

УДК 004.3

ПРОВЕДЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ОБЪЕКТАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Степанова А.А.

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: app@vvt.ru

Обсуждаются вопросы построения объектов, имеющих экстремальные средние значения характеристик рассеяния. На основе оптимизационного подхода, использующего «муравьиный алгоритм» проведены расчеты зависимостей размеров двумерного металлического цилиндра с боковой стенкой сложной формы, имеющего максимальные средние значения характеристик рассеяния. На основе обобщения информации по компонентам, представляющим собой цилиндры даны предложения по построению подсистемы САПР для проектирования средних характеристик объектов. Объект сложной формы представляется в виде совокупности компонентов. В качестве входных данных для подсистемы выбираются вид компонентов, сектор углов наблюдения, требуемый уровень для средних характеристик рассеяния. В данной статье в рамках разработанной процедуры применяется корреляционный анализ, который позволяет на основе максимума коэффициента корреляции определить характеристики компонентов рассматриваемого объекта.

Ключевые слова: оптимизация, распространение радиоволн, интегральные уравнения.

OPTIMIZATION OF THE CHARACTERISTICS OF SCATTERING OF ELECTROMAGNETIC WAVES ON COMPLEX-FORM OBJECTS

Stepanova A.A.

Voronezh institute of high technologies, Voronezh, e-mail: app@vvt.ru

The design of the objects with extreme average values of the scattering parameters is discussed. Based on the optimization approach using «ant algorithm» the calculations of dependencies of the sizes of two-dimensional metal cylinder with a side wall complex shapes, with maximum average values of the scattering parameters. On the basis of generalization of information on the components constituting the cylinders of the proposal to build a subsystem of CAD for designing of average characteristics of the facilities. An object of complex shape is represented as a set of components. As input for the subsystem selected components, the sector angles, the required level for the average characteristics of the scattering. In this article in the framework of the developed procedure is applied correlation analysis, which allows on the basis of maximum correlation coefficient to determine the characteristics of the components of the object.

Keywords: optimization, wave propagation, integral equations

Моделирование процессов рассеяния электромагнитных волн на разных объектах со сложной формой представляет большой практический интерес, вследствие того, что требуется решать задачи, относящиеся к радиолокационному распознаванию, электромагнитной совместимости и др. [1–3].

В ряде случаев, если рассматриваются объекты, имеющие простую форму, достаточно применять аналитические формулы, позволяющие давать довольно неплохие оценки значений характеристик рассеяния [4–6]. При использовании дифракционного подхода объект рассматривается как тело сложной формы, на котором происходит рассеяние радиоволн. Метод интегральных уравнений при рассмотрении его практического применения, является довольно громоздким методом, часто требующим больших ресурсов, как и другие численные методы. Однако если рассматривать структуры, которые являются телами вращения, то наиболее удачным является сочетание методов интегральных уравнений и собственных функций. Главную роль при этом играет угловая, или азимутальная координа-

та j . По этой координате искомые поля, как и при использовании метода собственных функций, разлагаются в ряды Фурье, и поля отдельных гармоник в силу ортогональности оказываются независимыми. Это позволяет для каждой азимутальной гармоники построить сравнительно простое интегральное уравнение, которое решается численно. При этом уменьшается размерность решаемой электродинамической задачи и уменьшаются требования к величине машинной памяти и времени счета ЭВМ.

Существует ряд задач, которые требуют данные не только о том, какие угловые зависимости характеристик рассеяния, но и о том, какие могут быть достигнуты средние их значения, особенно максимальные, для определенных секторов углов наблюдения [7, 8].

Представляет практический интерес построить достаточно простой алгоритм расчета размеров объектов с максимальными средними значениями характеристик рассеяния в определенном секторе углов наблюдения. Для тел простой формы зависимость максимальных средних значений характеристик от размеров тел может быть записана

аналитически [9]. В данной работе решена задача определения максимальных средних значений характеристик рассеяния для двумерной модели полый структуры. Аналитическую зависимость максимальных средних значений характеристик рассеяния от размеров объекта в данном случае не удастся получить, однако существует возможность построения приближенной функции (интерполирующего полинома), позволяющую получить аппроксимацию этой зависимости при достаточно малой ошибке [6, 7].

