

УДК 621.396

А.Г. Юрочкин, А.В. Данилова, И.А. Гусарова

АНАЛИЗ ПРИБЛИЖЕННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СРЕДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ ДИФРАКЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ

*Воронежский филиал Российской Академии государственной службы при
Президенте Российской Федерации
ОАО «Концерн «Созвездие»
Воронежский институт высоких технологий*

В статье осуществляется анализ возможностей того, каким образом применять приближенную модель с тем, чтобы осуществлять оценку средних характеристик рассеяния объекта. Точный подход основывается на методе интегральных уравнений, а приближенная модель – на основе комбинации метода краевых волн и метода физической оптики. Объект представляется в виде отдельных компонентов. Показано, каким образом определяются сектора углов наблюдения, с учетом рамок заданных ошибок. Исходя из того, как обобщается информации по элементам объекта, даны предложения по построению подсистемы САПР для проектирования средних характеристик объектов. В качестве анализируемых данных для подсистемы выбираются размеры элементов и сектор углов наблюдения, необходимые уровни для средних характеристик рассеяния.

Ключевые слова: связь, дифракция, распространение волн, проектирование, САПР, дифракционная структура.

Введение. При анализе многих рассеивателей электромагнитных волн можно убедиться в том, что они во многих случаях характеризуются сложной структурой. Осуществление процессов формирования и синтеза подобных объектов требуется делать с применением моделей и методов, которые дают, по возможности, не очень большие ошибки [1-4].

В существующих условиях при проведении исследований и разработок электродинамических объектов достаточно часто применяют системы автоматизированного проектирования (САПР), что дает возможности для того, чтобы формулировать и решать разные задачи, относящиеся к теории дифракции электромагнитных волн для структур, имеющих сложную форму [5-7].

Когда решают задачи дифракции радиоволн и проектируют объекты, то для многих случаев осуществляют исследования ограничений, которые накладываются по средним характеристикам рассеяния [8, 9].

В данной статье рассматриваются двумерные модели, связанные с рассеянием электромагнитных волн, так как во многих случаях можно сделать сведение трехмерных задач к двумерным.

Целью данной работы является осуществление исследований по возможностям использования приближенных моделей для того, чтобы проводить оценку по средним характеристикам рассеяния объектов и

разработку предложений по структурам подсистемы САПР, предназначенной для того, чтобы проектировать объекты с требуемыми средними характеристиками рассеяния.

Методика. Проведем рассмотрение рассеяния электромагнитных волн на двумерном объекте (Рисунок 1).

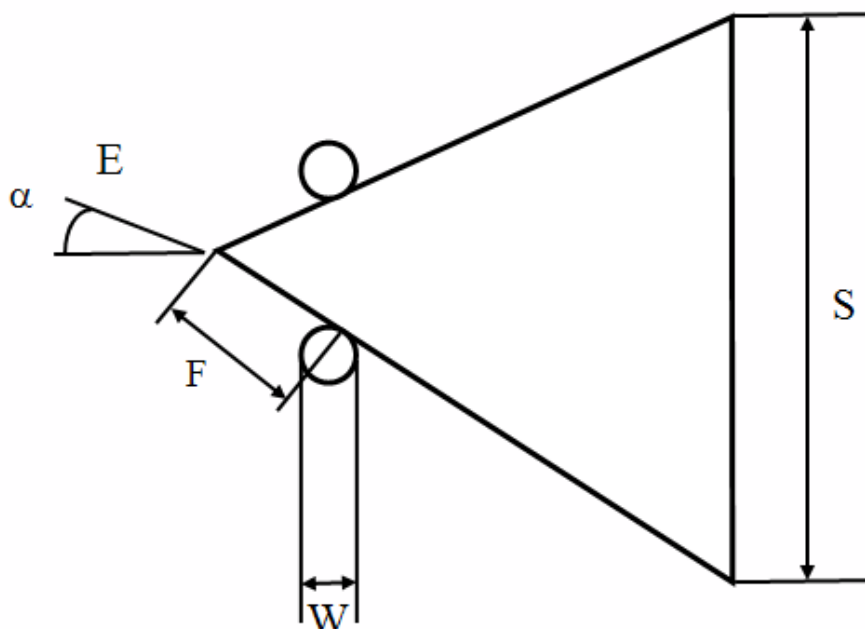


Рисунок 1 – Геометрия рассеяния радиоволн на двумерном объекте.
W, S, F являются характерными размерами; E – вектор падающей радиоволны; α – угол падения плоской радиоволны

Для того, чтобы иметь оценки по средним характеристикам этой структуры мы можем примерить модель (Рисунок 2).

