

УДК 004

ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССЕИВАЮЩИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ**Панкова В.А.***Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: valerianpanckowa@yandex.ru*

Дана классификация методов, применяемых при оценке рассеивающих свойств объектов. Указаны три характерных областей, в которых исследователи могут наблюдать размеры рассеивателей. Рассматривается задача рассеяния электромагнитной волны на объекте, представленном совокупностью независимых отражателей, расположенном на опорно-поворотном устройстве. Приведены выражения, описывающие особенности использования радиолокационного подхода, при учете изменения структуры поля облучения в процессе измерений, позволяющие провести расчет радиолокационного изображения. Рассмотрен также второй подход к получению радиолокационного изображения, который состоит в том, что задача восстановления рассматривается как обратная. Элементы оператора искажений находятся из вида выражения, описывающего прямой процесс формирования поля вторичного излучения объекта. Проводилась оценка разрешающей способности локальных отражателей в виде точечного источника.

Ключевые слова: восстановление изображений, обратная задача, радиолокационный подход**THE POSSIBILITIES OF DETERMINING THE SCATTERING PROPERTIES OF OBJECTS****Pankova V.A.***Voronezh institute of high technologies, Voronezh, e-mail: valerianpanckowa@yandex.ru*

The classification of methods used in the evaluation of the scattering properties of objects is given. There are three characteristics of the region, which can be the size of the lens. We consider the problem of scattering of electromagnetic waves on the object represented by a collection of independent reflectors mounted on the support-rotary device. Expressions are given that describe the use of features radiological approach, taking into account changes in the structure of the irradiation field in the measurement process, allowing the calculation of the radar image. The paper describes also a Second approach to obtaining the radar image, which consists in the fact that the task of rebuilding is considered as reverse. Elements of the operator of the distortions are of a kind expression that describes a direct process of formation of secondary radiation fields of the object. We assessed the resolution of local reflectors in the form of a point source.

Keywords: image restoration, inverse problem, radiological approach

Рассматриваемые методы при оценке рассеивающих свойств объектов можно условным образом разбить по трем классам. Первый из них связан с асимптотическими методами. Среди них применяют геометрическую оптику, физическую оптику, геометрическую теорию дифракции [1, 7]. Ко второму классу относятся строгие методы – интегральных преобразований, методы, базирующиеся на интегральных уравнениях. И еще, к третьему классу относят комбинированные методы.

В качестве примера подобных подходов можно указать метод стационарного функционала Ю. Швингера, различные гибридные способы, в которых сочетают целую совокупность методов и др.

Выделяют три характерных области, в пределах которых могут быть размеры рассеивателей L : квазистатическая (по-другому ее называют релеевской), тогда $L/\lambda \ll 1$; резонансная, тогда $L/\lambda \sim 1$; квазиоптическая, тогда $L/\lambda \gg 1$ (λ – является длиной радиоволны).

Для квазистатической области решения задач могут получиться на базе решений

волновых уравнений (уравнений Гельмгольца), но решения аналитическим способом можно достичь не всегда и необходимо использовать численное решение.

Для резонансной области (ее рассматривают как трудную в исследовательских задачах) во многих случаях прибегают к методу разделения переменных или методу интегральных уравнений.

Для квазиоптической области могут быть использованы два вида способов: лучевые и волноводные. Лучевые методы, в основном могут быть представлены геометрической оптикой и ее уточнениями.

Множество экспериментальных методов, связанных с определением характеристик вторичного излучения может быть подразделено по методам: проведение натуральных измерений; использование масштабных электродинамических моделирований; масштабных акустических моделирований.

В методах натуральных измерений выделяют два подхода: динамические и статические измерения.

Снятие динамических характеристики происходит для процессов реальных поле-

тов, при этом необходимо применять соответствующие приборы.

Снятие статических характеристик происходит [2, 5] на испытательных полигонах. Идет закрепление объектов на необходимых высотах по отношению к земной поверхности на основе тросов или применяются покрытые слабоотражающими материалами колонны, их [4, 6] и поворотные устройства соединяют.

Реализацию метода масштабного электродинамического моделирования осуществляют при помощи полигонных установок, которые являются аналогичными применяемым при процессах натурального статического моделирования или для безэховых камер.