В данной работе мы рассматриваем модель расчета размеров двумерного цилиндра, в котором боковая стенка имеет сложную форму, позволяющую определять в заданном секторе углов наблюдения размеры цилиндра с максимальными средними значениями характеристик рассеяния. Применяется следующая модель расчета. На цилиндре мы в качестве характерного размера выделяем размер какого-то его элемента и строим зависимость общей длины контура цилиндра от размера этого элемента.

Характерно то, что применяемый нами способ удобно использовать для цилин-

дра, имеющего симметрию. Цилиндры входят в состав многих современных объектов техники, при учете мощности вторичного излучения таких структур можно управлять мощностью вторичного излучения всего объекта, причем ее значения могут быть изменены в разы и даже десятки раз. В работе рассматривается двумерная модель. Двумерные модели цилиндров оказываются полезными при проведении оценок характеристик рассеяния трехмерных прямоугольных металлических цилиндров [8].

Мы будем считать, что поперечный размер цилиндра равен a , длина L (рис. 1). Боковая стенка цилиндра имеет форму, которая изображена на рис. 1, то есть существует угол наклона β . Тогда общая величина контура цилиндра $D=a/(2\cos\beta)+2L$. Нашей задачей будет поиск a и D , при которых значения средней эффективной площади рассеяния (ЭПР) в заданных секторах углов падения электромагнитной волны α дают максимальные значения. Отсчет угла α происходит от направления, параллельного двум стенкам цилиндра.

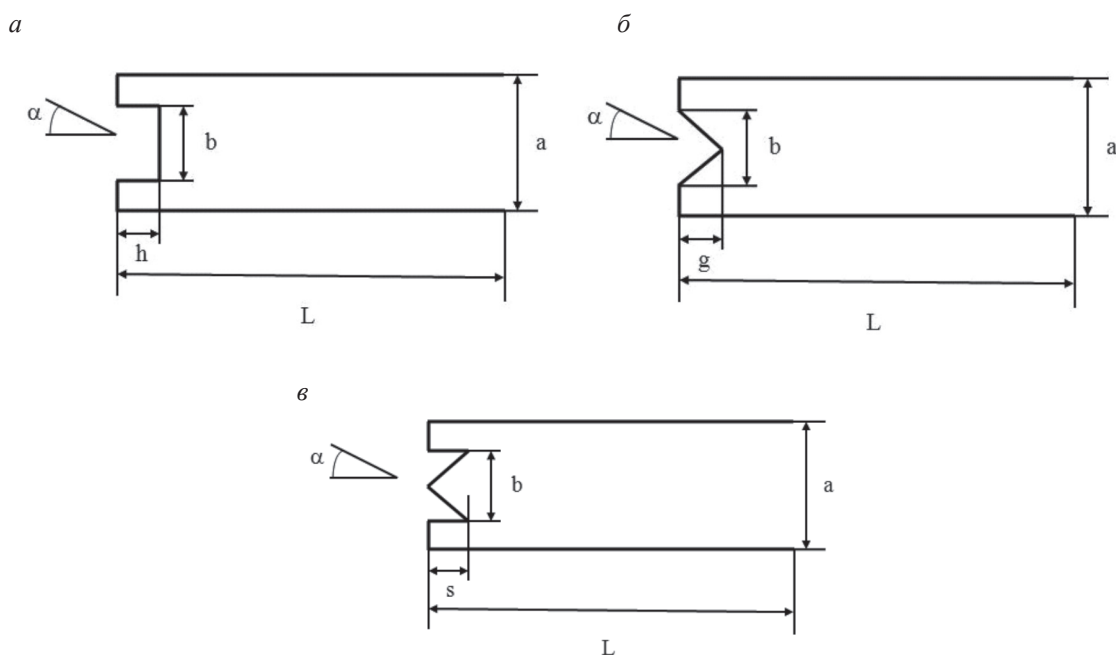


Рис. 1. Иллюстрация рассеяния электромагнитных волн на двумерном цилиндре, имеющем боковую стенку сложной формы (наклон под углом β)

Когда мы проводили анализ характеристик рассеяния, то значения сектора углов наблюдения изменялись довольно значительным образом (от: 5° до 70°), то есть углы относились к области передней полусферы. Значения характеристик рассеяния были получены, основываясь на методе интегральных уравнений [10].

