

УДК 621.396

А.В. Башкатов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК В ЗАДАЧЕ РАССЕЙНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ОБЪЕКТЕ

Научно-производственное объединение «Электроника», г. Воронеж

Работа посвящена анализу возможностей прогнозирования характеристик в задачах, связанных с рассеянием электромагнитных волн. Для простейшего объекта – цилиндра были продемонстрированы закономерности изменения элементов функции Грина для различных значений радиуса цилиндра.

Ключевые слова: рассеяние электромагнитных волн, прогнозирование, функция Грина.

Одной из важных задач изучения электродинамических свойств объектов является экспериментальное исследование их радиолокационных свойств в диапазоне длин волн [1-3]. Для решения этой задачи помимо разработки широкодиапазонных измерительных средств, применяющих сверхширокополосные сигналы, созданы и продолжают создаваться новые измерительные средства: многоканальные по частоте и с перестройкой рабочей частоты, обладающие рядом достоинств [4-6]. Но на практике всегда существуют ограничения на количество реализуемых в измерительных средствах каналов и количество выбранных значений, на которых проводится измерение радиолокационных характеристик (РЛХ) объектов. В связи с этим актуальна задача прогнозирования радиолокационных характеристик в определенном диапазоне длин волн $[\lambda_1, \lambda_2]$.

Целью работы является оценка возможности прогнозирования функции Грина на дискретных частотах на основе полученных данных о рассеивающих свойствах объектов в поле монохроматической волны.

В дальнейшем мы будем рассматривать случай линейного процесса рассеяния электромагнитных волн. Также будем считать, что исследуемая РЛХ отражения объекта линейно связывает параметры облучающего и рассеянного полей [3].

С учетом вышесказанного записывается соотношение, связывающее линейно комплексные амплитуды напряженностей рассеянного $H_p(r)$ и облучающего $H_0(r)$ на поверхности объекта вида [2, 7]

$$H_p(r) = \int G(r, r_1) H_0(r_1) dr_1, \quad (1)$$

где G – пространственная импульсная переходная функция объекта на длине волны λ , G – это функция Грина, которая по своему смыслу связывает воздействие и отклик.

При определении токов на поверхности тела можно пользоваться следующим уравнением, связывающим параметры падающего и отраженного поля [8, 9]

$$f(x) = I(x) + \int I(x')K(x, x')dx', \quad (2)$$

где $f(x) = \vec{n} \times \vec{H}^i$, где \vec{H}^i - падающее поля, $f(x) = \vec{n}$ - нормаль к телу, $K(x, x')$ – имеет смысл функции Грина, связывающей параметры падающего и отраженного поля [7].

В качестве объекта исследований нами был выбран двумерный идеально проводящий цилиндр (рис. 1). Рассматривалась диаграмма обратного рассеяния такого объекта [10].

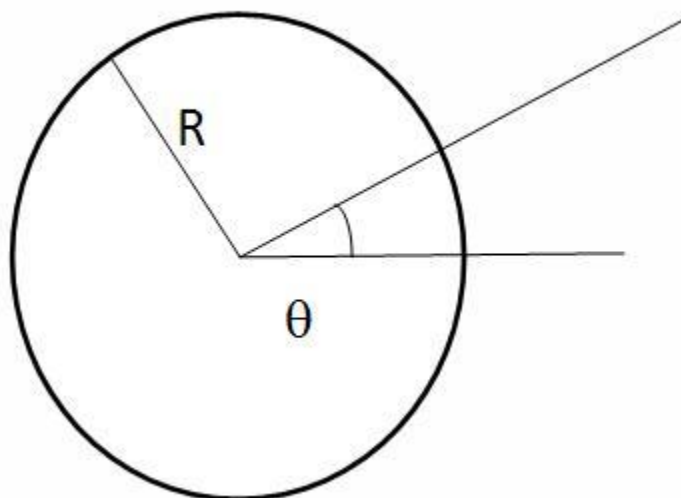


Рис.1 Схема рассеяния электромагнитных волн на двумерном цилиндре.