В методе гидроакустического моделирования используют аналогу акустических и электромагнитных волновых процессов в изотропных средах.

Увеличивающиеся возможности в области радиолокационных сенсоров и растущие значения пропускной способности каналов беспроводной связи определяют непрерывный рост объемов данных по изображениям, которые передаются в радиолокационные центры обработки. При таких условиях актуальной может считаться автоматизация, тех основных операций по анализу и осуществления интерпретации радиолокационных изображений (РЛИ), их на настоящее время выполняют квалифицированные эксперты.

Объект, представленный совокупностью независимых отражателей, расположен на

опорно-поворотном устройстве (рис. 1). Антенна А располагается в дальней зоне, создает поле облучения и осуществляет прием рассеянного объектом поля в наборе $k = 0 \dots N_k - 1$ точек. Задачей является определение амплитудно-фазового распределения (АФР) поля вторичного излучения объекта в рабочей зоне D по массиву E_k зарегистрированных отсчетов диаграммы обратного рассеяния (ДОР).

При использовании радиолокационного подхода, с учетом изменения структуры поля облучения в процессе измерений, расчет РЛИ можно провести следующим образом [8, 9]:

$$E^V(x_i, y_j) = \sum_k E_k^V(x_i, y_j) \frac{E^{пл}(x_i, y_j)}{E_k^{обл}(x_i, y_j)} \quad (1)$$

$$E_k^V(x_i, y_j) = \frac{\exp(+2jk\sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2})}{\sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2}},$$

где x_i, y_j – точки изображения, $i = 0 \dots N_i - 1$, $j = 0 \dots N_j - 1$, E_k^V – АФР в области D, восстанавливаемое с k-й точки наблюдения, $E_k^{обл}(x_i, y_j)$ – АФР антенны при расположении антенны в k-й точке наблюдения, $E^{пл}$ – АФР плоского поля, распространяющегося в направлении $\varphi = 0$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ – длина волны, $x_k = R \cos \varphi_k$, $y_k = R \sin \varphi_k$ – координаты точки наблюдения, R – расстояние до объекта, удовлетворяющее условию дальней зоны, φ_k – угол наблюдения.

После подстановок (1) принимает вид

$$E^V(x_i, y_j) = \sum_{k=0}^{N_k-1} E_k^r(x_i, y_j) \frac{\exp(+2jk\sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2})}{\sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2}} \quad (2)$$

Выражение (2) представляет основу для синтеза первого алгоритма восстановления РЛИ.

