

УДК 621.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ПОЛЫХ СТРУКТУРАХ**Требунских И.С.***Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: vanya1trebunskikh@yandex.ru*

В данной работе рассматривается решение задачи, направленной на оценку характеристик рассеяния электромагнитных волн на полых структурах, их размеры относятся к резонансной области. Размеры полых структур, имеющих максимальные характеристики рассеяния, определялись на основе того, что осуществлялась комбинация метода интегральных уравнений и метода оптимизации. В качестве интегрального уравнения рассматривалось интегральное уравнение первого рода. Основным используемым методом оптимизации был генетический алгоритм. Создана математическая модель и алгоритм численного анализа особенностей рассеяния плоских радиоволн на полых структурах, которые являются компонентами объектов, имеющих сложную форму, антенно-фидерных линий и антенных устройств. В работе были получены результаты тестовых расчетов. Была предложена структура подсистемы анализа полых структур, имеющих сложную форму.

Ключевые слова: моделирование рассеяния электромагнитных волн, полая структура, оптимизация, интегральное уравнение.

THE MODELING OF PROCESSES OF SCATTERING ELECTROMAGNETIC WAVES ON HOLLOW STRUCTURES**Trebunskih I.S.***Voronezh institute of high technologies, Voronezh, e-mail: vanya1trebunskikh@yandex.ru*

In this paper we consider the solution of the problem aimed at the assessment of the characteristics of scattering of electromagnetic waves in hollow structures, their sizes refer to the resonance region. The dimensions of the hollow structures having the maximum dispersion characteristics were determined on the basis of what was carried out the combination of the method of integral equations and the approach of optimization. As integral equation of the considered integral equation of the first kind. The main used method of optimization of genetic algorithm. The mathematical model and algorithm of numerical analysis are created of diffraction of a plane homogeneous electromagnetic waves in hollow structures comprising complex objects, antenna-feeder paths and radar antennas. The results of test calculations are obtained. The structure of the subsystem of the analysis of hollow structures with complex shapes is proposed.

Keywords: simulation of electromagnetic scattering, hollow structure, optimization, integral equation

Когда исследователи анализируют процессы, касающиеся моделирования рассеяния электромагнитных волн на разных объектах, имеющих сложную форму, им приходится решать задачи, которые связаны с радиолокационным распознаванием, формированием условий, для которых происходит соблюдение электромагнитной совместимости.

Разные ученые определили модели (являющимися, в том числе и аналитическими), при появлении них появились возможности того, чтобы осуществлять оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн для большого класса объектов [3, 4].

В некоторых задачах возникает необходимость того, чтобы обладать информацией не об угловых зависимостях по характеристикам рассеяния, а о средних значениях характеристик рассеяния в определенных секторах углов наблюдения. После анализа различных литературных источников можно привести данные относительно средних значений ЭПР (эффективные площади рассеяния), которые рассчитываются для объектов, характеризующихся просты-

ми формами (плоские поверхности, шары, эллипсоиды и т.д.). Для тех случаев, когда объекты, подлежащие исследованию, имеют сложную форму, требуется привлекать численные методы. Среди объектов разработок можно отметить полые структуры, которые имеют сложные формы, входящие в состав различных антенных систем и систем дифракционных структур. Величины мощностей, относящихся к вторичному рассеянию подобных объектов могут быть довольно большими [6, 7].

В рамках классического метода решения уравнения Гельмгольца, в котором применяется подход, связанный с разделением переменных, получаются аналитические результаты лишь для таких неоднородностей, поверхности которых будут совпадать с координатными поверхностями в ортогональных системах координат, по которым происходит разделение уравнения Гельмгольца.

Способы, для того, чтобы проводить вычисление рассеянных полей комплексных объектов для разных областей наблюдения являются известными.

Для интегральных уравнений второго рода, в случае их практического использования, можно указать большое число достоинств, так, например, указывают то, что решение будет устойчивым с точки зрения малых возмущений в исходных параметрах проблем.

