

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ САПР ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЛЫХ СТРУКТУР С ПОГЛОЩАЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Головин А.А., Мишин А.А.

АНОО ВПО «Воронежский институт высоких технологий»,
Воронеж, e-mail: golovinalexal@yandex.ru

В работе рассмотрена задача рассеяния электромагнитной волны на объекте, представляющем собой полую структуру с поглощающим покрытием. Была записана система интегральных уравнений, которая позволяет связать плотности потенциалов, функцию Грина и падающую электромагнитную волну. После решения системы уравнений с использованием выбранных базисных функций на основе метода моментов был проведен расчет значений эффективной площади рассеяния для определенных условий наблюдения. На основе построения общей модели нагрузки полых структур даны предложения по формированию подсистемы САПР, которая позволит проводить проектирование объектов техники с требуемыми значениями характеристик. В качестве входных данных в предлагаемой вниманию подсистеме предлагается использовать размеры полых структур, сектор углов наблюдения, необходимый уровень для характеристик рассеяния электромагнитных волн.

Ключевые слова: дифракция, полые структуры, САПР

THE DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM OF CAD FOR THE ANALYSIS OF HOLLOW STRUCTURES WITH ABSORBING COATINGS

Golovin A.A., Mishin A.A.

Voronezh institute of high technologies, Voronezh, e-mail: golovinalexal@yandex.ru

The paper considers the problem of scattering of electromagnetic waves on the object form of a hollow structure with an absorbing coating. The system of integral equations was recorded, which allows us to associate a density potentials, Green's function and the incident electromagnetic wave. After solving the system of equations using the selected basis functions based on the method of moments the values of radar cross section were calculated for given observation conditions. Based on the construction of the General workload model of a hollow structure the proposals on the formation of the CAD subsystem are given, which will allow the design of technical objects with the required characteristic values. As input data in the considered subsystem we proposed to use the dimensions of the hollow structure, the sector of observation angles, the required level for the characteristics of scattering of electromagnetic waves.

Keywords: diffraction, hollow structures, CAD

Проведение анализа многих современных объектов, связанных с рассеянием электромагнитных волн, демонстрирует, что в них для большинства случаев используется сложная структура. Осуществление процессов анализа и синтеза подобных структур требуется вести с применением моделей и методов, которые дают весьма небольшие ошибки.

При получении информации о различных объектах, работающих в радиолокационном диапазоне на основе осуществления как натуральных, так и физических экспериментов, может потребоваться привлечение значительных материальных, организационных и временных затрат. В этой связи как один из наиболее доступных способов для получения соответствующей информации о том, какие характеристики рассеяния у объектов, могут быть рассмотрены методы математического моделирования.

На основе применения классических асимптотических методов высокочастотной дифракции не всегда есть возможность без сложного обобщения и усовершенствования

проводить расчет для характеристик рассеяния при учете многих факторов, например, таких как как степень сложности поверхности объектов, размещение разных материалов на поверхности объекта, которые поглощают радиоизлучение. Их могут помещать также и на разных изломах поверхности, проводить анализ при существовании подстилающих поверхностей, осуществлять разнесенный прием.

Исходя из вышесказанного изучение характеристик рассеяния различных технических объектов определяет необходимость развития методов оценки уровней электромагнитного рассеяния.

Проведение расчета характеристик рассеяния объектов, имеющих сложную форму, ведет к необходимости проведения подробного математического описания особенностей его поверхности.

Среди основных методов моделирования поверхностей объекта следует отметить:

1. Метод тел вращения.
2. Способы проведения аналитического описания поверхностей.

3. Подходы, использующие простейшие компоненты.

4. Представление объекта на основе проволочных моделей.

5. Способы, использующие аппроксимацию поверхностей объекта на основе элементарных участков.

Во многих случаях при проведении исследований и проектировании сложных электродинамических объектов применяют системы автоматизированного проектирования (САПР). Это позволяет значительно расширить класс объектов, для которых ставятся и решаются разные задачи, связанные с рассеянием электромагнитных волн (ЭМВ) [4, 5, 8].

При проведении решения задач дифракции радиоволн и проектировании соответствующих технических объектов для многих случаев рассматривают структуры, имеющие на своей поверхности материалы, которые поглощают электромагнитное излучение [9].