При решении уравнения (2) мы проводим дискретизацию поверхности объекта в N точках. Тогда вследствие симметрии объекта его функция Грина будет квадратной и симметричной матрицей размером $N \times N$:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & \dots & a_{22} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1^{\text{пад}} \\ \dots \\ I_n^{\text{пад}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1^{\text{отр}} \\ \dots \\ I_n^{\text{отр}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Вследствие симметрии объекта для знания функции Грина достаточно знать N коэффициентов в матрице, поскольку

$a_{12} = a_{23} = \dots = a_{n-1,1}$, $a_{11} = a_{22} = \dots = a_{n,n}$, $a_{21} = a_{12} = \dots = a_{1,n-1}$ и т.д.

То есть, необходимо знать следующие коэффициенты, $a_{n,1} = a_{n-1,2} = \dots = a_{1,n}$ расположенные по диагонали матрицы, идущей из ее нижнего левого угла в верхний правый угол. Таким образом, функция Грина характеризуется набором N чисел. В качестве приведены функции Грина в виде набора таких коэффициентов для цилиндра с радиусом $R=1\lambda$ и $R=2\lambda$.

Проводился расчет диагональных элементов матрицы функции Грина $b_i: \sum b_i$, где $b_i = a_{i,N-i}$ для различных радиусов цилиндра R . Результаты расчетов изображены на рис. 2. Можно провести линейную аппроксимацию [11] полученных результатов и видно, что для указанного диапазона изменения радиуса цилиндра R результаты расчетов и аппроксимации будут отличаться не более чем на 50% (рис.3).

