє розраховувати діаграму спрямованості моделі антенної системи, розташованої під сферичним діелектричним обтічником в залежності від параметрів обтічника (товщина, радіус, відносна діелектрична проникність), а також від взаємного положення обтічника і антени.

Отримані оцінки характеристик випромінювання антенної системи під обтічником для різних параметрів системи. Вказані оптимальні значення товщини обтічника для різноманітних значень відносної діелектричної проникності матеріалу обтічника.

Список літератури

1. Каплун В.А. Обтекатели антен СВЧ / В.А. Каплун. – М.: Сов. радио, 1974. – 240 с.
2. Захарьев Л.Н. Рассеяние волн “черными” телами / Л.Н. Захарьев, А.А. Леманский. – М.: Сов. радио, 1972. – 288 с.
3. Electromagnetic Wave Scattering by Aerial and Ground Radar Objects / O.I. Sukharevsky, et al.; O.I. Sukharevsky (ed.). – CRC Press, 2014. – 332 p.
4. Бут Э.Д. Численные методы. Перевод с английского Т.М. Тер-Микаэляна / Э.Д. Бут; под ред. В.М. Курочкина. – М.: Госуд. Изд-во физико-матем. лит-ры, 1959. – 239 с.

Надійшла до редколегії 7.11.2016

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.П. Лещенко, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СФЕРИЧЕСКОГО ОБТЕКАТЕЛЯ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ ГОЛОВКИ САМОНАВЕДЕНИЯ РАКЕТЫ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

В.В. Тарнополова, И.В. Хуторная, В.А. Василец, О.И. Сухаревский

Статья посвящена определению толщины сферического обтекателя головки самонаведения из керамического материала, при которой достигается максимальный коэффициент усиления антенной системы. В качестве модели антенной системы предлагается использовать модель апертурной антенны, вырезанной в идеально поглощающем экране. Учитывая большие электрические размеры антенной системы, такой подход вполне оправдан. В работе приводится метод расчета поля, возбуждаемого излучающей апертурой в присутствии произвольной системы рассеивателей (в частности, обтекателя). На основе предложенного метода в работе получены результаты расчета характеристик излучения модели антенной системы с обтекателем в зависимости от его толщины и диэлектрической проницаемости.

Ключевые слова: электромагнитное поле, антенная система, сферический диэлектрический обтекатель.

PARAMETER OPTIMIZATION FOR ANTENNA SYSTEM SPHERICAL RADOME OF THE MISSILE HOMING HEAD IN EHF

V.V. Tarnopolova, I.V. Hutorna, V.A. Vasilets, O.I. Sukharevsky

The paper is devoted to thickness determination of spherical ceramic radome for missile homing head. It has carried out for antenna power gain maximum achievement. As antenna model, we use the model of aperture antenna which cutout in ideally absorbing screen. Taking into account big electrical dimensions of antenna system such approach is reasonable. The calculation method has been proposed for field excited by radiating aperture at the presence of arbitrary scatterer system (particularly, radome). Using proposed method the calculation results for radiating characteristics of antenna system model with radome have been obtained for different values of radome thickness and its permeability.

Keywords: electromagnetic field, antenna system, spherical dielectric radome.