При этом особенности численных решений в интегральных уравнениях, которые традиционным образом решаются на базе проекционных подходов, имеют некоторую связь с тем, каким образом осуществляется выбор систем базисных функций, позволяющих обеспечить повышение эффективности вычислительных операций по отношению к скоростям сходимости, параметров, определяющих производительность процессоров и объемов оперативной памяти вычислительных устройств.

Когда используется метод конечных элементов в областях, в которых осуществляется процесс поиска решения в системах дифференциальных уравнений, идет определение конечного числа подобластей.

По каждой из подобных подобластей требуется провести выбор типа аппроксимирующих функций. Среди простейших вариантов можно указать линейную зависимость, при этом анализируют полиномы, имеющие 1 степень.

Значение аппроксимирующей функции вне подобласти мы полагаем равным нулю. Необходимо проводить стыковку значений функций относительно границ подобластей.

Процесс поиска коэффициентов в аппроксимирующих функциях идет исходя из условий того, что будет равенство значений по соседним функциям по границам между подобластями.

Затем подобные коэффициенты необходимо выражать как зависящие от значений функций по соответствующим узлам подобластей. Идет формирование системы линейных алгебраических уравнений.

Количество уравнений будет равно количеству неизвестных значений, которые относятся к узлам, по ним мы ведем поиск решения анализируемой системы. Это количество будет прямо пропорционально числу подобластей и ограничения по расчетам определяются только тем, какие возможности в конкретном компьютере.

В связи с тем, что для каждой из подобластей есть связь с некоторым числом соседних, тогда в системе линейных алгебраических уравнений характерным будет то, что она будет разреженной, это существенным образом определяет упрощение процедуры для ее решения.

Но не всегда является возможным определить точные и аналитические решения по распределению токов, но могут быть случаи, в которых можно указать приближение по фактическому распределению токов на объектах.

Кроме весьма простых систем, проведение электромагнитного анализа требуется для того, чтобы оценивать электрические характеристики и осуществлять проектирование в высокопроизводительных телекоммуникационных и информационных системах, это во многих случаях определяет большие значения чисел степеней свободы, и в этой связи появляются трудности при численном решении задач.

Поэтому, при решении масштабных проблем, в основном нельзя использовать многие классические численные алгоритмы вследствие вычислительных трудностей и больших требований к памяти. Помимо этого мы можем увидеть и неадекватность аппроксимационных моделей, которые используют в таких подходах.

Для того, чтобы моделировать сложные, крупномасштабные электромагнитные проблемы, важно стремиться к тому, чтобы уменьшать сложность используемых методик.

В последнее время были осуществлены исследования по нескольким сложным быстрым численным подходам на разных шагах формирования методик радио расчетов, в том числе и при формулировке математических задач, использовании методов конечных трехмерных проекций и решении дискретных проблем, например: проведении оценок на базе быстрого метода мультиполей, применение метода быстрого преобразования Фурье и др.

В случае объектов, имеющих большие размеры метод моментов в классическом его использовании и введении пробных функций определяет возникновение больших и сильно заполненных матричных уравнений, устранить проблемы при этом довольно сложно.

Целью настоящей работы является проведение исследований, связанных с оценкой возможностей использования способа оптимизации, который дает возможности для построения полых структур, имеющих максимальные значения характеристик рассеяния для заданных углов.

Нами решались такие основные задачи:

1. Проведение анализа по тому, какая структура подсистемы анализа полых структур, характеризующимися сложной формой.
2. Проведение анализа по моделям расчетов характеристик рассеяния полых

структур, имеющих максимальные характеристики рассеяния, исходя из того, что проводилась комбинация метода интегральных уравнений и метода оптимизации, базирующегося на генетическом алгоритме [5].

3. Подведение выводов о том, насколько целесообразен предлагаемый подход.

На рис. 1 приведена геометрия исследуемой полый структуры.

На основе машинных экспериментов возникают возможности формирования заключения о том, насколько результаты, которые возникают при моделировании, мы можем

рассматривать как достоверные и надежные. Исходя из того, что есть ограничения, связанные с лабораторным пространством, при изготовлении моделей сложных объектов, могут потребоваться привлечение больших средств, сами эксперименты будут довольно дорогие [8, 10]. Учитывая вышесказанное, применяют компьютерное моделирование с привлечением систем автоматизированного проектирования (САПР) [3, 4].

