

## ВЕЙВЛЕТ-ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФРАКТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ОТРАЖАТЕЛЯ

© 2016 А. П. Преображенский

*Воронежский институт высоких технологий*

*В работе проводится вейвлет-анализ и фрактальный анализ элементарного отражателя – прямоугольной плоской металлической пластины. Расчет рассеянного электромагнитного поля проводится в рамках физической оптики.*

*Ключевые слова: дифракция, рассеяние радиоволн, вейвлет-анализ, фрактальный анализ, функция.*

За счет того, что развиваются электродинамические системы автоматизированного проектирования (САПР) возникают возможности для решения совершенно новых задач, связанных с антенно-фидерной техникой, с теорией дифракции электромагнитных волн для структур, характеризующихся сложной формой. При обычных расчетах это требует больших вычислительных затрат. Сейчас практическим образом реализуются многие научные разработки, которые имели высокую степень сложности, тормозившую их реальное создание.

Дифракционные структуры можно увидеть в составе антенн и антенных систем, и различных объектов, имеющих сложную форму [1-3].

На настоящее время не удалось создать универсальные алгоритмы и методики, которые давали бы возможности осуществления анализа радиолокационных характеристик для антенных структур, имеющих произвольную форму.

Для того, чтобы проводить анализ и проектирование разных дифракционных структур и антенных систем уже разработчики создали большое число программных продуктов. Основная часть из них ориентирована большей частью на решение определенных специальных вопросов.

Современные электродинамические объекты характеризуются сложной формой, и для анализа их характеристик рассеяния во многих случаях требуется прибегать к численным методам.

Одним из возможных подходов, является использование метода интегральных уравнений. При этом его решают при учете особенностей того, как изменяется каждый

участок поверхности структур. Понятно, что существенным образом возрастают и время расчетов, и объемы необходимой машинной памяти. В таком подходе есть и некоторые достоинства:

1. Есть возможность анализа структур с произвольной формой.

2. Можно рассматривать характеристики электромагнитного поля, как во внутренней области структуры, так и во вне ее.

3. Размеры структуры могут быть такими, что для одного элемента машинных ресурсов может хватать, но потом можно использовать подходы, дающие возможности для оценок характеристик нескольких таких элементов, которые объединены в группу.

Но, для простых объектов выведены аналитические выражения, проводя декомпозицию сложных объектов на более простые, можно использовать соответствующие вычислительные алгоритмы.

Проведем анализ характеристик рассеяния прямоугольной пластины, имеющей размеры сторон  $2a$  и  $2b$ .

Для коротковолновой области пространственная моноэлектрическая индикатриса рассеяния прямоугольной пластины в приближении физической оптики определяется следующим образом [4]:

$$\sigma(\varphi, \theta) = \sigma_m (\cos\varphi \cos\theta \frac{\sin(2k a \sin\varphi \cos\theta)}{2k a \sin\varphi \cos\theta} \frac{\sin(2k b \sin\theta)}{2k b \sin\theta})^2$$

где  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\sigma_m = 64\pi a^2 b^2 / \lambda^2$ , при  $a, b > 3\lambda$ ,  $|\varphi|, |\theta| < 35^\circ$ . Мы проводили расчеты при  $a=7\lambda$ ,  $b=8\lambda$ ,  $\theta=0^\circ$ .

Введем вейвлетообразующую функцию «мексиканскую шляпу» [5]:

$$MHAT(t) = \frac{d^2}{dt^2} \exp(-t^2/2).$$

Вейвлет:

$$\psi(s, r, t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \text{MHAT} \left( \frac{t-r}{s} \right).$$

Вейвлет-спектр:

$$W(s, r) = \int_{-N}^N \psi(s, r, t) \sigma(t) dt.$$

Двухпараметрический спектр

$$NW_{s,r} = W(s, r)$$

приведен на рисунке 1, как поверхность в трехмерном пространстве, на рисунке 2 приведены изоуровни для вейвлет-преобразования на плоскости  $(s, r)$ .

Отметим, что сечение  $W(s, r)$  по временному масштабу  $s = s_0$  дает характеристику исходному сигналу  $\sigma(t)$ .

Перейдем от функции  $\sigma(t)$  к ее дискретному представлению  $\sigma_i, i=1, 2, \dots, I$ . Вы-

числим структурную функцию [6] сигнала исходя из ее определения

$$J_m = \frac{1}{I-m} \sum_{i=1}^{I-m} |\sigma_{i+m} - \sigma_i|$$

График структурной функции приведен на рисунке 3 (линия 1). Также приведена аппроксимация этой функции на основе линейной зависимости (линия 2 – кружки) при заданном изменении параметра  $m=0, 1, \dots, 5$ . Этот результат дает подтверждение факту фрактальности сигнала, отраженного от прямоугольной пластины. Параметр Херста связан с тангенсом угла наклона графика функции, он равен  $H=3.9$ .

