

УДК 621.396

Аббас Джасем Хуссей, А.П. Преображенский
**РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ САПР ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
АНАЛИЗА РАССЕЙВАЮЩИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ С
ПОГЛОЩАЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ ФАЦЕТНОЙ
МОДЕЛИ**

*Министерство высшего образования и
научных исследований Республики Ирак
Воронежский институт высоких технологий*

В данной статье рассмотрена проблема рассеяния электромагнитных волн на объекте, который представляет собой пластину, на которую нанесено поглощающее покрытие. Была проведена запись системы интегральных уравнений, на ее основе связываются плотности потенциалов, функция Грина и падающая электромагнитная волна. После того, как решена система уравнений на базе метода моментов были проведены расчеты значений эффективной площади рассеяния при некоторых условиях наблюдения. Исходя из представления объекта на основе фацетной модели, приведены предложения по характеристикам подсистемы САПР, в рамках которой можно осуществлять проектирование объектов, имеющих необходимые значения уровней рассеянных электромагнитных полей. В качестве входных данных в такой подсистеме могут быть использованы размеры фацетов, сектор углов наблюдения, требуемый уровень для характеристик рассеяния радиоволн.

Ключевые слова: рассеяние радиоволн, фацетная модель, САПР, эффективная площадь рассеяния, поглощение радиоволн.

Введение. Исходя из анализа большого числа современных объектов, которые связаны с процессами рассеяния радиоволн, можно убедиться, что они характеризуются сложной структурой [1, 2]. При процессах анализа и синтеза дифракционных структур необходимо использовать модели и методы, которые позволяют получить малые ошибки [3, 4].

Для многих случаев, когда проводятся исследования, направленные на проектирование комплексных электродинамических объектов, используют системы автоматизированного проектирования (САПР). На их основе можно провести расширение класса объектов, по которым идет постановка и решение разных задач, связанных с рассеянием радиоволн [5-7].

Когда проводится решение проблем дифракции радиоволн и проектируются соответствующие технические объекты в практических приложениях идет рассмотрение структур, которые имеют на своих поверхностях материалы, позволяющие обеспечить поглощение электромагнитного излучения [8, 9].

В этой статье нами рассматривается двумерная модель рассеяния радиоволн, поскольку для оценки трехмерных характеристик рассеяния может быть применен двумерный подход.

Цель данной работы заключается в проведении исследований характеристик рассеяния радиоволн на объектах, которые имеют на своей поверхности поглощающие покрытия и определение предложений по структуре подсистемы САПР, на основе которых возможно проектирование таких объектов.

Методика. Рассмотрим рассеяние радиоволны на пластине, имеющая на поверхности поглощающее покрытие, которое задается как слой, у которого постоянная толщина (Рисунок 1).

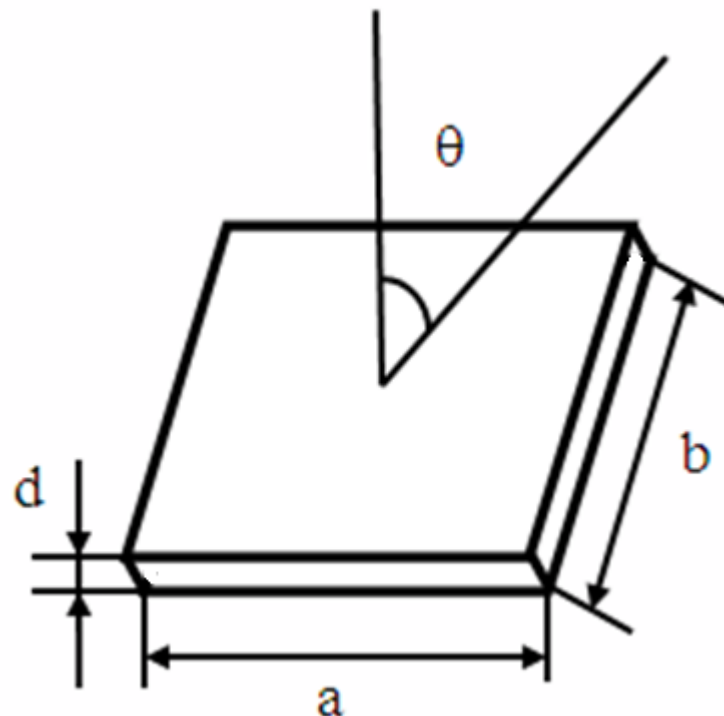


Рисунок 1. Схема рассеяния радиоволны на пластине, которая содержит на своей поверхности поглощающее покрытие, здесь a, b – размеры дифракционной структуры, d – толщина покрытия, которое поглощает радиоизлучение, θ – угол, под которым падает радиоволна