Мы предложили структуру подсистемы анализа полых структур, имеющих сложную форму (рис. 2).

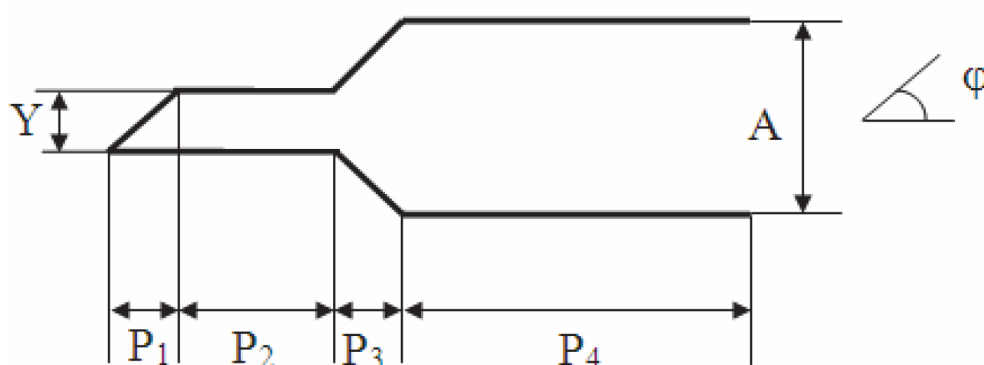


Рис. 1. Схема рассеяния электромагнитной волны на полый структуре сложной формы

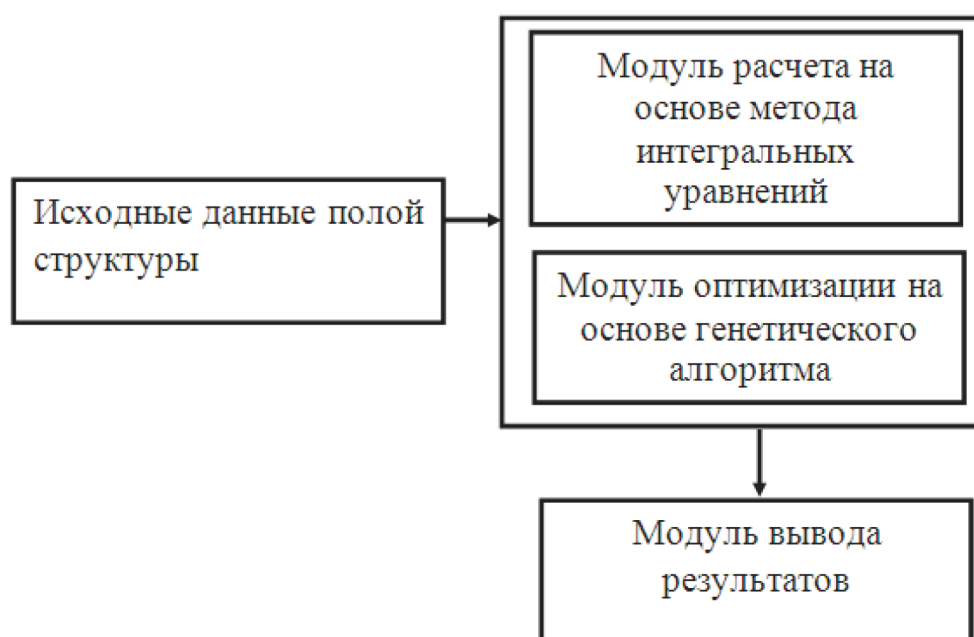


Рис. 2. Структура подсистемы анализа полых структур, имеющих сложную форму

Плотности токов, относящиеся к поверхностям исследуемого объекта можно рассчитать, основываясь на уравнении Фредгольма первого рода, в которое входит плотность искомого электрического тока при Е-поляризованной радиоволне [4, 7]:

$$\frac{\omega \cdot \mu}{4} \cdot \int_{\alpha}^{\beta} j(t) \cdot H_0^2[k \cdot L_0(\tau, t)] \cdot \sqrt{\xi'^2(t) + \eta'^2(t)} dt = E_z^0(\tau),$$

$$\alpha \leq \tau \leq \beta,$$
(1)