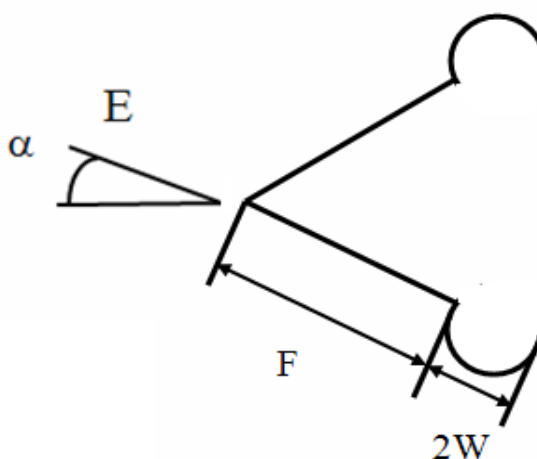


Рисунок 2 – Геометрия рассеяния радиоволн на упрощенной модели рассматриваемой дифракционной структуры,
F, W – размеры структуры; E – вектор электромагнитной волны, которая падает на структуру; α – угол падения радиоволны

Необходимо осуществить оценки по секторам углов наблюдения, для которых мы можем применять указанную упрощенную модель. Мы когда осуществляли моделирование должны были стремиться к тому, чтобы разница для средних ЭПР объекта и его модели не превышала 1 дБ.

Для интегрального уравнения Фредгольма первого рода, которое относится к плотностям неизвестных электрических токов для случая Е-поляризации [10-12] мы можем использовать выражение:

$$\frac{\omega \cdot \mu}{4} \cdot \int_{\alpha}^{\beta} j(v) \cdot H_0^2 [k \cdot L_0(\tau, v)] \cdot \sqrt{t'^2(v) + s'^2(v)} dt = E_z^0(\tau),$$
$$\alpha \leq \tau \leq \beta, \quad (1)$$

где $L_0(\tau, v) = \sqrt{[t(\tau) - t(v)]^2 + [s(\tau) - s(v)]^2}$ – считается расстоянием от точки наблюдения до точки интегрирования, $E_z^0(\tau)$ – представляет собой продольную составляющую для напряженности падающего электрического поля в точках на контуре. Для объекта задание контура происходит параметрическим способом: $x = t(v)$, $y = s(v)$, $\alpha \leq v \leq \beta$, а $t'(v)$, $s'(v)$ – являются первыми производными по соответствующим функциям, $k = 2 \cdot \pi / \lambda$, λ – длина падающей электромагнитной волны.

Решение уравнения (1) производилось в рамках метода моментов. Средняя ЭПР оценивалась исходя из такого выражения

$$\bar{\sigma} = \sum_{i=0}^N \frac{\sigma(\theta_i)}{N + 1}, \quad (2)$$

где $\sigma(\theta_i)$ – является величиной ЭПР для соответствующего угла, под которым наблюдают θ_i .

Приближенная модель основывается на комбинации метода краевых волн и метода физической оптики [13-16].

На Рисунке 3 дан пример расчетов - линии уровня для возможных секторов углов наблюдения $\Delta\alpha$ в зависимости от W и F при $S=10\lambda$. При увеличении размеров объекта сектор возможных углов наблюдения $\Delta\alpha$ будет уменьшаться. Похожие зависимости мы можем построить для других размеров S .