Мы исходим из того, что электрическое поле (когда мы ограничены Е-поляризацией) для некоторой точки, в которой мы наблюдаем $E(x_0, y_0)$. Такую точку (x_0, y_0) мы располагаем внутри сечения S поглощающего слоя, а также на металлическом контуре. После того, как использованы граничные условия, формируется система интегральных уравнений, которые являются уравнениями Фредгольма 1-го рода [10].

$$\begin{aligned}
 E_0(x_0, y_0) + \int_{\substack{L_x \\ \in L_x}} j_1(t)G_1(r)h(t)dt + \int_{L_m} m_1(t)G_1(r)h(t)dt = 0, \text{ для } (x_0, y_0) \\
 \int_{L_x} j_2(t)G_2(r)h(t)dt + \int_{L_m} m_2(t)G_2(r)h(t)dt = 0, \text{ для } (x_0, y_0) \in L_x \\
 - \int_{L_m} m_1(t)G_1(r)h(t)dt + \int_{L_m} m_2(t)G_2(r)h(t)dt - \int_{L_x} j_1(t)G_1(r)h(t)dt + \\
 + \int_{L_x} j_2(t)G_2(r)h(t)dt = E_0(x_0, y_0), \text{ для } (x_0, y_0) \in L_m \\
 -\frac{1}{2}m_1(\rho) - \frac{1}{2}m_2(\rho) + \int_{L_m} m_1(t) \frac{\partial G_1(r)}{\partial n} h(t)dt - \int_{L_m} m_2(t) \frac{\partial G_2(r)}{\partial n} h(t)dt - \\
 -\frac{i}{4} \int_{L_x} j_1(t) \frac{\partial G_1(r)}{\partial n} h(t)dt - \int_{L_x} j_2(t) \frac{\partial G_2(r)}{\partial n} h(t)dt = \frac{E_0(x_0, y_0)}{\partial n}, \text{ для } \\
 (x_0, y_0) \in L_m.
 \end{aligned}$$

В такой системе j_1, m_1 – являются плотностями потенциалов, которые относятся к внешним областям контуров L_x (металлическая часть) и L_m (слой с поглощающим покрытием) соответственно; j_2, m_2 – являются обозначениями плотностей потенциалов, которые относятся к внутренним областям контуров, $E_0(x_0, y_0)$ – представляет собой плоскую радиоволну, θ – является углом, под которым падает и наблюдается радиоволна (рис. 1)), $G_1(r)$ – обозначает двумерную функцию Грина, которая связана с бесконечной областью, она характеризуется волновым числом $k=2\pi/\lambda$, λ – обозначает длину волны, соответствующая множеству точек в свободном пространстве, $G_2(r)$ – обозначает двумерную функцию Грина, которая связана с бесконечной областью, она характеризуется волновым числом $k=(2\pi/\lambda)\sqrt{\epsilon\mu}$, r – является расстоянием, которое будет между первичной точкой и точкой наблюдения, h – дает обозначение коэффициента Ламе, относящемуся к контуру L .

Расчет электромагнитного поля, которое было рассеяно объектом, проводился на базе соответствующих математических выражений [11-13].

Осуществлялись расчеты эффективной площади рассеяния (ЭПР) на пластине в рамках указанного подхода.

ЭПР рассматривается как количественная мера свойств объектов к рассеиванию радиоволн [14]. ЭПР конкретных объектов определяется их формой, размерами, материалами, из которых они изготавливаются, от того, какие их ориентации (ракурс) с точки зрения передающих и

приемных антенн (это связано и с поляризацией электромагнитных волн), длиной волн зондирующего радиосигнала.

То, что на поверхность объектов наносится диэлектрическое покрытие может быть связано с несколькими функциями.

Прежде всего, выполняется функция защиты от внешних воздействий. Кроме этого, диэлектрическим покрытием должно выполняться некоторое функциональное назначение. В качестве примера, снижается коэффициент рассеяния по определенному направлению.

На Рисунке 2 даны примеры результатов расчетов ЭПР пластины при изменении угла наблюдения θ (цифрой 1 обозначена ЭПР металлической пластины, цифрой 2 обозначена ЭПР металлической пластины с диэлектрическим покрытием). Размеры пластины были такими: $a=1\lambda$, $b=1\lambda$. Тангенс угла диэлектрических потерь покрытия, поглощающего радиоизлучения был равен 0.022.

