

УДК 621.396

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**Лаптева Г.А.***Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: laptewagalin@yandex.ru*

В работе анализируется возможность решения задачи дифракции электромагнитных волн на отражательной гребенке на основе метода интегральных уравнений и нейросетевого подхода. Задача, связанная с определением токов на гребенчатой поверхности при рассеянии радиоволны, была решена в рамках метода интегральных уравнений. При этом определяется средняя эффективная поверхность рассеяния рассматриваемого объекта в заданном секторе углов наблюдения. На основе нейросетевой модели возможно прогнозирование эффективной поверхности рассеяния. По результатам расчетов была создана и обучена нейронная сеть с точностью обучения 0.5. Проводилось прогнозирование характеристик рассеяния металлической гребенки для углов наблюдения больше 50° . На основе разработанного алгоритма возможно определение границ значений размеров гребенки внутри, которых возможно прогнозирование характеристик рассеяния с заданной точностью в заданном секторе углов наблюдения.

Ключевые слова: дифракция электромагнитных волн, интегральное уравнение, нейросетевое моделирование**ABOUT PREDICTING THE SCATTERING CHARACTERISTICS OF COMPLEX OBJECTS BASED ON NEURAL NETWORK TECHNOLOGY****Lapteva G.A.***Voronezh institute of high technologies, Voronezh, e-mail: laptewagalin@yandex.ru*

The paper discusses the possibility of solving the problem of diffraction of electromagnetic waves on reflective comb based on the method of integral equations and neural network approach. The problem of determining the currents on the comb while on her scattering of electromagnetic waves was solved by the method of integral equations. In this case is the average effective surface scattering of the object in a given sector of observation angles. Based on the neural network model it is possible to predict the effective surface scattering. The calculations were created and trained the neural network with accuracy of learning 0.5. Was conducted predicting the scattering characteristics of metal combs for viewing angles more than 50° . Based on the developed algorithm it is possible to define the boundaries of dimension values of a comb inside, of which it is possible to predict the scattering parameters with a given accuracy in a given sector of observation angles.

Keywords: diffraction of electromagnetic waves, integral equation, neural network modeling

В последнее время наблюдается повышенный интерес к нейросетевым алгоритмам обработки сигналов и информации [4]. Они успешно конкурируют с численными алгоритмами обработки сигналов и расчета характеристик рассеяния электромагнитных волн [1, 8].

Важность исследования дифракционных процессов радиоволн на отражательных гребенках, обусловлена тем, что подобные структуры можно применять при формировании плоских сверхвысокочастотных антенных систем дифракционного вида при электронном управлении поляризационной чувствительностью [4, 7]. Основные идеи электронной селекции относительно поляризационного признака состоят в том, что гребенчатый объект содержит пазы, являющиеся поляризационно-избирательными компонентами: когда параллельная взаимная ориентация в магнитных силовых линиях первичной радиоволны и пазов, содержащихся в дифракционной решетке, то внутри пазов будут возбуждаться стоячие

волны, характеризующиеся значительной интенсивностью. Степень реакции пазов, располагающихся по другим координатным осям, на поля радиоволны будет мало.

Целью работы является исследование возможностей нейросетевых алгоритмов прогнозирования характеристик рассеяния электромагнитных волн объектов сложной формы на примере отражательной гребенки.

Нейросетевой алгоритм прогнозирования рассеяния электромагнитных волн предлагается строить на основе сети, использующей прямые связи, сигмоидальные передаточные функции нейронов. Обучением осуществляется на базе метода обратного распространения ошибок [4].

Задачу по определению токов на гребенчатой структуре (рис.1) когда рассеивается радиоволна необходимо было решать на основе метода интегральных уравнений. По одному периоду относительно плотности тока использовалось интегральное уравнение [9]

$$\begin{aligned} \vec{J}(x, y, z) + 2 \cdot \int_S [\vec{n}(x, y, z) \times [\vec{J}(x', y', z') \times \text{grad}G(x, y, z, x', y', z')]] ds = \\ = 2 \cdot [\vec{n}(x, y, z) \times \vec{H}^i(x, y, z)], \end{aligned}$$

здесь

$$G(x, y, z, x', y', z') = \exp(-ikr) / (4\pi r), \quad r = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}. \quad (1)$$

Если анализировать бесконечную одномерную гребенчатую структуру, то идет преобразование уравнения (1) в бесконечную систему, содержащую интегральные уравнения. Выбираем нулевой элемент в гребенчатой структуре, идет нумерация остальных элементов (рис. 1). Тогда для точки наблюдения по первому элементу имеем уравнение

$$\begin{aligned} \dots + \vec{J}_0(x_0, y_0, z_0) + 2 \cdot \int_{S_0} [\vec{n}(x_0, y_0, z_0) \times [\vec{J}_{-1} \times \text{grad}G(x_0, y_0, z_0, x'_0, y'_0, z'_0)]] ds + \\ + 2 \cdot \int_{S_1} [\vec{n}(x_0, y_0, z_0) \times [\vec{J}_1 \times \text{grad}G(x_0, y_0, z_0, x'_1, y'_1, z'_1)]] ds + \dots = \\ = 2 \cdot [\vec{n} \times \vec{H}^i(x_0, y_0, z_0)]. \end{aligned} \quad (2)$$