Проведение расчета характеристик рассеяния для объектов сложной формы во многих случаях сталкивается с серьезными математическими, а также вычислительными трудностями. В этой связи с точки зре-

ния практики часто привлекают асимптотические методы дифракции.

При этом в качестве основы выбирают метод краевых волн. Но для описания различных геометрических секторов в условиях разнесенного приема, наличия покрытий, поглощающих радиоизлучение, требуется модификация этого метода.

С другой стороны, можно использовать метод интегральных уравнений.

В данной статье мы рассматриваем двумерную модель рассеяния электромагнитных волн. Это обусловлено тем, что трехмерные задачи можно решать для определенных условий при двумерном приближении.

Цель данной работы состоит в исследовании характеристик рассеяния электромагнитных волн на полых структурах с поглощающими покрытиями и разработка предложений по структуре подсистемы САПР для проектирования соответствующих объектов.

Методика. Рассмотрим рассеяние ЭМВ на двумерной полых структуре, которая на своей внутренней поверхности имеет поглощающее покрытие с постоянной толщиной (рис. 1).

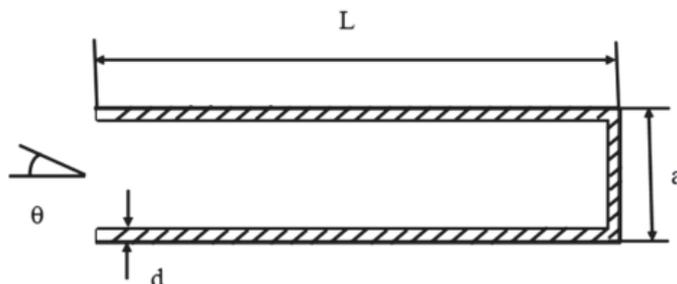


Рис. 1. Геометрия рассеяния ЭМВ на двумерной полых структуре с поглощающим покрытием, здесь a , L – размеры полых структуры, d – толщина поглощающего покрытия, θ – угол падения плоской ЭМВ

Полагаем, что электрическое поле (случай E -поляризации) для произвольной точки наблюдения $E(x_0, y_0)$. При этом точку (x_0, y_0) мы размещаем в сечении S поглощающего по-

крытия, а также на контур металла. При этом на основе использования граничных условий возникает система интегральных уравнений. Это уравнения Фредгольма 1-го рода [7].

$$E_0(x_0, y_0) + \int_{L_x} j_1(t) G_1(r) h(t) dt + \int_{L_m} m_1(t) G_1(r) h(t) dt = 0, \text{ для } (x_0, y_0) \in L_x;$$

$$\int_{L_x} j_2(t) G_2(r) h(t) dt + \int_{L_m} m_2(t) G_2(r) h(t) dt = 0, \text{ для } (x_0, y_0) \in L_x;$$

$$-\int_{L_m} m_1(t) G_1(r) h(t) dt + \int_{L_m} m_2(t) G_2(r) h(t) dt - \int_{L_x} j_1(t) G_1(r) h(t) dt +$$

$$+ \int_{L_x} j_2(t) G_2(r) h(t) dt = E_0(x_0, y_0), \text{ для } (x_0, y_0) \in L_m;$$

$$-\frac{1}{2}m_1(p) - \frac{1}{2}m_2(p) + \int_{L_m} m_1(t) \frac{\partial G_1(r)}{\partial n} h(t) dt - \int_{L_m} m_2(t) \frac{\partial G_2(r)}{\partial n} h(t) dt -$$

$$-\int_{L_x} j_1(t) \frac{\partial G_1(r)}{\partial n} h(t) dt + \int_{L_x} j_2(t) \frac{\partial G_2(r)}{\partial n} h(t) dt = \frac{E_0(x_0, y_0)}{\partial n}, \quad \text{для } (x_0, y_0) \in L_m.$$

Здесь j_1, m_1 – представляют собой плотности потенциалов для внешних сторон контуров L_x (металл) и L_m (поглощающее покрытие) соответственно; j_2, m_2 – обозначают значения плотностей потенциалов по внутренним сторонам контуров, $E_0(x_0, y_0)$ – падающая плоская электромагнитная волна, q – угол падения и наблюдения волны (рис. 1), $G_1(r)$ – представляет собой двумерную функцию Грина, соответствующую бесконечной области, которая имеет волновое число $k = 2\pi/\lambda$, λ – соответствует длине волны в области свободного пространства, $G_2(r)$ – обозначает двумерную функцию Грина, соответствующую бесконечной области, имеющей волновое число $k = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon\mu}$, r – расстояние между исходной точкой и точкой наблюдения, h – определяет коэффициент Ламе по контуру L .

