

УДК 621.396

А.П.Преображенский
**ВЕЙВЛЕТ-ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФРАКТАЛЬНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
ПЛАСТИНЫ**

Воронежский институт высоких технологий

Дифракционные структуры, имеющие разную форму, входят в состав современных антенн и антенных систем, а также технических объектов, характеризующихся сложной формой. В данной работе проведен анализ характеристики рассеяния элементарной дифракционной структуры - прямоугольной пластины. Анализ проводился в коротковолновой области на основе приближения физической оптики. Построены графики двухпараметрического спектра, изоуровней для вейвлет-преобразования на плоскости, структурной функция, дана аппроксимация указанной функции с применением линейной зависимости. Приведенный результат можно считать подтверждением тому факту, что есть фрактальность сигнала, который отражен от прямоугольной пластины. Определен параметр Херста.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, фрактальные характеристики, дифракционная структура, теория рассеяния радиоволн.

Вследствие того, что происходит развитие различных электродинамических систем, связанных с автоматизированным проектированием (САПР), можно отметить появление возможностей для того, чтобы проводилось решение новых классов проблем, которые связаны с проектированием антенно-фидерных устройств, с разработкой теорий дифракций радиоволн для объектов, которые характеризуются тем, что имеют сложную форму, при осуществлении обычных расчетов это ведет к тому, что требуются большие вычислительные затраты, в настоящее время на практике происходит реализация многих научных разработок, для которых существовали определенные трудности при их формировании, поскольку они являются довольно сложными.

Дифракционные структуры, имеющие разную форму, входят в состав современных антенн и антенных систем, а также технических объектов, характеризующихся сложной формой [1-3].

К настоящему времени многим исследователям не удалось сформировать множество универсальных алгоритмов и методик, на основе которых позволяли бы проводить анализ радиолокационных характеристик по антенным структурам, которые имеют произвольные формы.

Для целей проведения анализа и проектирования соответствующих дифракционных структур и сложных антенных систем проектировщиками и программистами были созданы программные продукты. При этом весьма большая часть этих программ связана с тем, что они позволяют решать определенные специальные вопросы.

В современных электродинамических объектах можно отметить, как одну из ключевых характеристики - сложную форму, и для того, чтобы проводить анализ их характеристик рассеяния в целом ряде случаев необходимо использовать численные методы.

Среди различных подходов выделяют применение метода интегральных уравнений. Когда его используют, то учитывают особенности того, как происходит изменение каждого из участков поверхностей дифракционных структур. При этом заметным образом происходит увеличение и времени расчетов, и объемов требуемой машинной памяти. Для указанного подхода можно отметить и определенные достоинства:

1. Появляются возможности для того, чтобы анализировать структуры, имеющие произвольную форму.
2. Можно проводить рассмотрение характеристик электромагнитного поля, как во внутренних областях структур, так и во вне их.
3. Структуры могут характеризоваться такими размерами, что если проводить расчеты для одного из элементов, то нам может хватить машинных ресурсов, а затем мы применим подходы, в которых даются оценки характеристик рассеяния нескольких подобных элементов, объединенных в группы.

Но, в случае простых объектов, можно пользоваться аналитическими выражениями, путем проведения декомпозиции сложных объектов по более простым, при этом применяют соответствующие вычислительные алгоритмы.

В данной работе мы анализируем характеристики рассеяния прямоугольной пластины, которая имеет размеры сторон $2a$ и $2b$.

В коротковолновых областях для пространственной моностатической индикатрисы рассеяния прямоугольной пластины для приближения физической оптики записывается такое выражение [4]

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}(\varphi) = & \sigma_m \left| \frac{\sin(x)}{x} - j \frac{\cos(x)}{2ka} + \right. \\ = & \left. \frac{4\pi z_0 \exp(j2ka) \left(1 - \frac{z_0 (\cos(x) - j \sin(\varphi) \sin(x)) \exp(j2ka)}{2 \cos(\varphi) \sqrt{\pi ka}} \right)}{\cos(\varphi) \sqrt{\pi ka} (4\pi ka - z_0^2 \exp(j4ka))} \right|^2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{yy}(\varphi) &= \\ &= \frac{\sigma_m \left| \frac{\sin(x)}{x} + j \frac{\cos(x)}{2ka} - \right.}{4\pi z_0 \exp(j2ka) \left(1 + \frac{(1 + \sin(\varphi))^3 \exp(-jx) + (1 - \sin(\varphi))^3 \exp(jx)}{16\pi k a z_0 (\cos(\varphi))^3 \sqrt{\pi k a}} \right) - j \frac{16\pi k a z_0 (\cos(\varphi))^3 \sqrt{\pi k a}}{\cos(\varphi) \sqrt{2\pi k a} (16\pi k a z_0 \sqrt{2ka} - \exp(j4ka))}} \end{aligned} \quad (2)$$

где $k = 2\pi/\lambda$, $\sigma_m = 64\pi a^2 b^2 / \lambda^2$, $x = 2ka \sin(\varphi)$, $z_0 = \exp(j\pi/4)$,
 при $a, b > 1.5\lambda$, $|\varphi| < 70^\circ$. Мы проводили расчеты при $a=9\lambda$, $b=9\lambda$.