где $L_0(\tau, t) = \sqrt{[\xi(\tau) - \xi(t)]^2 + [\eta(\tau) - \eta(t)]^2}$ – является расстоянием между точкой наблюдения и точкой интегрирования, $E_z^0(\tau)$ – является продольной составляющей напряженности электрического поля, которая рассматривается в точке на контуре. Происходит задание контура структуры на основе параметрической формы:

$$x = \xi(t), y = \eta(t), \alpha \leq t \leq \beta,$$

а $\xi'(t), \eta'(t)$ – являются первыми производными по соответствующим функциям, $k = 2 \cdot \pi / \lambda$, λ – длина падающей радиоволны.

При решении уравнения (1) методом моментов оно дискретизируется и приводится к системе линейных алгебраических уравнений, из которой определяются продольные электрические токи с плотностью

$$\vec{j} = \vec{z} \cdot j(t), \alpha \leq t \leq \beta,$$
(2)

Двумерная ЭПР полой структуры определяется на основе выражения

$$\sigma(\varphi) = (60 \cdot \pi)^2 \cdot k |D(\varphi)|^2,$$
(3)

здесь

$$D(\varphi) = \int_{\alpha}^{\beta} j(t) \sqrt{\xi'^2(t) + \eta'^2(t)} \cdot \exp(i \cdot k \cdot d(t, \varphi)) dt,$$

$$d(t, \varphi) = \xi(t) \cdot \cos(\varphi) + \eta(t) \cdot \sin(\varphi).$$

Было проведено моделирование рассеяния электромагнитных волн на полой структуре сложной формы для следующих параметров: $4\lambda \leq A \leq 7\lambda$, $2\lambda \leq P_1 \leq 3\lambda$, $3\lambda \leq P_2 \leq 4\lambda$, $2\lambda \leq P_3 \leq 3\lambda$, $5\lambda \leq P_4 \leq 6\lambda$, $2\lambda \leq Y \leq 3\lambda$.

На основе использования комбинации метода интегральных уравнений и метода оптимизации было установлено, что максимальное значение эффективной площади рассеяния для угла наблюдения $\varphi = 30^\circ$ достигается для значений параметров: $A = 6.5\lambda$, $P_1 = 2.7\lambda$, $P_2 = 3.4\lambda$, $P_3 = 2.7\lambda$, $P_4 = 5.9\lambda$, $Y = 2.67\lambda$, максимальное значение эффективной площади рассеяния для угла наблюдения $\varphi = 37^\circ$ достигается для значений параметров: $A = 6.2\lambda$, $P_1 = 2.3\lambda$, $P_2 = 3.1\lambda$, $P_3 = 2.3\lambda$, $P_4 = 5.7\lambda$, $Y = 2.3\lambda$.

Список литературы

1. Алимбеков А.Р. Интеграция ГИС и САПР в беспроводных системах связи / А.Р. Алимбеков, Е.А. Авдеев, В.В. Шевелев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 1(16). – С. 12.
2. Гашенко И.А. О моделировании в сотовых системах связи / И.А. Гашенко // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–2. – С. 222–223.

3. Львович И.Я. Разработка информационного и программного обеспечения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / И.Я. Львович, А.П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. № 12. – С. 63–68.

4. Львович И.Я. Разработка принципов построения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / И.Я. Львович, А.П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. № 12. – С. 125–127.

5. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / Т.В. Панченко / под ред. Ю.Ю. Тарасевича. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87 с.

6. Преображенский А.П. Методы прогнозирования характеристик рассеяния электромагнитных волн / А.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2014. – № 1 (4). – С. 3.

7. 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.

8. Толстых С.М. Проблемы маршрутизации в компьютерных сетях / С.М. Толстых, Е.А. Авдеев, А.А. Адоньев // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2017. – № 1 (20). – С. 70–72.

9. Ширман Я.Д. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование. / Я.Д. Ширман, С.А. Горшков, С.П. Лещенко, Г.Д. Братченко, В.М. Орленко // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – № 11. – С. 3–63.

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