Задачу, связанную с решением систем интегральных уравнений Фредгольма первого рода, можно отнести к классу некорректных задач.

При решении указанной электродинамической задачи можно выделить несколько основных этапов.

1. Получают математические соотношения среди интересующих нас физических величин.

2. Вводятся определенные ограничения на то, какое поведение у полей и источников для подлежащих анализу.

3. Получают численные результаты. Для решения указанной задачи мы будем применять метод моментов.

Анализ показывает, что выделяют два типа систем базисных функций.

Для использования метода привлекают базис полной области и базисы подобласти.

Довольно эффективно применение систем базисных функций, относящихся к полным областям для случаев, когда наблюдается гладкое решение задачи.

Базисные функции во многих случаях строятся с привлечением разложения анализируемой функции в двумерный ряд Фурье, поскольку в этом случае наблюдается близость базиса с точки зрения формы к тому результату, который мы ожидаем. Это ведет к тому, что заметным образом происходит снижение порядка матрицы импедансов, которая получается при осуществлении дискретизации интегральных уравнений.

Рассеянное электромагнитное поле рассчитывалось на основе соответствующих формул [1, 3].

Проводились расчеты ЭПР полой структуры на основе рассмотренного подхода. На рис. 2 приведены пример результата расчета эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) при изменении толщины покрытия d для угла наблюдения $q = 0^\circ$. Размеры были следующими: $L = 3,1\lambda$, $L = 3,1\lambda$. Значение диэлектрической проницаемости покрытия было такое $13-j \cdot 17$.

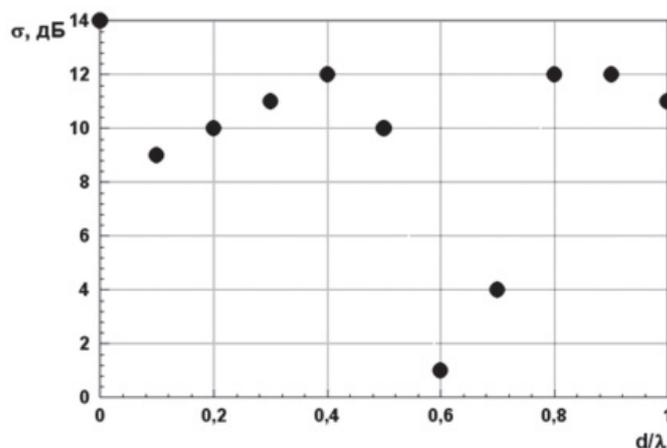


Рис. 2. Пример зависимости ЭПР от толщины покрытия

Таким образом, полученные зависимости значений ЭПР от толщин различных покрытий могут храниться в БД и далее передаваться в подсистему САПР для построения объектов с заданными характеристиками.

Описание особенностей подсистемы САПР

В полой структуре выделяют модуль для расчета характеристик метал-

лического объекта и модуль для расчета характеристик покрытия. Проводится оптимизация значений амплитуд рассеянного поля [2, 6].

На рис. 3 приведена схема подсистемы САПР для определения требуемых характеристик полой структуры

В качестве выходных результатов мы рассматриваем значения характеристик полых структур, входящих в состав технического объекта.

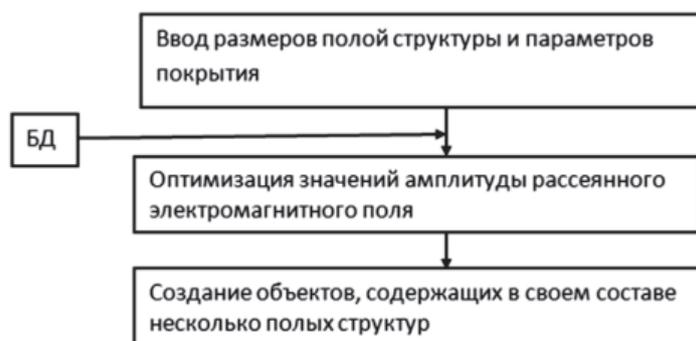


Рис. 3. Процесс функционирования подсистемы САПР средних характеристик объекта

Заключение

Таким образом, приведенный в статье подход и результаты анализа говорят о том, что предлагаемая подсистема будет полезна при проведении проектирования объектов, содержащих полые структуры, содержащие покрытия.