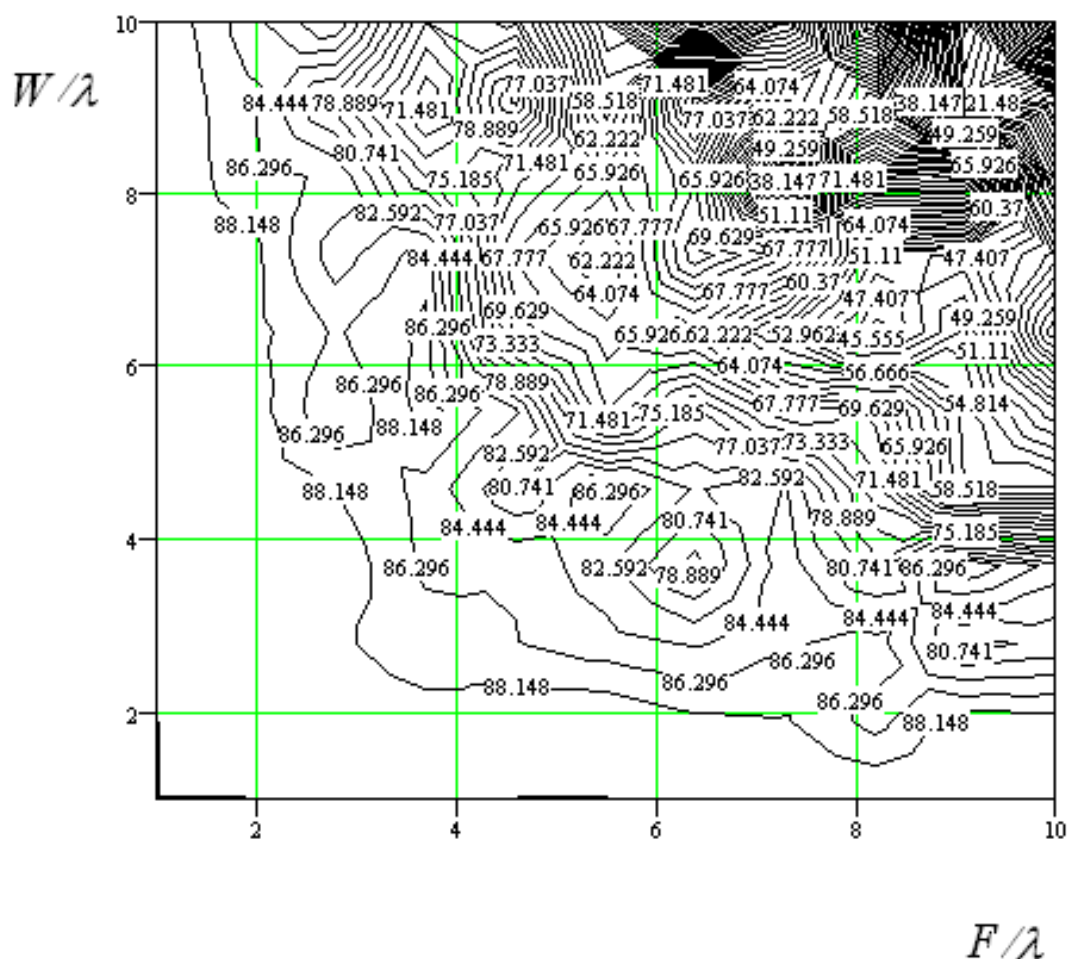


Рисунок 3– Результаты расчетов для сектора углов наблюдения $\Delta\alpha$, по которым мы имеем возможности представить исходный объект (Рисунок 1) на основе приближенной модели (Рисунок 2)

Как результат, те зависимости, которые были получены, по размерам секторов углов наблюдения относительно приближенной модели мы имеем возможности хранить в БД, и затем осуществлять передачу в подсистему САПР, которая предназначена для проектирования средних характеристик объекта [17-19].

Описание процесса работы подсистемы САПР. Объекты, имеющие сложную форму, мы можем представлять как совокупность отдельных элементов. Как входные параметры мы отметим такие:

1. Сектора углов наблюдения;
2. Необходимые уровни для средних характеристик рассеяния.

Иллюстрация основных процессов в подсистемах САПР при расчете элементов объекта приведена на Рисунке 4.

В качестве выходного результата мы рассматриваем значения размеров элементов объекта.

Для алгоритма, который функционирует в такой подсистеме, характерны следующие шаги:

1. Вводятся входные параметры.
2. Проводится расчет на основе исходной модели и приближенной модели;
3. Проводится выбор модели, для которой разница между первым и вторым подходом будет минимальна.
4. Выводится результат.



Рисунок 4 – Основные процессы работы подсистемы САПР, предназначенной для формирования средних характеристик объектов.