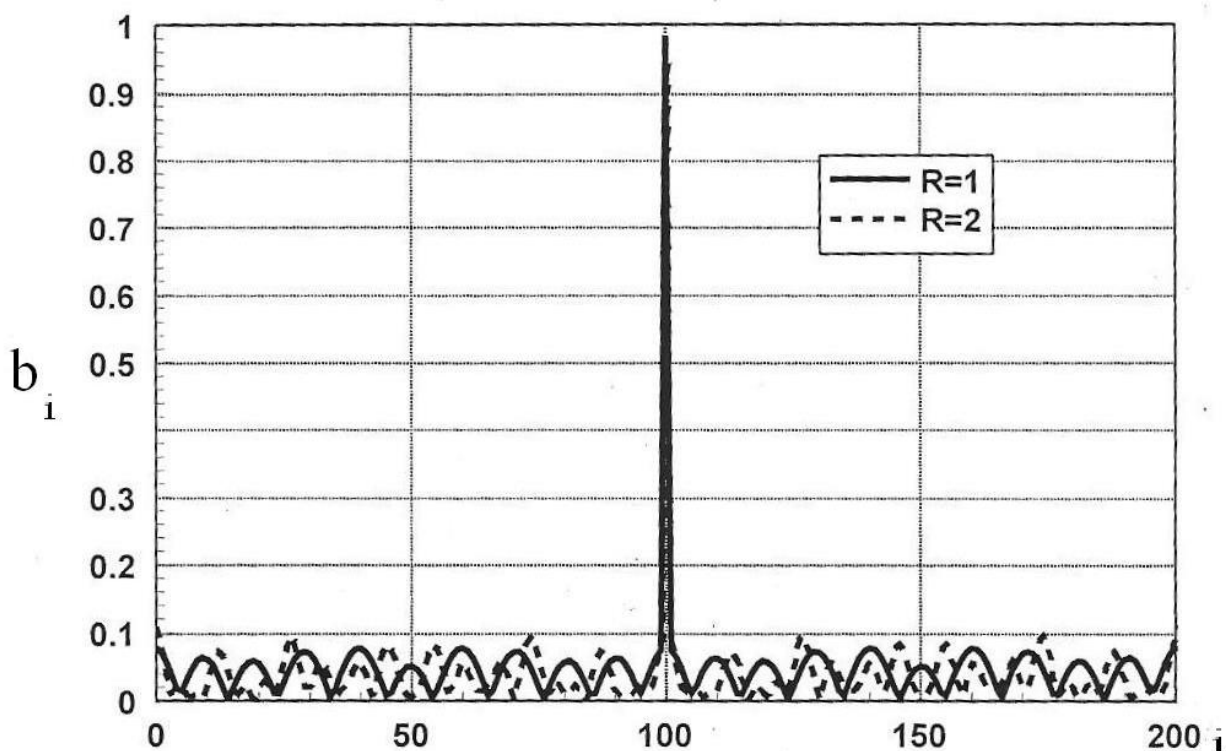


Рис.2 Величины диагональных элементов матрицы функции Грина.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании различных объектов, оптимизации характеристик [12-14]. Знание особенностей характеристик рассеяния объектов, в том числе и с использованием радиопоглощающих материалов, позволяет проводить определение формы объектов, строить радио-изображения [15-18]. В ряде

случаев электродинамические модели являются полезными при анализе закономерностей распространения сигналов в беспроводных системах связи [5, 19-20].

Нами была установлена связь амплитуд токов $I_1^{omp}, \dots, I_n^{omp}$ (входящих в (3)) с коэффициентами функции Грина b_i . Было установлено, что связь эта имеет следующий вид:

$$\frac{I_i^{omp}}{b_i} = 2 \sin\left(\frac{\pi i}{n/4}\right), i=1..n, \quad (4)$$

причем это справедливо для любых радиусов R цилиндра.

