

УДК 621.396

**ВОЗМОЖНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЙНИЯ
ОТРАЖАТЕЛЯ С РАДИОПОГЛОЩАЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ****Бабенко Д.С.***Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: babbenddius@yandex.ru*

В работе исследуются характеристики рассеяния двумерных полосок с нанесенными на их поверхность радиопоглощающими покрытиями, имеющими различные радиофизические параметры. Анализируются моностатический и бистатический случаи. Решение задачи рассеяния электромагнитных волн проводится на основе метода интегральных уравнений. Был проведен расчет зависимости количества локальных максимумов от длины двумерной полоски при заданной толщине радиопоглощающего покрытия, как в моностатическом, так и бистатическом случаях. Исследовалась возможность аппроксимации эффективной площади рассеяния полоски на основе достаточно простых функций, например полиномов. Степень полинома не превосходит 5 при относительной погрешности аппроксимации менее 1%. Поскольку во многих практических приложениях можно использовать факетные модели, то полученные результаты будут полезны при решении как прямых, так и обратных электродинамических задач.

Ключевые слова: электромагнитные волны, поглощение, аппроксимирующая функция, полином**ABOUT THE PRACTICAL USE OF THE METHODS
OF DATA APPROXIMATION****Babenko D.S.***Voronezh institute of high technologies, Voronezh, e-mail: babbenddius@yandex.ru*

This paper investigates the dispersion characteristics of two-dimensional strips with surface radar absorbing coatings having different radiophysical parameters. The monostatic and bistatic cases are analysed. The solution of the problem of scattering of electromagnetic waves is carried out on the base of method of integral equations. The number of local maxima of the length of the two-dimensional strips was calculated with a given thickness of radar absorbing coatings in the monostatic and bistatic cases. The approximation of the effective area of the scattering of strips based on simple functions such as polynomials is investigated. The degree of the polynomial does not exceed 5, with the relative error of the approximation less than 1%. Since in many practical applications, you can use a faceted model, the obtained results will be useful in solving direct and inverse electrodynamic problems.

Keywords: electromagnetic waves, absorption, approximating function, polynomial

Моделирование рассеяния электромагнитных волн (ЭМВ) на объектах сложной формы имеет большое значение в связи с необходимостью решения задач радиолокационного распознавания, решения задач электромагнитной совместимости и т.д. [1, 7, 8].

В качестве основных источников сильных электромагнитных помех можно рассматривать разряды гроз, радиоэлектронные средства (говорят о мощных радиопередающих средствах и радиолокационных станциях), высоковольтных линиях передач, контактные сети железной дороги, и еще высоковольтные установки, которые используются в научных исследованиях и технологических целях.

При этом радиоэлектронные средства можно рассматривать как объекты с неблагоприятным воздействием и в виде их источников (говорят о радиопередающих средствах).

Для защиты от радиоизлучений могут использоваться радиопоглощающими покрытиями (РПП).

Когда решается задача радиосвязи во внутренней области зданий в качестве од-

ного из основных факторов можно считать поглощение радиоволн внутри строительных конструкций. Такой фактор определяет ограничения, как для дальности радиосвязи, так и по возможным диапазонам частот радиосвязи.

Представляет интерес исследовать характеристики рассеяния двумерных полосок с нанесенными на их поверхность РПП, имеющими различные радиофизические параметры. Рассматриваются моностатический и бистатический случаи. Такие элементы могут быть рассмотрены как базовые, входящие в состав многих объектов.

Нельзя говорить о том, что есть РПП, которое будет универсальным для поглощения излучений по всему частотному диапазону. Способность РПП к тому, чтобы поглощать радиоизлучения, зависит от того, какой его состав и структура.

При решении задачи рассматривается электрическое поле $E(x_0, y_0)$ в произвольной точке наблюдения, затем точка (x_0, y_0) помещается в сечение S РПП и на контур L_m металла (рис. 1). Путем применения граничных условий [2, 4] получается систе-

ма интегральных уравнений Фредгольма 1 рода (анализируется вариант, когда волна E-поляризована) [2]. На основе найденных токов определяется рассеянное электромагнитное поле и эффективная площадь рассеяния (ЭПР).

Радиофизические параметры РПП определяются диэлектрической и магнитоэлектрической проницаемостями, которые в общем случае могут быть комплексными: $\epsilon = \epsilon' + j\epsilon''$, $\mu = \mu' + j\mu''$.

При расчетах нами было выбрано три типа РПП со следующими параметрами: 1) $\epsilon=1$, μ – комплексное, 2) $\mu/\epsilon=1$, 3) $\mu=1$, ϵ – комплексное. Другой возможный подход, который и использовался нами, состоит в задании комплексного коэффициента преломления РПП: $n = n' + jn''$.

Значения модуля коэффициента преломления были ограничены следующей величиной: $|n| \leq 7$. Комплексный коэффициент преломления связан с комплексной диэлектрической и магнитоэлектрической проницаемостями.