Заключение. В результате, рассмотренный в статье способ и данные полученных исследований могут быть полезны при проектировании объектов, которые имеют заданные требования на средние характеристики рассеяния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимова А. А. Методы исследования характеристик рассеяния электромагнитных волн объектами / А. А. Максимова, А. Г. Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1. С. 53 -56.
2. Львович И.Я. Построение алгоритма оценки средних характеристик рассеяния полых структур / И.Я.Львович, Я.Е.Львович, А.П.Преображенский // Телекоммуникации. 2014. № 6. С. 2-5.
3. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик идеально проводящей полости в диапазоне длин волн /А.П.Преображенский // Телекоммуникации. 2005. № 12. С. 29-31.
4. Преображенский А.П. Алгоритм расчета радиолокационных характеристик полостей с использованием приближенной модели / А.П.Преображенский, О.Н.Чопоров // Системы управления и информационные технологии. 2005. Т. 21. № 4. С. 17-19.
5. Васильев Е.М. Многоальтернативное управление в хаотических системах связи / Е.М. Васильев // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 11. С. 155-158.
6. Львович И.Я. Программный комплекс для автоматизированного анализа характеристик рассеяния объектов с применением математических моделей / И.Я.Львович, А.П.Преображенский, Р.П.Юров, О.Н.Чопоров // Системы управления и информационные технологии. 2006. Т. 24. № 2. С. 96-98.
7. 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.
8. Львович И.Я. Расчет характеристик металлodieлектрических антенн / И.Я.Львович, А.П.Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 11. С. 26-29.
9. Канавин С. В. Перспективы применения систем мобильного широкополосного доступа в сетях подвижной радиосвязи на основе стандартов mobile WIMAX и LTE / С. В. Канавин, А. С. Лукьянов // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1. С. 79-82.
10. Преображенский А.П. Моделирование рассеяния электромагнитных волн на несимметричном объекте/ А.П.Преображенский,

- О.Н.Чопоров, К.В.Кайдакова // В мире научных открытий. 2015. № 8. С. 526.
11. Преображенский А.П. Оценка возможностей комбинированной методики для расчета ЭПР двумерных идеально проводящих полостей / А.П.Преображенский // Телекоммуникации. 2003. № 11. С. 37-40.
 12. Преображенский А.П. Алгоритмы прогнозирования радиолокационных характеристик объектов при восстановлении радиолокационных изображений / А.П.Преображенский, О.Н.Чопоров // Системы управления и информационные технологии. 2004. Т. 17. № 5. С. 85-87.
 13. Преображенский А.П. Исследование возможности определения формы объекта в окрестности восстановления локальных отражателей на поверхности объектов по их диаграммам обратного рассеяния / А.П. Преображенский // Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 29-32.
 14. Lvovich Y.Y. The use of "ant" algorithm in constructing models of objects that have maximum average values of the scattering characteristics / Y.Y.Lvovich, I.Y.Lvovich, A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov // Life Science Journal. 2014. Т. 12. № 12. С. 463.
 15. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов с радиопоглощающими покрытиями в диапазоне длин волн / А.П. Преображенский // Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 21-24.
 16. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / А.П.Преображенский // Телекоммуникации. 2004. № 5. С. 32-35.
 17. Васильев Е.М. Эволюционные алгоритмы с матричной репликацией / Е.М.Васильев, И.В.Крутских // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 2. С. 21-23.
 18. Подвальный С.Л. Эволюционные принципы построения интеллектуальных систем многоальтернативного управления / С.Л.Подвальный, Е.М.Васильев // Системы управления и информационные технологии. 2014. Т. 57. № 3. С. 4-8.
 19. Ткалич С.А. Основания и возможности использования искусственных нейросетей в системах прогнозирования / С.А.Ткалич, Е.М.Васильев // Электротехнические комплексы и системы управления. 2008. № 2. С. 37-38.

A. G. Yurochkin, A.V.Danilova, I.A.Gusarova
**THE ANALYSIS OF APPROXIMATE MODELS FOR ESTIMATING
THE AVERAGE CHARACTERISTICS OF THE SCATTERING
DIFFRACTIVE STRUCTURE**

*Voronezh branch of the Russian Academy of state service under the President of
the Russian Federation
JSC "Concern "Sozvezdie"
Voronezh Institute of High Technologies*

This paper analyses the possibilities of how to apply the approximate model in order to assess the average characteristics of the scattering object. The exact approach is based on the method of integral equations, and an approximate model based on the combination of the method of edge waves and the physical optics approximation. The object is represented in the form of separate components. It is shown how the defined sector angles, given the framework of specific errors. Based on how aggregated information on the elements of an object given suggestions on how to build a subsystem of CAD in order to design the average characteristics of the objects. As a test data for the subsystem are selected dimensions of the elements and sector angles, the required levels for the average characteristics of the scattering.

Keywords: communication, diffraction, wave propagation, design, CAD, diffraction structure.