После проведения расчетов, соответствующие зависимости значений ЭПР от размеров пластин и характеристик покрытий можно хранить в БД, и затем передавать в подсистему САПР с тем, чтобы были построены объекты с необходимыми рассеивающими характеристиками.

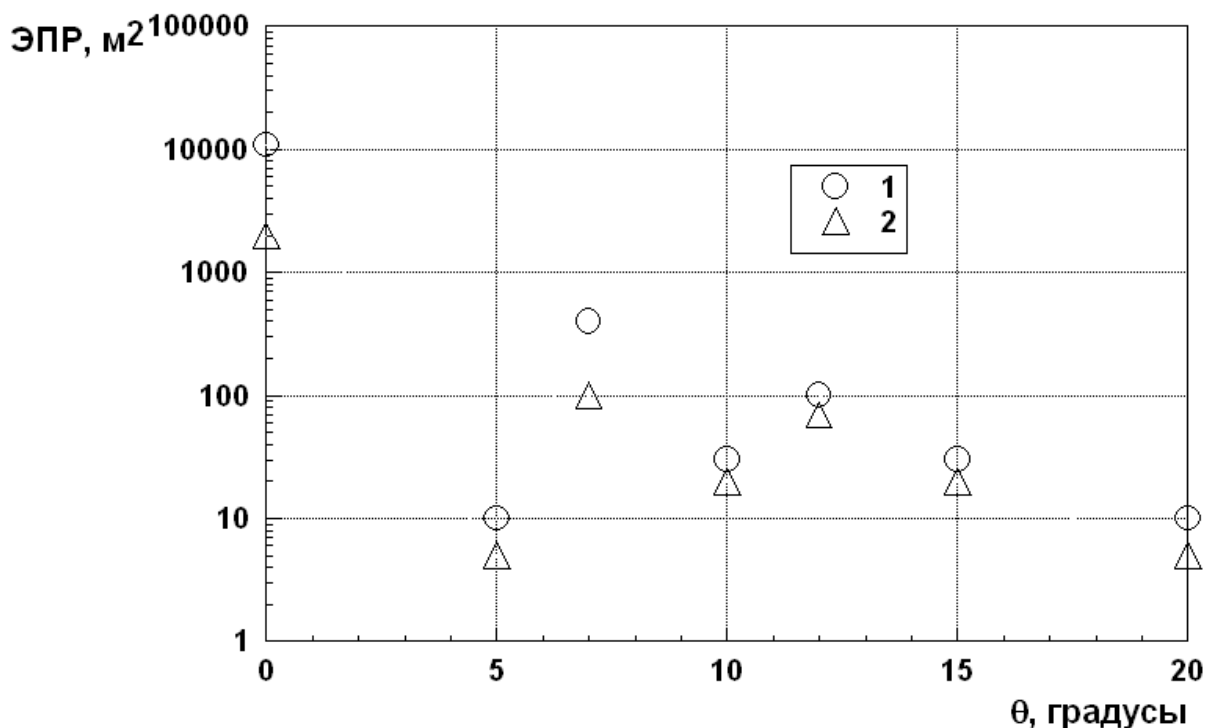


Рисунок 2. Пример зависимости ЭПР металлической пластины от угла наблюдения

Описание свойств подсистемы САПР. В полой структуре выделяют модуль для расчета характеристик металлического объекта и

модуль для расчета характеристик покрытия. Проводится оптимизация значений амплитуд рассеянного поля [15].

На Рисунке 3 изображена схема подсистемы САПР для того, чтобы определить требуемые характеристики объекта, имеющего сложную форму.

