

УДК 621.396

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ СПОСОБОВ В ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

Эльмусова Р.М.

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: elmusovaroxana@yandex.ru

В работе проводился анализ возможностей использования комбинации метода интегральных уравнений и метода физической оптики для расчета характеристик рассеяния объекта. Задача состояла в том, чтобы определить связь между определенным размером объекта и общей длиной контура, при которых будет значение средней эффективной площади рассеяния, превышающее некоторую величину в заданном секторе углов. Необходимо было использовать при исследовании указанной связи метод сеток при последовательном сужении области определяемых значений. По каждому из участков сетки использовался метод локальной оптимизации – метод золотого сечения. Была осуществлена аппроксимация рассчитанных зависимостей между определенным размером объекта и общей длиной контура на основе полиномиальных зависимостей с привлечением метода наименьших квадратов, приведена зависимость относительной ошибки линейной аппроксимации от значения сектора углов наблюдения при определенной степени аппроксимирующего полинома.

Ключевые слова: гибридный метод, рассеяние электромагнитных волн, метод оптимизации

ABOUT SOME POSSIBILITIES OF USING HYBRID METHODS IN ELECTRODYNAMICS

Elmusova R.M.

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

In the paper the analysis of possibilities of using the combination of the method of integral equations and the method of physical optics for calculation of characteristics of the scattering object is carried out. The problem was to determine the relationship between a specific object size and total length of the contour, in which the value of the average effective area of scattering in excess of a certain amount in a given sector of angles. It was used in the study of this Association, the method of grids in successive narrowing of the field determined values. For each of the sections of the grid method local optimization method of Golden section was used. The approximation of the calculated dependencies was carried out between a specific object size and total length of the contour based on the polynomial dependency with the use of the method of least squares, shows the dependence of relative error of linear approximation from the values of the sector angles with a certain degree of the approximating polynomial.

Keywords: hybrid method, the scattering of electromagnetic waves, the method of optimization

В зависимости углов падения радиоволн, когда они рассеиваются для весьма больших (если сравнивать размеры и длину волны) объектах, мы можем оценить характеристики разных электромагнитных явлений, например, связанных с бегущими и ползущими волнами, а также дифракционными эффектами для поверхностей и ребер [5]. Свойства численных способов, например подходов, применяющих интегральные уравнения, связаны с ограниченными электрическими размерами соответствующих объектов, а подходов, основанных на оптических методиках, – сложностью форм объектов. Гибридные методы, в которых объединяются численные, а также асимптотические методики, дают существенное усиление классов в анализирующих процедурах, связанных с рассеянием радиоволн, но отличие по гибридным способам, а также асимптотическим и строгим, весьма условна. Те, которые рассматриваются как асимптотические способы, могут быть гибридными среди строгих интегральных

описаний электромагнитных полей и геометрическими приближениями для токов на объектах.

В гибридных методах в первом приближении для общих объектах осуществляются процессы аппроксимации на основе множества обычных составляющих, а в общем решение проблем рассеяния рассматривается в виде суммы решений, известных для отдельных составляющих. Основным достоинством указанного подхода заключается в том, что для эффектов рассеяния на больших (с точки зрения сравнения с длиной волны) объектах мы можем проводить аппроксимацию, не прибегать к сложным расчетам. В качестве основного недостатка следует отметить то, что принимаются во внимание лишь рассеянные волны по нулевым («зеркальным») и первым порядкам и происходит пренебрежение теми, которые взаимодействуют с различными рассеивающими составляющими [2].

С тем, чтобы преодолеть подобные недостатки мы можем использовать два подхода:

1. Осуществление более точного учета по дифракционным эффектам на ребрах и искривленных поверхностях объектах на базе аналитических подходов, которые созданы на основе того, что объединяются способы классической оптики и применяются геометрическую и физическую теорию дифракции.

2. Для второго способа используют способ интегральных уравнений, в который базируется на теории линейных пространств, а также ортогональных проекций [3].

Кроме того, существуют возможности для того, чтобы формулировать общие необходимые условия для того, чтобы в гибридных подходах происходило сохранение эффективности для всех типов сложных объектов. Они состоят в том, что:

1. в высокоточных «исходных» решениях требуется, чтобы они были справедливы для тех же аргументов, что и для гибридного способа;

2. для низкочастотных областей (областей, где является эффективным методом моментов) требуется делать ее приблизительно на $1/2$ от края поверхностей или от границ, соответствующим разделам участков непрерывности материалов объектов;

3. в гибридных способах получают приемлемые результаты по анализу характеристик рассеяния электрически больших объектов.

Важно отметить, что с использованием радиолокационных характеристик объектов при

заданных частотах первичных радиоволн (получающихся при процессах математического моделирования или в эксперименте) можно проводить прогнозирование значений радиолокационных характеристик для частотных диапазонов [5]. Это может быть и для идеально проводящих объектов, и для содержащих магнитодиэлектрические материалы.

Мы проводили анализ возможностей использования комбинации метода интегральных уравнений и метода физической оптики для расчета характеристик рассеяния объекта, изображенного на рис. 1. На участке BC расчет проводится на основе метода физической оптики, а на участке BADC расчет проводится на основе метода интегральных уравнений. Задача состояла в том, чтобы определить связь между a и длиной контура $L_a = 2(a(\pi + 1) + L)$, при которых будет значение средней эффективной площади рассеяния (ЭПР) $\bar{\sigma}$, превышающее 20 дБ в заданном секторе углов.