Уравнение Фредгольма первого рода, которое содержит плотность неизвестного электрического тока для случая Е-поляризации [10], записывается, например, следующим образом:

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

здесь

$$L_0(\tau, t) = \sqrt{[\xi(\tau) - \xi(t)]^2 + [\eta(\tau) - \eta(t)]^2}$$

является расстоянием, которое будет между точками наблюдения и интегрирования; $E_z^0(\tau)$ является продольной составляющей напряженности электрического поля в точке, которая располагается на контуре. Мы задаем контур на основе параметрического представления:

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

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

При решении уравнения (1) в рамках метода моментов происходит определение продольных электрических токов, имеющих плотность

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

Расчет двумерной ЭПР металлического цилиндра происходит на основе такого выражения

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

где

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

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

Расчет средней ЭПР осуществляется, базируясь на таком выражении

$$\bar{\sigma} = \sum_{i=0}^N \frac{\sigma(\alpha_i)}{N+1}, \quad (4)$$

где $\sigma(\alpha_i)$ – равно значению ЭПР при угле наблюдения α_i .

значений. Для каждого из участков сетки был использован муравьиный алгоритм.

На рис. 2 даны рассчитанные зависимости длины контура D от поперечных размеров цилиндра a , которые позволяют достичь максимальной средней ЭПР $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(a, D)$.

3. требуемый уровень для средних характеристик рассеяния.

Процесс функционирования подсистемы САПР расчета компонентов объекта приведен на рис. 3.

Выходным результатом являются значения характеристик компонентов объекта.

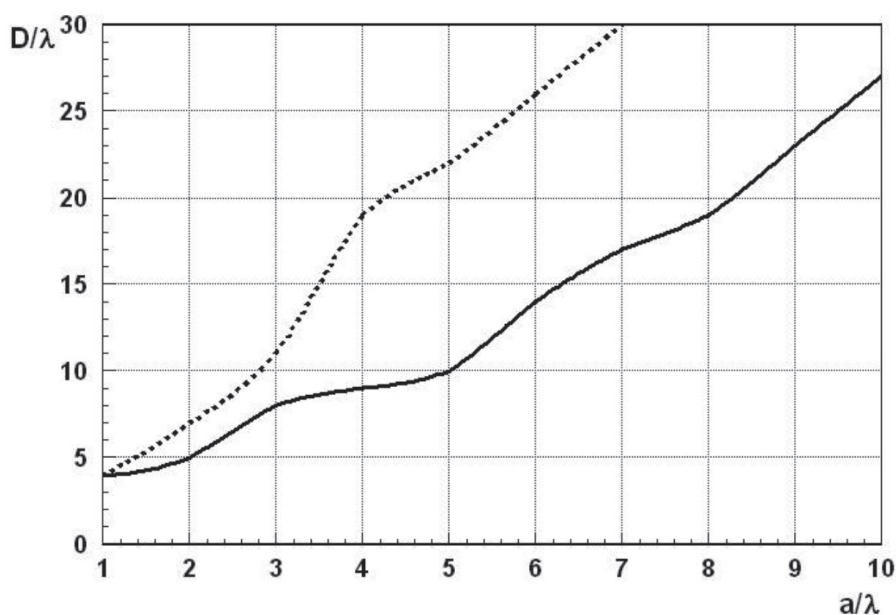


Рис. 2. Зависимость длины контура цилиндра (рис. 1) D от поперечного сечения a для максимальных значений средней ЭПР по сектору углов $\Delta\alpha = 7^\circ$ (кривая 1), $\Delta\alpha = 18^\circ$ (кривая 2) с углом наклона боковой стенки цилиндра $\beta = 24^\circ$.

Объект сложной формы можно представить в виде совокупности отдельных компонентов (цилиндров, полых структур и т.д.). Для определения характеристик компонентов воспользуемся коэффициентами корреляции. В качестве входных параметров выделим следующие:

1. вид компонента;
2. сектор углов наблюдения;

Алгоритм работы в подсистеме будет следующий:

1. Ввод входных параметров.
2. Рассчитываются коэффициенты корреляции для каждого вида объекта;
3. На основе принципа максимума коэффициента корреляции выбирается наиболее подходящий компонент.
4. Вывод результата.