Рассматривались РПП с толщиной $0 < d \leq 0.05\lambda$. Длина двумерной полоски лежала в пределах, ограниченных следующими значениями: $1\lambda \leq L \leq 5\lambda$ (резонансная волновая область). При исследованиях проводился анализ относительно передней полусферы: $0 \leq \theta \leq 90^\circ$.

Отметим, что для бистатического и моностатического рассеяния число локальных

максимумов в диаграмме обратного рассеяния (ДОР) меняется одинаковым образом при изменении $|n|$ и L для РПП указанных трех типов, то есть с увеличением размера двумерной полоски при постоянном $|n|$ при заданном типе РПП растет число локальных максимумов в ДОР, а с увеличением $|n|$ при постоянной длине полоски при заданном типе РПП число локальных максимумов не меняется.

При заданном значении $|n|$ число локальных максимумов в ДОР для определенного значения L при моностатическом рассеянии будет больше, чем при бистатическом рассеянии. Это позволяет говорить о том, что среднее значение характеристик рассеяния будет в моностатическом случае больше, чем в бистатическом.

На рис. 2 изображена зависимость числа локальных максимумов N_{\max} от L для толщины РПП $d=0.011$ для обоих случаев. Существует также сдвиг локального минимума в ДОР в сторону меньших углов при бистатическом рассеянии для малых значений $|n|$: $|n| \leq 3$ с увеличением n^2 .

Бистатическое рассеяние, в отличие от моностатического, означает, что передающее и приемное устройство при своей работе будут разнесены в пространстве.

На рис. 3 приведен пример расчета ЭПР двумерной полоски с нанесенным РПП толщиной $d=0.011$ и $|n|=3$ а) с длиной $L=5$ б) с длиной $L=3$.

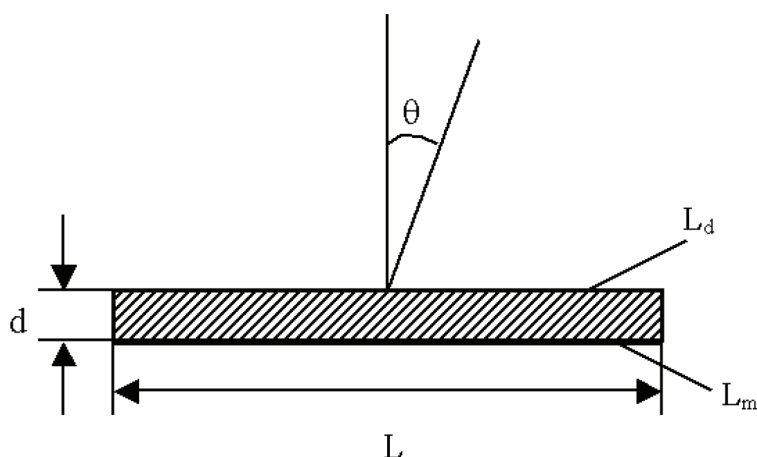


Рис. 1. Схема рассеяния ЭМВ на двумерной пластине с РПП

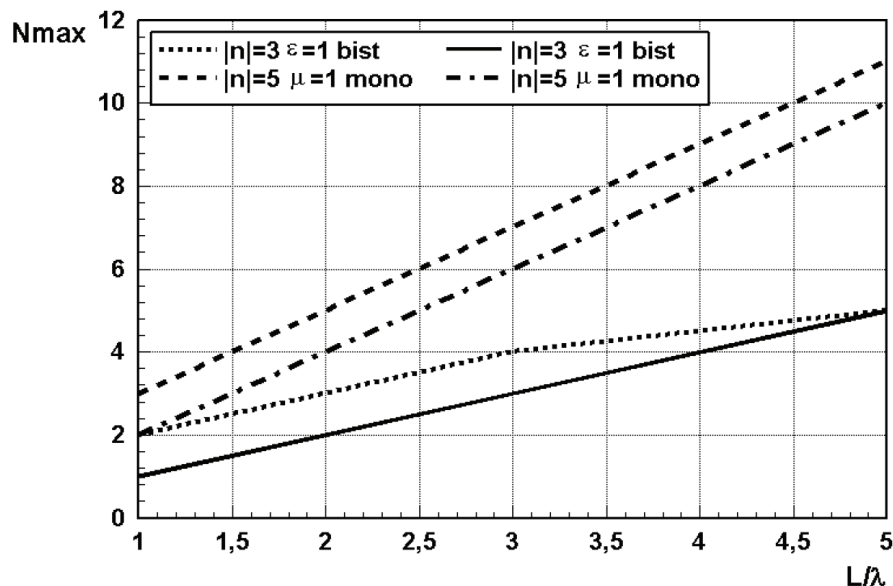


Рис. 2. Зависимость числа локальных максимумов в ДОР от длины полоски L для толщины РПП $d=0.01\lambda$

Угловые зависимости ЭПР могут быть довольно сложными, особенно для полосок, имеющих большие размеры, поэтому нами исследовалась возможность аппроксимации этих зависимостей с помощью достаточно простых функций [3, 5, 6].