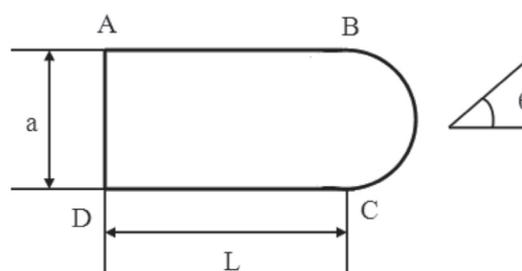


Рис. 1. Схема рассеяния электромагнитных волн на объекте

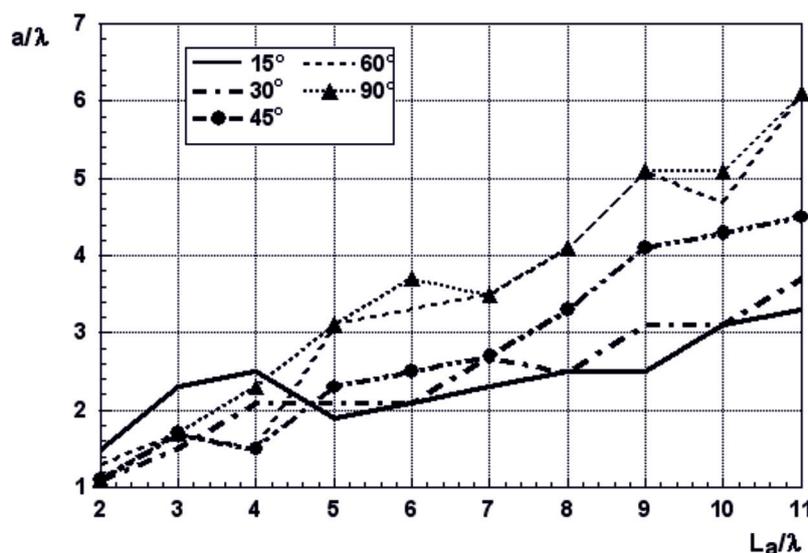


Рис. 2. Иллюстрация зависимости длины контура исследуемого L_a от размера a для сектора углов $\Delta\theta = 5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$

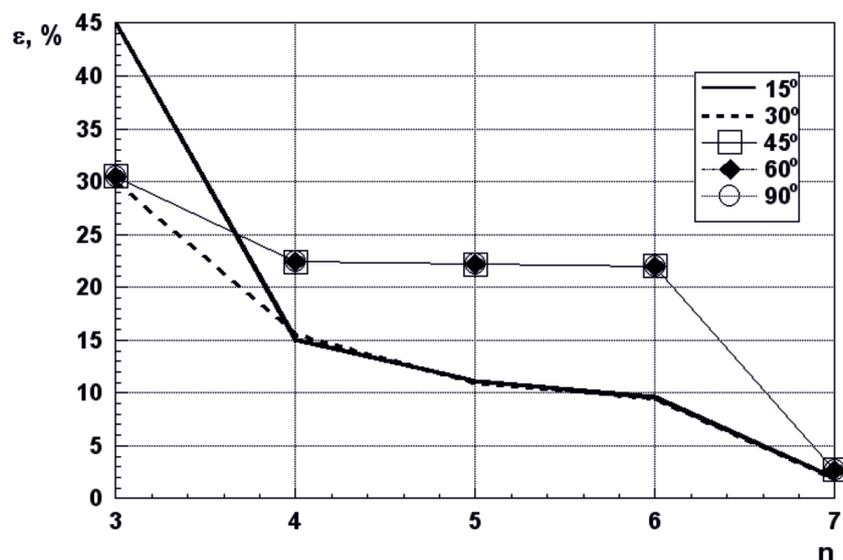


Рис. 3. Зависимость относительной ошибки от степени аппроксимирующего полинома

Функция $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(a, L_a)$ является многоэкстремальной, в этой связи для ее расчетов приходилось применять метод сеток [1] при последовательном сужении области определяемых значений. По каждому из участков сетки использовался метод локальной оптимизации – метод золотого сечения [1].

На рис. 2 даны зависимости длины контура L_a от того, какой размер a для разных секторов углов наблюдения $\Delta\theta$.

Была осуществлена аппроксимация рассчитанных зависимостей a от L_a на основе полиномиальных зависимостей, на базе метода наименьших квадратов [6]. Рис. 3 иллюстрирует зависимость того, какова относительная ошибка линейной аппроксимации от значения сектора углов наблюдения [7], когда степень полинома n изменяется от 1 до 4. Мы можем увидеть, что, что значение максимальной ошибки аппроксимации достигается, когда значение сектора углов наблюдения будет находится в пределах $0^\circ \leq \Delta\theta \leq 15^\circ$. Хорошая с точки зрения практического использования аппроксимация (при относительной ошибке меньше чем 5%) будет получаться при

$30^\circ \leq \Delta\theta \leq 90^\circ$, когда степень аппроксимирующего полинома будет $n \geq 3$.

Список литературы

1. Бейко И.В. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / И.В. Бейко, Б.Н. Бублик, П.Н. Зинько – Киев: Вища школа, 1983. – 511 с.
2. 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.
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. 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.
5. Преображенский А.П. Методы прогнозирования характеристик рассеяния электромагнитных волн / А.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2014. № 1 (4). С. 3.
6. Половко А.М. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации. / А.М. Половко, П.Н. Бутусов – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 320 с.
7. Шутов Г.В. Характеристики методов трассировки лучей / Г.В. Шутов // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3-2. С. 238-239.