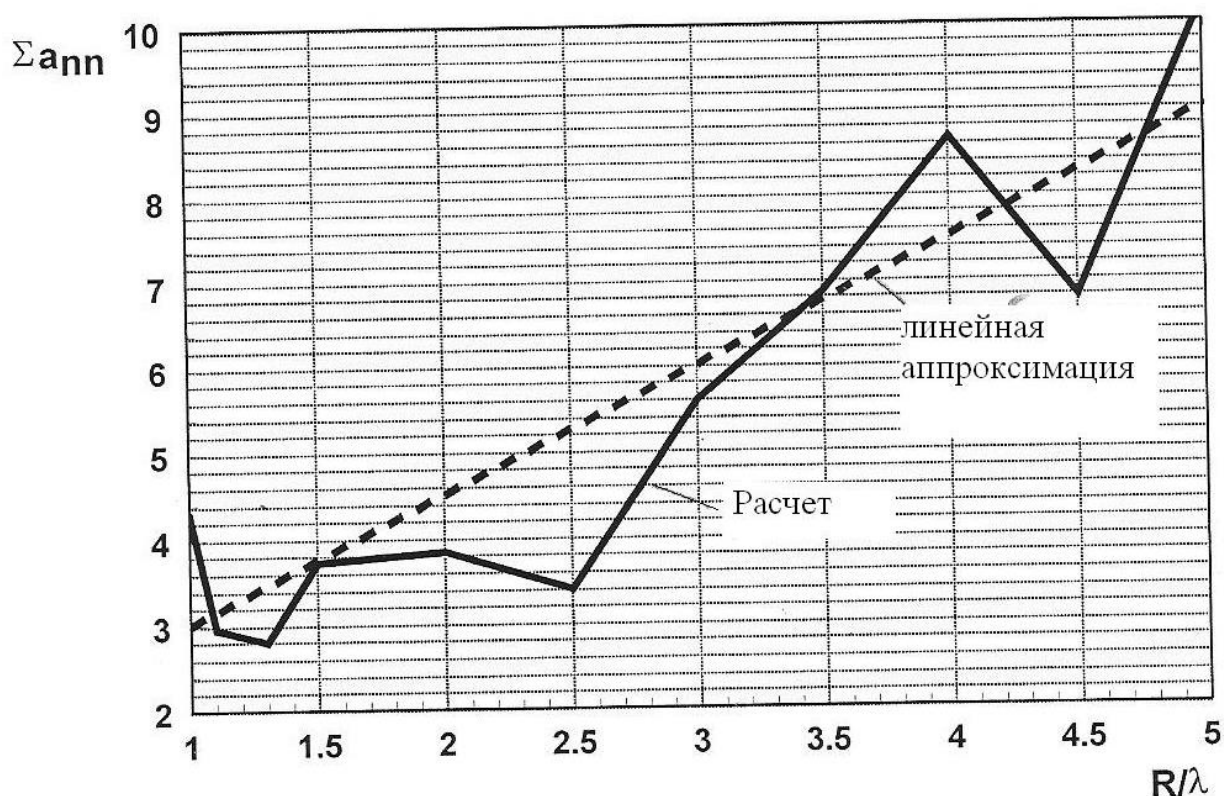


Рис.3 Значения сумм элементов матрицы функции Грина для различных значений радиуса цилиндра.

Вывод. Таким образом, была оценена возможность расчета функции Грина для симметричных тел. Показана возможность линейной аппроксимации суммы коэффициентов функции Грина при прогнозировании на дискретных частотах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Методика прогнозирования радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / Системы управления и информационные технологии. 2004. № 2 (14). С. 98-101.
2. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / Телекоммуникации. 2004. № 5. С. 32-35.
3. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов с радиопоглощающими покрытиями в диапазоне длин волн / Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 21-24.
4. Кульнева Е.Ю., Гащенко И.А. Основные характеристики, связанные с моделированием радиотехнических устройств / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 70-74.
5. Головинов С.О., Хромых А.А. Проблемы управления системами мобильной связи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 13-14
6. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62
7. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн / Воронеж, Научная книга, 2007, 248 с.
8. Шутов Г.В. Оценка возможности применения приближенной модели при оценке средних характеристик рассеяния электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 61-67.
9. Винюков М.С. Проблемы распространения радиоволн в пространстве / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 66-70.
10. Косилов А.Т., Преображенский А.П. Методы расчета радиолокационных характеристик объектов / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 68-71.
11. Преображенский А.П., Хухрянский Ю.П. Аппроксимация характеристик рассеяния электромагнитных волн элементов,

- входящих в состав объектов сложной формы / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 15-16.
12. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их проектировании / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 255-256.
 13. Баранов А.В. О возможности прогнозирования характеристик рассеяния двумерного идеально проводящего клина / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 13-16.
 14. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 20-26.
 15. Преображенский А.П. Исследование возможности определения формы объекта в окрестности восстановления локальных отражателей на поверхности объектов по их диаграммам обратного рассеяния / Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 29-32.
 16. Баранов А.В. О решении обратных электродинамических задач / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 133-137.
 17. Рючин А.С. О применении радиопоглощающих материалов / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 185-188.
 18. Пекшев Г.А., Дмитриев Р.А. Особенности построения радиоизображений / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 69-70.
 19. Преображенский А.П. Анализ методов кодирования разных видов информации / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 74-77.
 20. Головинов С.О. Поиск местоположения базовых станций беспроводных систем связи в условиях городской застройки с применением генетического алгоритма / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 197-202.

A.V. Bashkatov

**FORECASTING OF THE CHARACTERISTICS IN THE PROBLEM OF
SCATTERING OF ELECTROMAGNETIC WAVES ON THE OBJECT**

Scientific-production Association «Electronics», Voronezh

The paper is devoted to forecasting of the characteristics of the problems connected with the scattering of electromagnetic waves. For the simplest object cylinder the regularities of changes of elements of the Green function for different values of the radius of the cylinder was demonstrated.

Keywords: scattering of electromagnetic waves, forecasting, Green function.