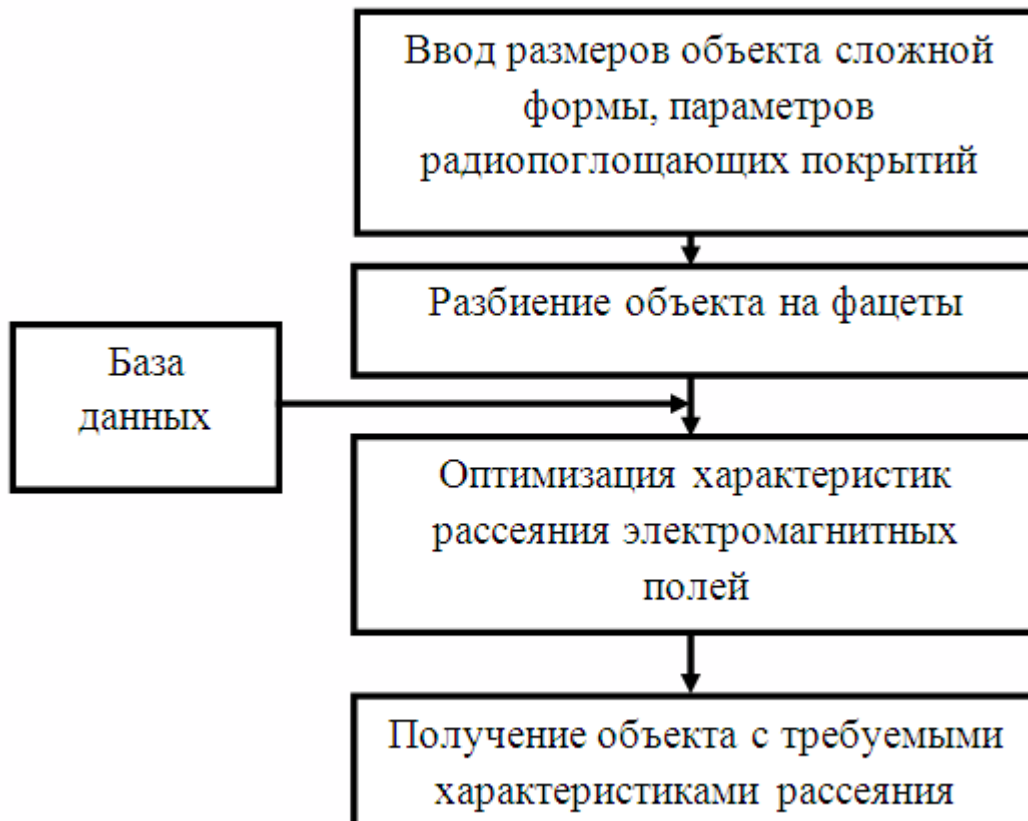


Рисунок 3. Схема подсистемы САПР, предназначенной для создания объектов на основе фасетных моделей.

Выходными результатами будут считаться размеры исследуемого 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский А.П. Оценка возможностей комбинированной методики для расчета ЭПР двумерных идеально проводящих полостей / А.П. Преображенский // Телекоммуникации. 2003. № 11. С. 37-40.
2. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн / А.П.Преображенский // Воронеж, 2007.Издательство Научная книга. - 248 с.
3. Кульнева Е.Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е.Ю.Кульнева, И.А.Гашенко // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 50.
4. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / О.В.Милошенко // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62.
5. 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.
6. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах / Ерасов С.В. // Вестник воронежского института высоких технологий, 2013, №10, с.20-26.
7. Lvovich I. The possibilities of calculation the scattering characteristics on parallel approach / I. Lvovich, E. Ruzhicky, O. Choporov // В сборнике: Current Issues of Science and Research in the Global World - Proceedings of the International Conference on Current Issues of Science and Research in the Global World 2015. С. 277-280.
8. Михайлов Г.Д. Моделирование рассеяния электромагнитных волн на полостях круглого поперечного сечения с поглощающим материалом / Г.Д.Михайлов, А.П.Преображенский // Электромагнитные волны и электронные системы. 2003. Т. 8. № 3. С. 16-18.
9. Рючин А.С. О применении радиопоглощающих материалов / А.С. Рючин // Вестник Воронежского института высоких технологий, 2013. - № 10. - С. 185-188.
10. Панасюк Метод сингулярных интегральных уравнений в двумерных задачах дифракции. / В. В.Панасюк, М. П.Саврук, З. Т.Назарчук // К.: Наук. думка, 1984. - 344 с.
11. Алимбеков А.Р. Методы определения рассеивающих свойств объектов / А.Р.Алимбеков, Е.А.Авдеенко, В.В. Шевелев // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 1(20). С. 22-24.

12. Мурашкин Н.В. Моделирование рассеяния электромагнитных волн на сложном объекте / Н.В.Мурашкин, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 3(18). С. 66-68.
13. Львович И.Я. Построение комбинированного алгоритма оценки характеристик распространения волн в помещениях / И.Я.Львович, О.Н.Чопоров // Решение. 2015. Т. 2. С. 231-233.
14. Максимова А.А., Юрочкин А.Г. Методы исследования характеристик рассеяния электромагнитных волн объектами / А.А.Максимова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1(16). С. 53-56.
15. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения / Я.Е. Львович // Воронеж, 2006, Издательство "Кварта", 415 с.