Есть идентичность элементов гребенки, по одинаковым точкам элементов есть различие только в координатах на величину, которая кратна периоду d . Различие в фазах по плотностям токов для одинаковых точек элементов будет $\psi = kdcos\theta$. В результате, уравнение (2) может быть сведено к интегральному уравнению

$$\begin{aligned} \vec{J}_0(x_0, y_0, z_0) + 2 \cdot \int_{S_0} [\vec{n}(x_0, y_0, z_0) \times [\vec{J}_0 \times \\ \times \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(in\psi) \cdot \text{grad}G(x_0, y_0, z_0, x'_0 + nd, y'_0, z'_0)]] ds = 2 \cdot [\vec{n} \times \vec{H}^i(x_0, y_0, z_0)]. \end{aligned} \quad (3)$$

Решение задачи рассеяния электромагнитных волн состоит в определении средней эффективной поверхности (ЭПР) рассматриваемого объекта в заданном секторе углов наблюдения. На основе нейросетевой модели возможно прогнозирование ЭПР.

Необходимо по данным о характеристиках рассеяния гребенки из нескольких полостей создать нейронную сеть позволяющую

проводить прогноз о характеристиках рассеяния гребенки.

Обучающая выборка формировалась исходя из изменений входных данных в следующих пределах: размер a менялся от $a_{\min} = 1\lambda$ до $a_{\max} = 3.6\lambda$, размер d менялся от $d_{\min} = 0.1\lambda$ до $d_{\max} = 2\lambda$, размер L менялся от $L_{\min} = 1\lambda$ до $L_{\max} = 4.5\lambda$, угол наблюдения θ менялся в диапазоне от 0° до 50° .

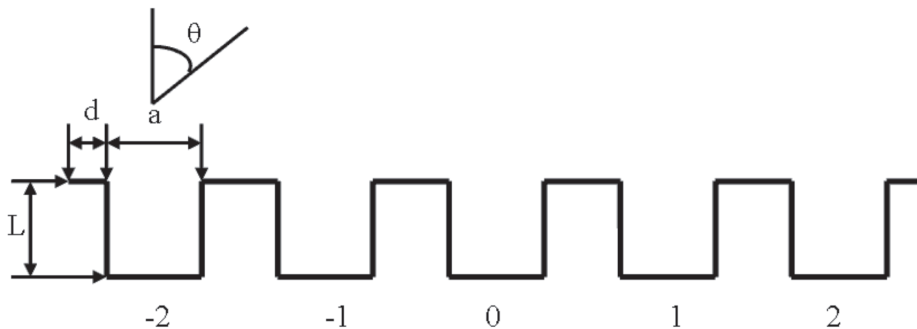


Рис. 1. Одномерная линейная гребенка (вид сбоку)

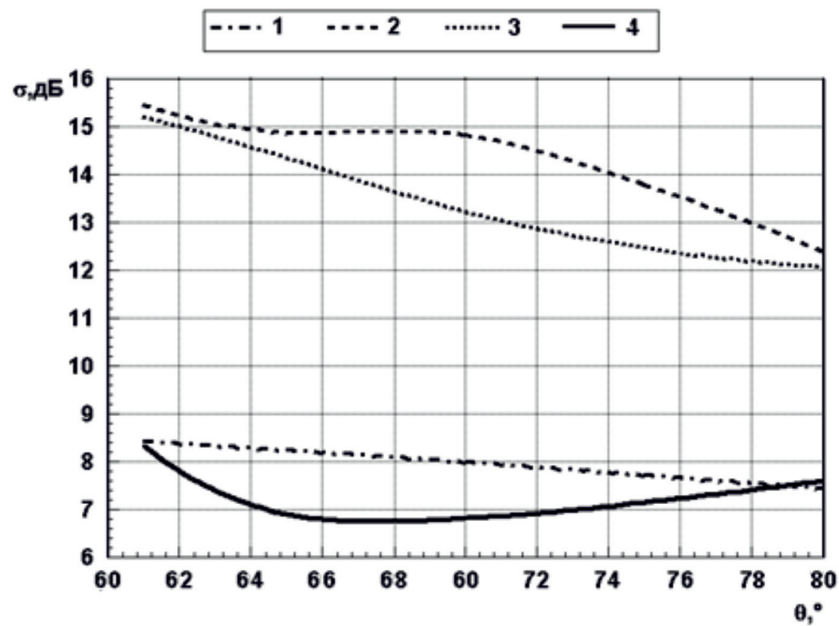


Рис. 2. Расчетные и спрогнозированные средние ЭПР для объекта из одной и пяти полостей: 1 – рассчитанная средняя ЭПР для объекта из одной полости; 2 – рассчитанная средняя ЭПР для объекта из пяти полостей; 3 – спрогнозированная средняя ЭПР для объекта из пяти полостей; 4 – спрогнозированная средняя ЭПР для объекта из одной полости