REFERENCES

1. Maksimova A. A. Metody issledovaniya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln ob"ektami / A. A. Maksimova, A. G. Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. № 1. S. 53 -56.
2. L'vovich I.Ya. Postroenie algoritma otsenki srednikh kharakteristik rasseyaniya polykh struktur / I.Ya.L'vovich, Ya.E.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy // Telekommunikatsii. 2014. № 6. S. 2-5.
3. Preobrazhenskiy A.P. Prognozirovaniye radiolokatsionnykh kharakteristik ideal'no provodyashchey polosti v diapazone dlin voln /A.P.Preobrazhenskiy // Telekommunikatsii. 2005. № 12. S. 29-31.
4. Preobrazhenskiy A.P. Algoritm rascheta radiolokatsionnykh kharakteristik polostey s ispol'zovaniem priblizhennoy modeli / A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov // Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. 2005. T. 21. № 4. S. 17-19.
5. Vasil'ev E.M. Mnogoal'ternativnoe upravlenie v khaoticheskikh sistemakh svyazi / E.M. Vasil'ev // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2012. T. 8. № 11. S. 155-158.
6. L'vovich I.Ya. Programmnyy kompleks dlya avtomatizirovannogo analiza kharakteristik rasseyaniya ob"ektov s primeneniem matematicheskikh

- modeley / I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy, R.P.Yurov, O.N.Choporov // *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2006. T. 24. № 2. S. 96-98.
7. L'vovich I.Ya. Razrabotka informatsionnogo i programmno obespecheniya SAPR difraktsionnykh struktur i radiolokatsionnykh antenn / I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2006. T. 2. № 12. S. 63-68.
 8. L'vovich I.Ya. Raschet kharakteristik metallodielektricheskikh antenn / I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2005. T. 1. № 11. S. 26-29.
 9. Kanavin S. V. Perspektivy primeneniya sistem mobil'nogo shirokopolosnogo dostupa v setyakh podvizhnoy radiosvyazi na osnove standartov mobile WIMAX i LTE / S. V. Kanavin, A. S. Luk'yanov // *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy*. 2016. № 1. S. 79-82.
 10. Preobrazhenskiy A.P. Modelirovanie rasseyaniya elektromagnitnykh voln na nesimmetrichnom ob"ekte/ A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov, K.V.Kaydakova // *V mire nauchnykh otkrytiy*. 2015. № 8. S. 526.
 11. Preobrazhenskiy A.P. Otsenka vozmozhnostey kombinirovannoy metodiki dlya rascheta EPR dvumernykh ideal'no provodyashchikh polostey / A.P.Preobrazhenskiy // *Telekommunikatsii*. 2003. № 11. S. 37-40.
 12. Preobrazhenskiy A.P. Algoritmy prognozirovaniya radiolokatsionnykh kharakteristik ob"ektov pri vosstanovlenii radiolokatsionnykh izobrazheniy / A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov // *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2004. T. 17. № 5. S. 85-87.
 13. Preobrazhenskiy A.P. Issledovanie vozmozhnosti opredeleniya formy ob"ekta v okrestnosti vosstanovleniya lokal'nykh otrazhateley na poverkhnosti ob"ektov po ikh diagrammam obratnogo rasseyaniya / A.P. Preobrazhenskiy // *Telekommunikatsii*. 2003. № 4. S. 29-32.
 14. Lvovich Y.Y. The use of "ant" algorithm in constructing models of objects that have maximum average values of the scattering characteristics / Y.Y.Lvovich, I.Y.Lvovich, A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov // *Life Science Journal*. 2014. T. 12. № 12. S. 463.
 15. Preobrazhenskiy A.P. Prognozirovanie radiolokatsionnykh kharakteristik ob"ektov s radiopogloshchayushchimi pokrytiyami v diapazone dlin voln / A.P. Preobrazhenskiy // *Telekommunikatsii*. 2003. № 4. S. 21-24.
 16. Preobrazhenskiy A.P. Prognozirovanie radiolokatsionnykh kharakteristik ob"ektov v diapazone dlin voln s ispol'zovaniem rezul'tatov izmereniya

- karakteristik rasseyaniya na diskretnykh chastotakh /
A.P.Preobrazhenskiy // Telekommunikatsii. 2004. № 5. S. 32-35.
17. Vasil'ev E.M. Evolyutsionnye algoritmy s matrichnoy replikatsiey /
E.M.Vasil'ev, I.V.Krutsikh // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo
tekhnicheskogo universiteta. 2011. T. 7. № 2. S. 21-23.
 18. Podval'nyy S.L. Evolyutsionnye printsipy postroeniya intellektual'nykh
sistem mnogoal'ternativnogo upravleniya / S.L.Podval'nyy, E.M.Vasil'ev
// Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. 2014. T. 57. № 3. S.
4-8.
 19. Tkalich S.A. Osnovaniya i vozmozhnosti ispol'zovaniya iskusstvennykh
neyrosetey v sistemakh prognozirovaniya / S.A.Tkalich, E.M.Vasil'ev //
Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya. 2008. № 2. S. 37-
38.