Нами будет введена вейвлетообразующая функция «мексиканская шляпа» [5]:

$$MHAT(t) = \frac{d^2}{dt^2} \exp(-t^2/2). \quad (3)$$

Вейвлет:

$$\psi(s, r, t) = \frac{1}{\sqrt{s}} MHAT\left(\frac{t-r}{s}\right). \quad (4)$$

Вейвлет-спектр:

$$W(s, r) = \int_{-N}^N \psi(s, r, t) \sigma(t) dt. \quad (5)$$

Двухпараметрический спектр

$$NW_{s,r} = W(s, r) \quad (6)$$

дан на Рисунке 1 в виде поверхности, построенной в трехмерном пространстве, на рис.2 мы привели изоуровни в случае вейвлет-преобразования на плоскости (s, r) .

Следует отметить, что сечение $W(s, r)$ для временного масштаба $s = s_0$ определяет характеристику для исходного сигнала $\sigma(t)$.

Представим функцию $\sigma(t)$ в ее дискретном представлении σ_i , $i=1, 2, \dots, I$. Проведем вычисление структурной функции [6] сигнала, базирясь на ее определении

$$J_m = \frac{1}{I-m} \sum_{i=1}^{I-m} |\sigma_{i+m} - \sigma_i| \quad (7)$$

Мы видим график структурной функции приведенный на Рисунке 3 (линия 1). Кроме того, дана аппроксимация указанной функции с применением линейной зависимости (линия 2 - треугольники), когда было задано изменение параметра $m=0, 1, \dots, 5$. Приведенный результат можно считать подтверждением тому факту, что есть фрактальность сигнала, который отражен от прямоугольной пластины. Параметр Херста определяется тангенсом угла наклона графика функции, он равен $H=15.1$.