Abbas Jassim Hussey, A. P. Preobrazhensky

**THE DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM OF CAD FOR THE
ANALYSIS OF SCATTERING PROPERTIES OF OBJECTS WITH
ABSORBING COATINGS BASED ON FACETED MODELS**

*The Ministry of higher education and scientific research
of the Republic of Iraq
Voronezh Institute of High Technologies*

This paper considers the problem of scattering of electromagnetic waves on the object, which is a plate coated with an absorptive coating. The system of integral equations was recorded, which allows us to associate a density potential, Green's function and the incident electromagnetic wave. After solving the system of equations based on the method of moments were calculated values of the effective area of the dispersion under certain conditions of observation. Based on the view object, that use the facet model and gives suggestions for characteristics of a subsystem of CAD, in which you can carry out the design of objects with the required values for the levels of scattered electromagnetic fields were obtained. As input to this subsystem can be used the sizes of the facets, the sector angles, the required level for the characteristics of scattering of radio waves.

Keywords: scattering of radio waves, facet model, CAD, radar cross section, absorption of radio waves.

REFERENCES

1. Preobrazhenskiy A.P. Otsenka vozmozhnostey kombinirovannoy metodiki dlya rascheta EPR dvumernykh ideal'no provodyashchikh polostey / A.P. Preobrazhenskiy // Telekommunikatsii. 2003. No. 11. pp. 37-40.
2. Preobrazhenskiy A.P. Modelirovanie i algoritimizatsiya analiza difraktsionnykh struktur v SAPR radiolokatsionnykh antenn / A.P.Preobrazhenskiy // Voronezh, 2007.Izdatel'stvo Nauchnaya kniga. – p. 248.

3. Kul'neva E.Yu. O kharakteristikakh, vliyayushchikh na modelirovanie radiotekhnicheskikh ustroystv / E.Yu.Kul'neva, I.A.Gashchenko // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2014. No. 5-2. pp. 50.
4. Miloshenko O.V. Metody otsenki kharakteristik rasprostraneniya radiovoln v sistemakh podvizhnoy radiosvyazi / O.V.Miloshenko // *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy*. 2012. No. 9. pp. 60-62.
5. Boluchevskaya O.A. Svoystva metodov otsenki kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln / O.A.Boluchevskaya, O.N.Gorbenko // *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii*. 2013. No. 3. pp. 4.
6. Erasov S.V. Optimizatsionnye protsessy v elektrodinamicheskikh zadachakh / Erasov S.V. // *Vestnik voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy*, 2013, No.10, pp.20-26.
7. Lvovich I. The possibilities of calculation the scattering characteristics on parallel approach / I. Lvovich, E. Ruzhicky, O. Choporov // *V sbornike: Current Issues of Science and Research in the Global World - Proceedings of the International Conference on Current Issues of Science and Research in the Global World 2015*. pp. 277-280.
8. Mikhaylov G.D. Modelirovanie rasseyaniya elektromagnitnykh voln na polostyakh kruglogo poperechnogo secheniya s pogloshchayushchim materialom / G.D.Mikhaylov, A.P.Preobrazhenskiy // *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy*. 2003. T. 8. No. 3. pp. 16-18.
9. Ryuchin A.S. O primenении radiopogloshchayushchikh materialov / A.S. Ryuchin // *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy*, 2013. - No. 10. - pp. 185-188.
10. Panasyuk Metod singulyarnykh integral'nykh uravneniy v dvumernykh zadachakh difraktsii. / V. V.Panasyuk, M. P.Savruk, Z. T.Nazarchuk // *K.: Nauk. dumka*, 1984. – p.344.
11. Alimbekov A.R. Metody opredeleniya rasseivayushchikh svoystv ob"ektov / A.R.Alimbekov, E.A.Avdeenko, V.V. Shevelev // *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy*. 2017. No. 1(20). pp. 22-24.
12. Murashkin N.V. Modelirovanie rasseyaniya elektromagnitnykh voln na slozhnom ob"ekte / N.V.Murashkin, A.G.Yurochkin // *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy*. 2016. No. 3(18). pp. 66-68.
13. L'vovich I.Ya. Postroenie kombinirovannogo algoritma otsenki kharakteristik rasprostraneniya voln v pomeshcheniyakh / I.Ya.L'vovich, O.N.Choporov // *Reshenie*. 2015. Vol. 2. pp. 231-233.
14. Maksimova A.A., Yurochkin A.G. Metody issledovaniya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln ob"ektami / A.A.Maksimova // *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy*. 2016. No. 1(16). pp. 53-56.
15. L'vovich Ya.E. Mnogoal'ternativnaya optimizatsiya: teoriya i prilozheniya / Ya.E. L'vovich // *Voronezh*, 2006, Izdatel'stvo "Kvarta", p. 415.