Было установлено, что для бистатического рассеяния при небольших значениях L : $L \leq 1$ и значениях $|n|$, лежащих в указанных пределах, возможна полиномиальная аппроксимация

$$y = \sum_{i=1}^{NP} a_i x^i.$$

Степень полинома не превосходит $NP=5$ при относительной погрешности аппроксимации менее 1%. Такая же аппроксимация возможна для моностатического рассеяния при тех же значениях L и $|n|$.

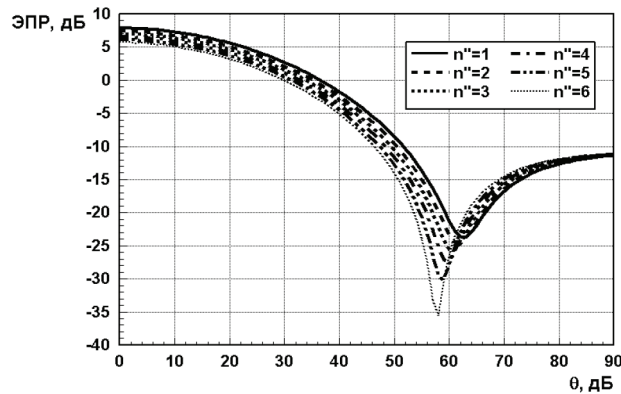
Расчитанные значения коэффициентов полиномов могут быть сохранены в базе

данных, которая входит в состав соответствующей системы автоматизированного проектирования (САПР), в рамках которой идет разработка устройств для поглощения радиоизлучений.

При других значениях $|n|$ и L необходимо использовать кусочно-линейную аппроксимацию. Необходимо брать не более 25 узлов аппроксимации для указанного сектора углов наблюдения. При этом относительная погрешность аппроксимации также не превышает 1%.

Если в исследуемых характеристиках наблюдается большое число колебаний при изменении параметра L , то разложение можно проводить по полиномам, в которых базовыми функциями будут гармонические функции, позволяющие лучше учесть особенности изменения соответствующих функций, чем линейное приближение.

а)



б)

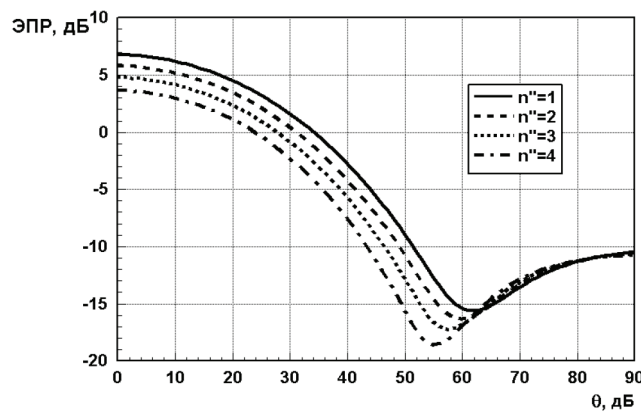


Рис. 3. Бистатическая ЭПР двумерной полоски с нанесенным РПП толщиной $d=0.01l$ и $|n|=7$: а – с длиной $L=5$; б – с длиной $L=3$

Таким образом, в работе исследованы рассеивающие свойства идеально проводящей двумерной полоски с нанесенным на ее поверхность РПП.

Поскольку во многих практических приложениях можно использовать для описания объектов факетные модели, то полученные результаты будут полезны при решении как прямых, так и обратных электродинамических задач.

Список литературы

1. Гашенко И.А. О моделировании в сотовых системах связи / И.А. Гашенко // Международный студенческий научный вестник. - 2016. - № 3–2. - С. 222–223.
2. Захаров Е.В. Численный анализ дифракции радиоволн / Е.В. Захаров, Ю.В. Пименов – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
3. Львович И.Я. Основы информатики: Учебное пособие / И.Я. Львович, Ю.П. Преображенский, В.В. Ермолова. – Воронеж: Воронежский институт высоких технологий, 2014. – 339 с.

4. Преображенский А.П. Импедансные граничные условия в задаче рассеяния электромагнитных волн на полости с радиопоглощающими покрытиями / А.П. Преображенский // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2006. – Т. 11. № 2–3. – С. 61–63.

5. Преображенский А.П. Аппроксимация радиолокационных характеристик, полученных с использованием метода интегральных уравнений, приближенной моделью / А.П. Преображенский // Математическое моделирование и краевые задачи: Труды Второй Всероссийской научной конференции / Редколлегия: В.П. Радченко (отв. редактор), Э.Я. Рапопорт, Е.Н. Огородников, М.Н. Саушкин (отв. секретарь), 2005. – С. 211–214.

6. Преображенский А.П. Аппроксимация характеристик рассеяния электромагнитных волн элементов, входящих в состав объектов сложной формы / А.П. Преображенский, Ю.П. Хухрянский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1. № 8. – С. 15–16.

7. Шутов Г.В. Характеристики методов трассировки лучей / Г.В. Шутов // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–2. – С. 238–239.

8. Stefanovic J. The technique of calculation the parameters of the electromagnetic fields scattered by the body with complex form in the near zone / J. Stefanovic, E. Ruzitsky // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 2(17). – С. 7.