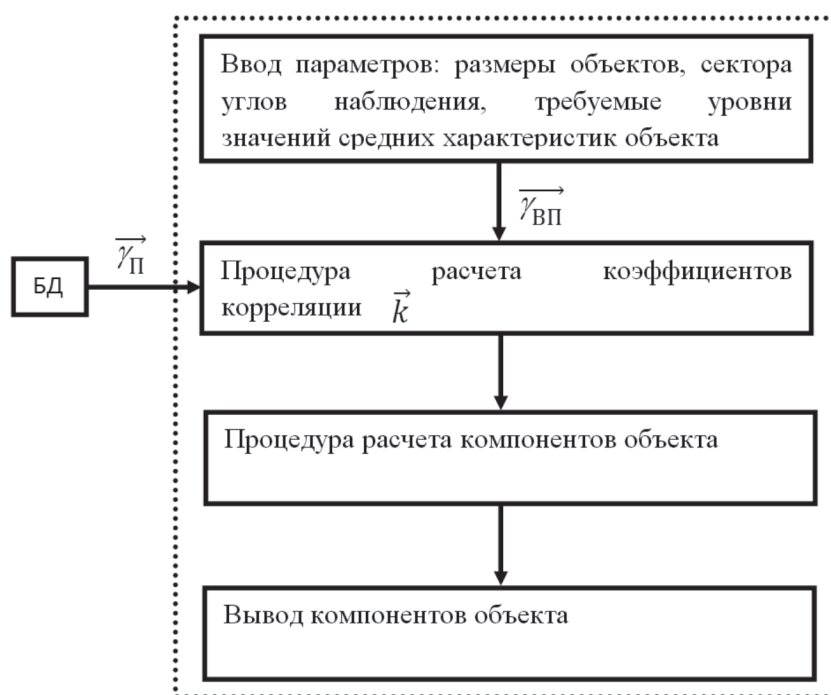


Рис. 3. Процесс функционирования подсистемы САПР средних характеристик объекта.

Использованы следующие обозначения: $\gamma_{ВП}$ – вектор, каждый из элементов которого являются соответствующие входные параметры; $\gamma_{П}$ – вектор, содержащий соответствующие зависимости в БД; \vec{k} – вектор, содержащий коэффициент корреляции.

Базируясь на основе приведенной модели в работе продемонстрирована возможность определения характерных размеров двумерного цилиндра, который дают максимальные средние значения ЭПР. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании объектов, к которым предъявляются требования уменьшения уровня вторичного электромагнитного излучения.

Список литературы

1. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Я.А. Мишин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 153–156.
2. Кульнева Е.Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е.Ю. Кульнева, И.А. Гашенко // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–2. – С. 50.

3. Львович Я.Е. Разработка системы автоматизированного проектирования беспроводных систем связи / Я.Е. Львович, И.Я. Львович, А.П. Преображенский, С.О. Головинов // Телекоммуникации. – 2010. – № 11. – С. 2–6.

4. Чопоров О.Н. Анализ затухания радиоволн беспроводной связи внутри зданий на основе сравнения теоретических и экспериментальных данных / О.Н. Чопоров, А.П. Преображенский, А.А. Хромых // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16; № 4. – С. 584–587.

5. Львович Я.Е. Исследование метода трассировки лучей при проектировании беспроводных систем связи / Я.Е. Львович, И.Я. Львович, А.П. Преображенский, С.О. Головинов // Информационные технологии. – 2011. – № 8. – С. 40–42.

6. Баранов А.В. Проблемы функционирования mesh-сетей / А.В. Баранов // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2012. – № 9. – С. 49–50.

7. 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.

8. Уфимцев П.Я. Метод краевых волн физической теории дифракции / П. Я. Уфимцев // М.: Сов. радио, 1962. – 243 с.

9. 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.

10. Захаров Е.В. Численные методы решения задач дифракции / Е.В. Захаров, Ю.В. Пименов. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.