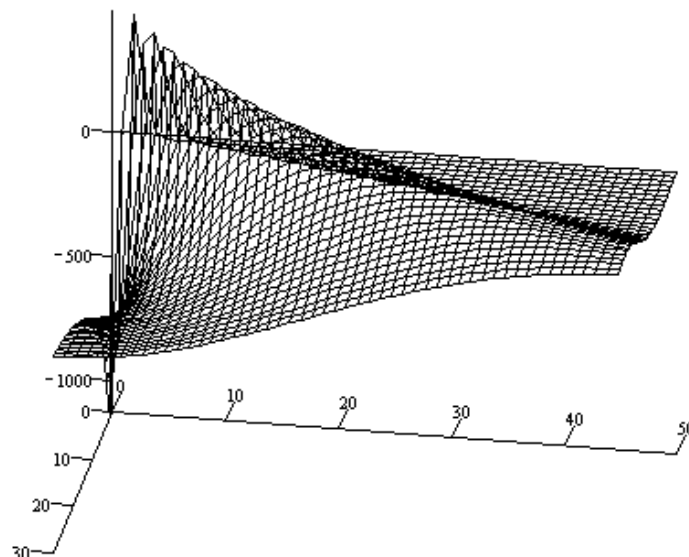


Рисунок 1-Двухпараметрический спектр

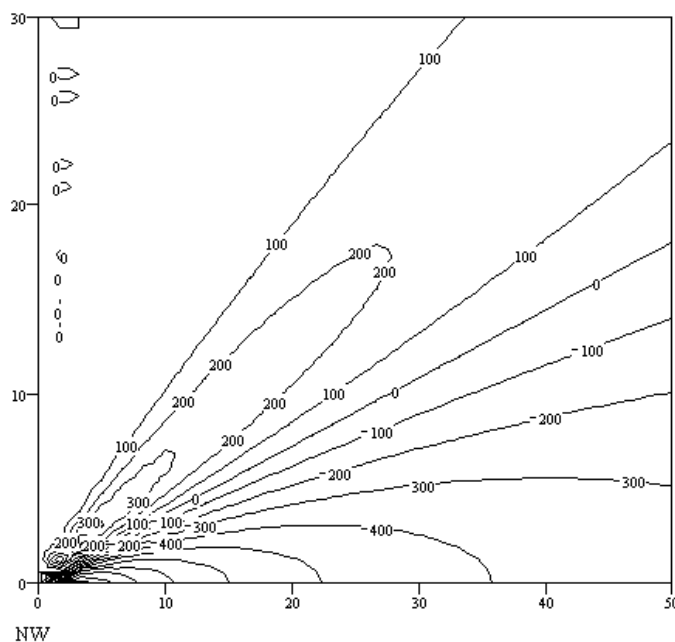


Рисунок 2 - Изоуровни для вейвлет-преобразования на плоскости

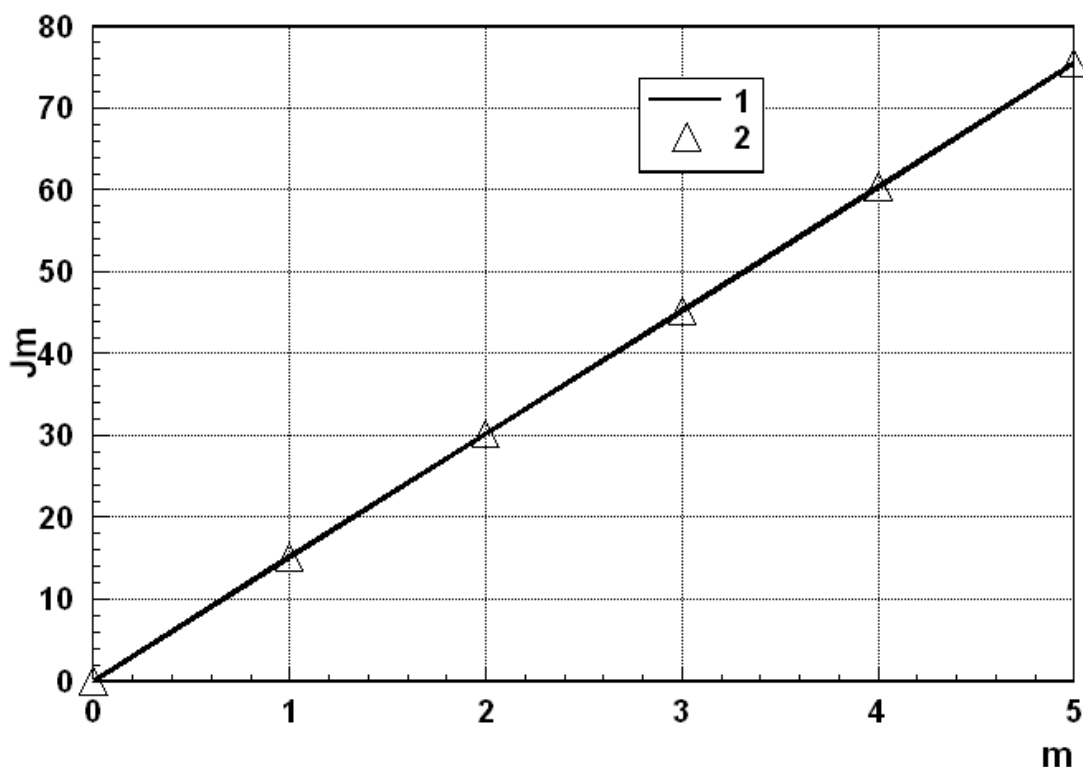


Рисунок 3- Структурная функция

Выводы. В данной работе проведен анализ характеристики рассеяния элементарного отражателя – прямоугольной пластины. Анализ проводился в коротковолновой области. Построены двухпараметрический спектр, изоуровни для вейвлет-преобразования на плоскости, структурная функция.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болучевская О.А. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / О.А.Болучевская, О.Н.Горбенко / Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013. № 3. С. 4.
2. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах / С.В.Ерасов // Вестник Воронежского института 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 / А.Н. Яковлев // Учеб. пособие. 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. / П.В. Короленко, М.С. Маганова, А.В. Меснянкин.// Учебное пособие. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, 2004. - 82 с.

A.P.Preobrazhenskiy

THE WAVELET FEATURES AND FRACTAL FEATURES OF RECTANGULAR METAL PLATE

Voronezh Institute of High Technologies

The diffraction structures having different shapes, are part of modern antennas and antenna systems, as well as technical objects characterized by complex shapes. In this work the analysis of the dispersion characteristics of elementary diffraction structures with a rectangular plate. The analysis was performed in the short wavelength region on the basis of approximation of physical optics. The graphs of the two-parameter spectrum, Sorona for the wavelet transform in the plane structure function, given the approximation of a specified function using a linear dependence. Given result can be considered a confirmation of the fact that there are fractal properties of the signal that is reflected from the rectangular plate. The Hurst exponent is determined.

Keywords: wavelet transform, fractal characteristics of the diffraction structure, the theory of scattering of radio waves.

REFERENCES

1. Boluchevskaya O.A. Svoystva metodov otsenki kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln / O.A.Boluchevskaya, O.N.Gorbenko / Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2013. No. 3. p. 4.
2. Erasov S.V. Optimizatsionnye protsessy v elektrodinamicheskikh zadachakh / S.V.Erasov // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologii. 2013. No. 10. pp. 20-26.
3. Vychislitel'nye metody v elektrodinamike / Pod red. R. Mitry. M.: Mir, 1977. 485 p.
4. Kobak V. O. Radiolokatsionnye otrazhateli / V. O. Kobak - M.: Sov. radio, 1972. 248 p.
5. Yakovlev A.N. Vvedenie v veyvlet-preobrazovaniya / A.N. Yakovlev // Ucheb. posobie. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2003. 104 p.
6. Korolenko P.V. Novatsionnye metody analiza stokhasticheskikh protsessov i struktur v optike. Fraktal'nye i mul'tifraktal'nye metody, veyvlet-preobrazovaniya. / P.V. Korolenko, M.S. Maganova, A.V. Mesnyankin.// Uchebnoe posobie. M.: Moskovskiy gosudarstvennyy universitet im. M.V. Lomonosova, Nauchno- issledovatel'skiy institut yadernoy fiziki im. D.V. Skobel'tsyna, 2004. - 82 p.