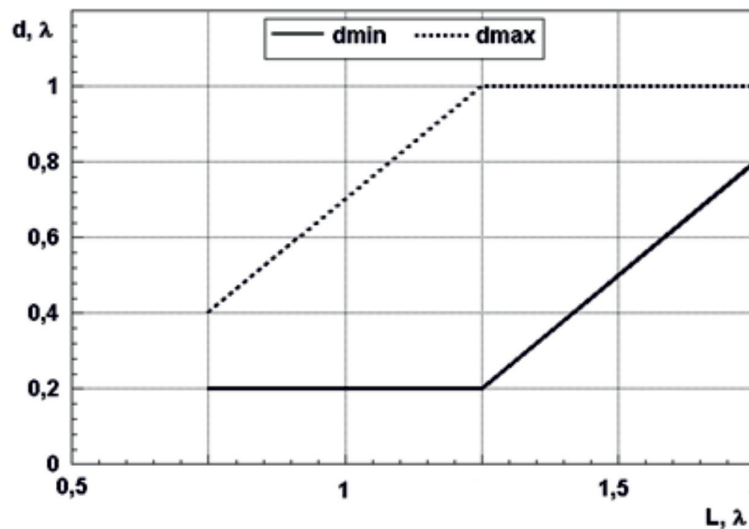


Рис. 3. Зависимость нижней и верхней границ диапазона значений d , в котором наблюдается ошибка прогнозирования не больше 3 дБ от размеров полостей в гребенке

По результатам расчетов была создана и обучена нейронная сеть с точностью обучения 0.5. Проводилось прогнозирование ЭПР объекта для углов наблюдения θ больше 50° . На рис. 2 приведен пример прогнозирования средней ЭПР для объекта со следующими размерами: $d = 0.554\lambda$, $a = 1.45\lambda$, $L = 1.45\lambda$. Анализ показал, что

при прогнозировании средней ЭПР для параметров объекта лежащих в указанных выше пределах ошибка прогнозирования не будет превышать 1.5 дБ в диапазоне сектора углов наблюдения $50^\circ < \theta < 70^\circ$. При увеличении верхней границы сектора углов до 90° максимальная ошибка прогнозирования увеличивается до 3 дБ.

Проводилось определение параметров гребенки, при котором в указанном секторе углов наблюдения максимальная ошибка прогнозирования составляет не более 3 дБ. Рассматривался случай, когда $a = L$. На рис. 3 приведена зависимость нижней и верхней границ диапазона значений d от a (или L).

Задача рассеяния электромагнитной волны на объекте может быть решена на основе упрощенной методики с использованием комбинации метода физической оптики и метода краевых волн [2, 3, 5, 6].

Выводы

В работе построен нейросетевой алгоритм прогнозирования характеристик рассеяния электромагнитных волн объектов сложной формы на примере отражательной гребенки. На основе этого алгоритма возможно определение границ значений размеров гребенки внутри, которых возможно прогнозирование характеристик рассеяния с заданной точностью в заданном секторе углов наблюдения.

Список литературы

1. Преображенский А.П. Методы прогнозирования характеристик рассеяния электромагнитных волн / А.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2014. № 1 (4). С. 3.
2. Преображенский А.П. Моделирование рассеяния электромагнитных волн на угловых структурах / А.П. Преображенский, О.Н. Чопоров // International Journal of Advanced Studies. 2016. Т. 6. № 2. С. 88-96.
3. Преображенский А.П. Моделирование характеристик рассеяния объектов, в состав которых входят кромки / А.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2016. № 2 (13). С. 7.
4. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский // Издательство: Горячая линия-Телеком, 2006, 383 с.
5. Секушина С.А. О возможностях применения гибризации в электродинамике / С.А. Секушина // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3-2. С. 234-235.
6. Шестопалов В.П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Т. Открытые структуры. / Шестопалов В. П. Киев: Наук. думка, 1985, 216 с.
7. Шестопалов В.П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники, Т. 2. Источники. Элементная база. Радиосистемы / Шестопалов В.П. Киев: Наук. думка, 1985, 256 с.
8. Choporov O.N. The simulation on the parallel approach of diffraction grating with the dielectric layer / O.N. Choporov, I.Ya. Lvovich, A.P. Preobrazhenskiy // В сборнике: Радиолокация, навигация, связь Сборник трудов XXIII Международной научно-технической конференции. В 3-х томах. 2017. С. 1203-1209.
9. Stefanovic J. The technique of calculation the parameters of the electromagnetic the 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.