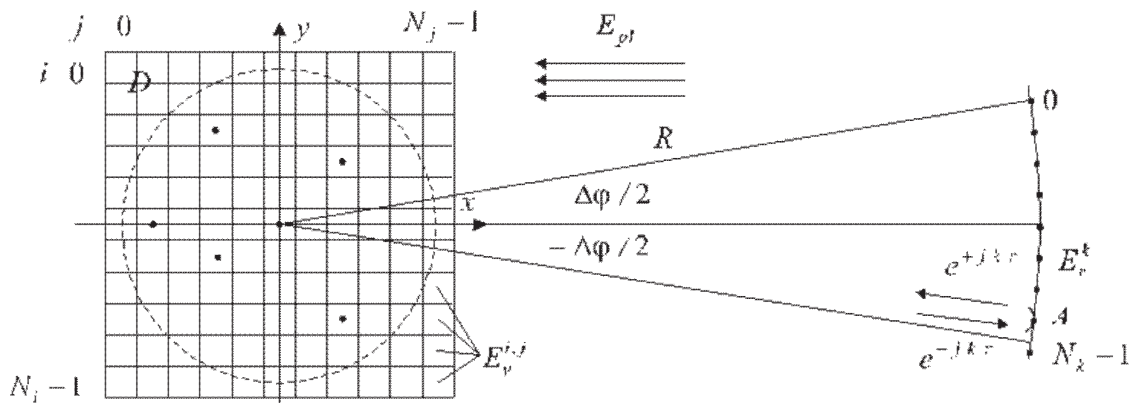


Рис. 1. Схема рассеяния электромагнитных волн на объекте

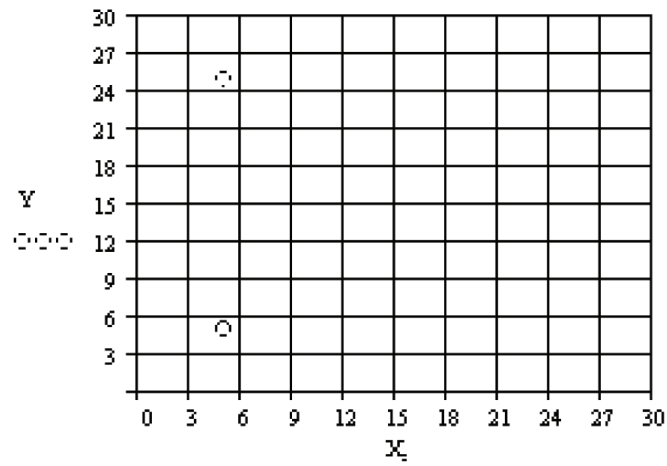


Рис. 2. Расположение локальных отражателей

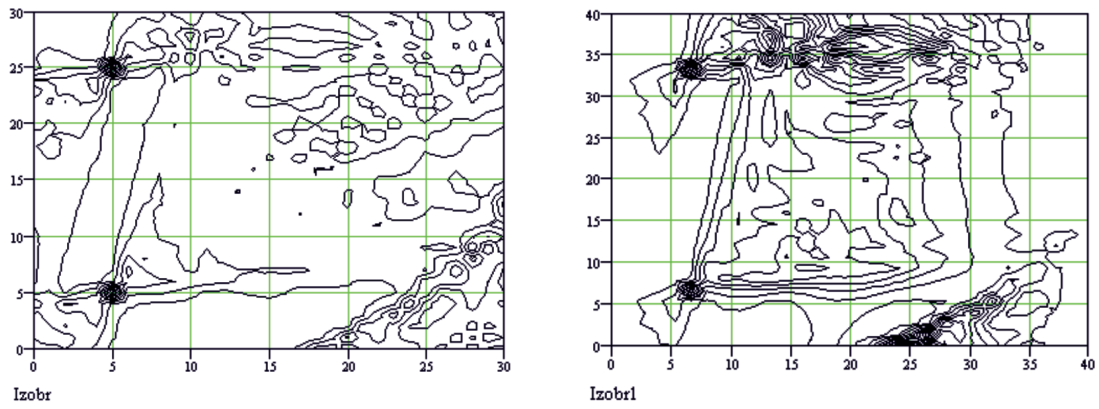


Рис. 3. Результаты восстановления изображения на основе первого (а) и второго (б) алгоритмов

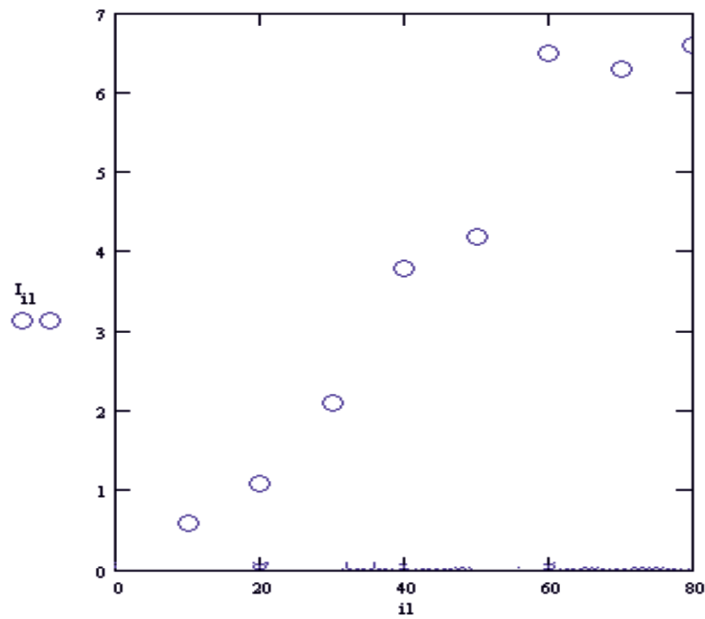


Рис. 4. Результаты восстановления максимума второго источника

Второй подход к получению РЛИ заключается в рассмотрении задачи восстановления как обратной.