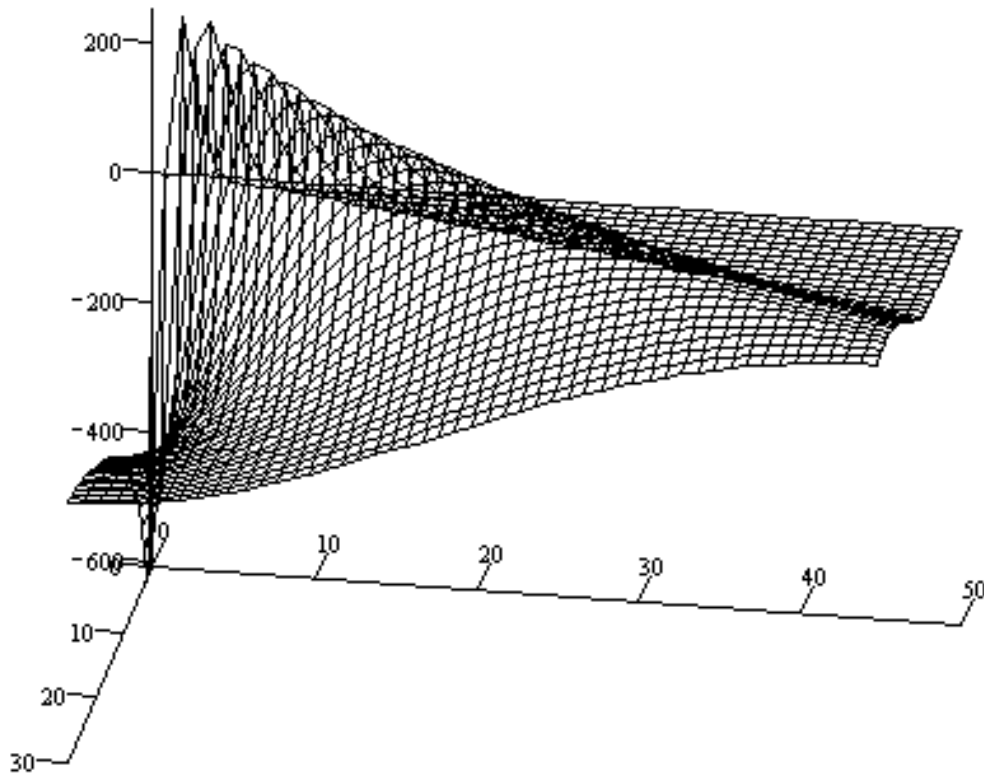


Рис. 1. Двухпараметрический спектр

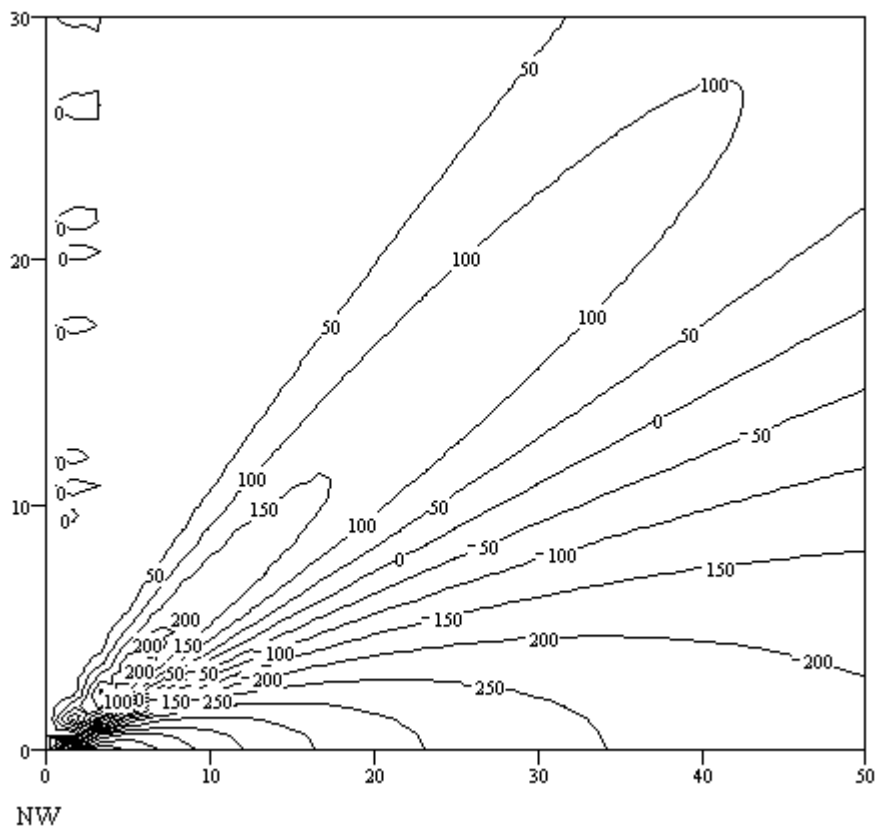


Рис. 2. Изоурвни для вейвлет-преобразования на плоскости

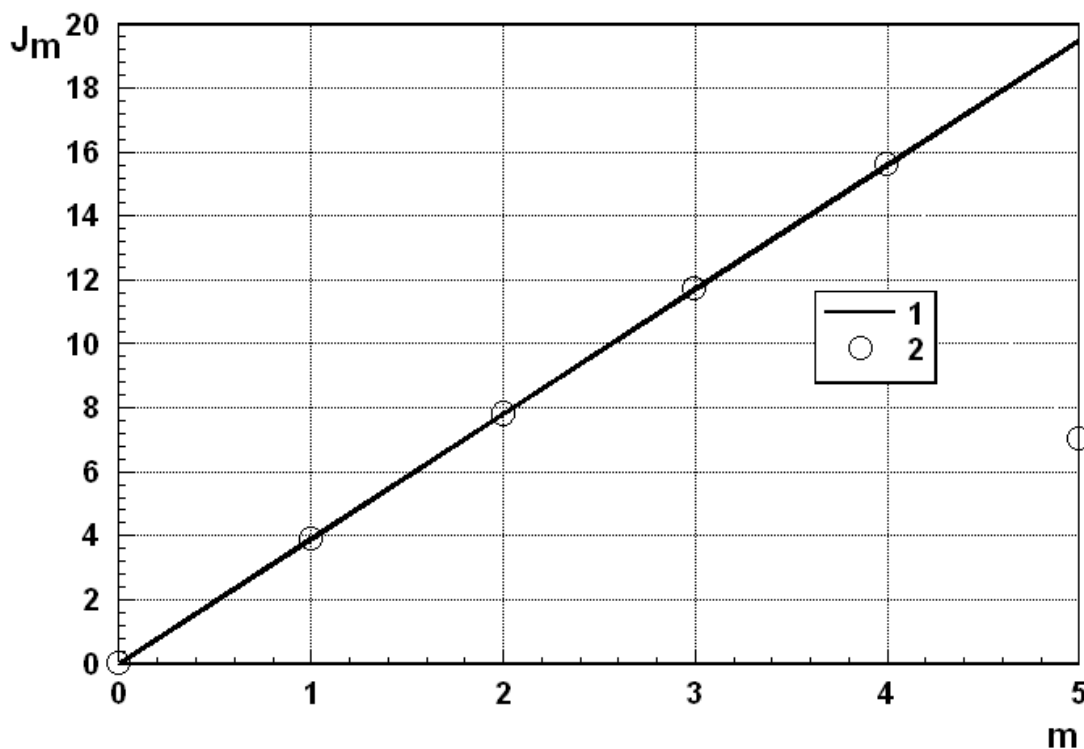


Рис. 3. Структурная функция

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болучевская О. А. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / О. А. Болучевская, О. Н. Горбенко // Моделирование, оптими-

зация и информационные технологии. – 2013. – № 3. – С. 4.

2. Ерасов С. В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах / С. В. Ерасов // Вестник Воронежского ин-

ститута высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 20-26.

3. Вычислительные методы в электродинамике; под ред. Р. Митры. – М.: Мир, 1977. – 485 с.

4. Кобак В. О. Радиолокационные отражатели / В. О. Кобак. – М.: Сов. радио, 1972. 248 с.

5. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования: учеб. пособие / А. Н. Яковлев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 104 с.

6. Короленко П. В. Новационные методы анализа стохастических процессов и структур в оптике. Фрактальные и мультифрактальные методы, вейвлет-преобразования: учебное пособие / П. В. Короленко, М. С. Маганова, А. В. Меснянкин. – М.: Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына, 2004. – 82 с.

## **THE WAVELET FEATURES AND FRACTAL CHARACTERISTICS OF THE ELEMENTARY REFLECTOR**

**© 2016 A. P. Preobrazhenskiy**

*Voronezh Institute of High Technologies*

*The paper deals with wavelet analysis and fractal analysis of the elementary reflector – rectangular flat metal plate. The calculation of the scattered electromagnetic field is carried out within the framework of physical optics.*

*Keywords: diffraction, scattering of radio waves, wavelet analysis, fractal analysis, function.*