Список литературы

1. Болучевская О.А., Горбенко О.Н. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2013. – № 3. – С. 4.
2. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах // Вестник воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 20–26.
3. Захаров Е.В. Пименов Ю.В. Численные методы решения задач дифракции. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.
4. Львович И.Я., Преображенский А.П., Родионова К.Ю. Разработка подсистемы САПР для проектирования средних характеристик рассеяния объектов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4–4. – С. 823–826.
5. Львович И.Я., Преображенский А.П., Юров Р.П., Чопоров О.Н. Программный комплекс для автоматизированного анализа характеристик рассеяния объектов с применением математических моделей // Системы управления и информационные технологии. – 2006. – № 2 (24). – С. 96–98.
6. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения. – Воронеж: Изд-во «Кварт», 2006. – 415 с.
7. Панасюк В.В., Саврук М.П., Назарчук З.Т. Метод сингулярных интегральных уравнений в двумерных задачах дифракции. – К.: Наук. думка, 1984. – 344 с.
8. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн. – Воронеж: Издательство Научная книга, 2007. – 248 с.
9. Рючин А.С. О применении радиопоглощающих материалов // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 185–188.

References

1. Boluchevskaya O.A., Gorbenko O.N. Svoystva metodov otsenki harakteristik rasseyanija elektromagnitnyh voln / Mod-

elirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tehnologii. (Simulation, optimization and information technologies) 2013. no. 3. pp. 4.

2. Erasov S.V. Optimizatsionnye protsessy v elektrodinamicheskikh zadachah / Vestnik voronezhskogo instituta vysokikh tehnologii (Buletting of Voronezh institute of high technologies), 2013, no. 10, pp. 20–26.

3. Zaharov E.V. Pimenov Yu.V. Chislennyye metody resheniya zadach difrakcii [Numerical methods for solving diffraction problems]. M.: Radio and Communications. 1986. 184 p.

4. L'vovich I.Ya., Preobrazhenskiy A.P., Rodionova K.Yu. Razrabotka podsystemy SAPR dlya proektirovaniya srednih harakteristik rasseyanija obektov // Fundamental'nye issledovaniya. (Fundamental researches) – 2013. no. 4–4. pp. 823–826.

5. L'vovich I.Ya., Preobrazhenskiy A.P., Yurov R.P., Choporov O.N. Programmnyj kompleks dlya avtomatizirovanogo analiza harakteristik rasseyanija obektov s primeneniem matematicheskikh modeley / Sistemy upravleniya i informatsionnye tehnologii. (System of control and information technologies) 2006. no. 2 (24). pp. 96–98.

6. L'vovich Ya.E. Mnogoal'ternativnaya optimizatsiya: teoriya i prilozheniya/ Voronezh, 2006, Izdatel'stvo «Kvarta», 415 p.

7. Panasyuk V.V., Savruk M.P., Nazarchuk Z.T. Metod singulyarnykh integral'nyh uravneniy v dvumernykh zadachah difraktsii. K.: Nauk. dumka, 1984. 344 p.

8. Preobrazhenskiy A.P. Modelirovanie i algoritimizatsiya analiza difraktsionnykh struktur v SAPR radiolokatsionnykh anten / Voronezh, 2007. Izdatel'stvo Nauchnaya kniga. 248 p.

9. Ryuchin A.S. O primenenii radiopogloschayuschih materialov // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tehnologii (Buletting of Voronezh institute of high technologies), 2013. no. 10. pp. 185–188.

Рецензенты:

Кострова В.Н., д.т.н., профессор, проректор по мониторингу Воронежского института высоких технологий, г. Воронеж;

Чопоров О.Н., д.т.н., профессор, проректор по научной работе Воронежского института высоких технологий, г. Воронеж. Работа поступила в редакцию 18.11.2014.