Отсчеты зарегистрированного массива E_k^r , $k = 0..N_k - 1$, представляют «смазанный» образ РЛИ. Элементы оператора искажений A находятся из вида выражения, описывающего прямой процесс формирования поля вторичного излучения объекта.

$$E(x_k, y_k) = \sum_{s=1}^S E_s^0 \frac{\exp(-2jk\sqrt{(x_s - x_k)^2 + (y_s - y_k)^2})}{\sqrt{(x_s - x_k)^2 + (y_s - y_k)^2}}, \quad (3)$$

где E_s^0 – поле вторичного излучения (неизвестное) в рабочей зоне радиолокационного измерительного комплекса, s – индекс, принимающий значение $0..S - 1$, $S = N_{i-1} N_{j-1}$

В последнем выражении

$$A_{s,k} = \frac{\exp(-2jk\sqrt{(R \cos(\phi_j) - x_s)^2 + (R \sin(\phi_k) - y_s)^2})}{\sqrt{(R \cos(\phi_k) - x_s)^2 + (R \sin(\phi_k) - y_s)^2}}, \quad (4)$$

– элементы обратного оператора, где $k = 0..K$, $i = 0..N_i - 1$.

Строится обобщенная матрица системы линейных уравнений

$$\bar{A} = \begin{cases} (A^*)^T (A(A^*)^T + \delta)^{-1}, K > S \\ (A(A^*)^T + \delta)^{-1} (A^*)^T, K < S \end{cases} \quad (5)$$

где δ – параметр регуляризации. Параметр регуляризации $\delta = 10^{-10}$.

Далее определяется восстанавливаемое изображение

$$J = \bar{A} E_{s1}, \quad (6)$$

где $E_{s1} = E_s(E_k, y_k)$.

С использованием алгоритмов (1)-(2) и (3)-(6) проводилась оценка разрешающей способности локальных отражателей [3, 10] в виде точечного источника. Расстояние до локального отражателя составляло $R = 500\lambda$, сканирование проводилось в плоскости $X, Y = 1\lambda..30\lambda$. Видно (рис. 4), что значение максимума второго источника зависит практически линейно от сектора углов наблюдения.

Список литературы

1. Аббас Д.Х. Разработка подсистемы САПР для проведения анализа рассеивающих свойств объектов с поглощающими покрытиями на основе фасетной модели / Д.Х. Аббас, А.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. № 2(17). С. 10.
2. Воронов А.А. Обеспечение системы управления рисками при возникновении угроз информационной безопас-

ности / А.А. Воронов, И.Я. Львович, Ю.П. Преображенский, В.А. Воронов // Информация и безопасность. 2006. Т. 9. № 2. С. 8-11.

3. Глотова Т.В. О некоторых характеристиках методов трассировки лучей / Т.В. Глотова // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3-2. С. 223-224.

4. Ермилов Е.В. Риск-анализ распределенных систем на основе параметров рисков их компонентов / Е.В. Ермилов, Е.А. Попов, М.М. Жуков, О.Н. Чопоров // Информация и безопасность. 2013. Т. 16. № 1. С. 123-126.

5. Калашников А.О. Атаки на информационно-технологическую инфраструктуру критически важных объектов: оценка и регулирование рисков / А.О. Калашников, Е.В. Ермилов, О.Н. Чопоров, К.А. Разинкин, Н.И. Баранников // монография / под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. Воронеж, Издательство: ООО «Издательство «Научная книга», 2013, 159 с.

6. Львович И.Я. Основы информатики / И.Я. Львович, Ю.П. Преображенский, В.В. Ермолова / учебное пособие, Воронеж, Издательство: Воронежский институт высоких технологий, 2014, 339 с.

7. Пахомова А.С. Целенаправленные угрозы компьютерного шпионажа: признаки, принципы и технологии реализации / А.С. Пахомова, О.Н. Чопоров, К.А. Разинкин // Информация и безопасность. 2013. Т. 16. № 2. С. 211-214.

8. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн / А.П. Преображенский // Воронеж, Издательство: Издательско-полиграфический центр «Научная книга» (Воронеж), 2007, 248 с.

9. Преображенский А.П. Исследование возможности определения формы объекта в окрестности восстановления локальных отражателей на поверхности объектов по их диаграммам обратного рассеяния / А.П. Преображенский // Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 29-32.

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