

УДК 621.396

О.А. Болучевская, О.Н.Горбенко  
**СВОЙСТВА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**

*ЗАО «Магнит», г.Воронеж  
Воронежский институт высоких технологий*

*Статья посвящена рассмотрению современных способов расчета характеристик электромагнитных волн. Отмечены особенности решения задач для разных частотных областей.*

**Ключевые слова:** рассеяние, волны, метод.

При создании современных объектов техники во многих случаях используются методы рассеяния электромагнитных волн. Они позволяют достичь необходимых уровней для вторичного электромагнитного поля для требуемых ракурсов наблюдения и в требуемых зонах.

Целью данной работы является проведение анализа свойств методов связанных с расчетом характеристик электромагнитных волн.

При использовании анализируемые методы можно в целом подразделить на три вида [1].

К первому виду относятся асимптотические методы. При этом их можно разбить на две части: асимптотические и эвристические. Отличие их определяется тем, что степень их математической обоснованности разная. Первым – более обоснованные, это такие, как геометрическая оптика, геометрическая теория дифракции, вторые – это физическая оптика (которую называют другими словами, как приближение Кирхгофа) а также метод краевых волн, созданный П.Я. Уфимцевым [2].

Ко второму виду относят строгие методы. Среди них рассматривают такие методы, на основе которых имеется возможность получения решения, которое весьма близко к точному. Среди таких методов можно выделить: метод разделения переменных, метод интегральных преобразований, метод интегральных уравнений [3].

К третьему виду можно отнести гибридные методы. В основном, для таких подходов на основе каких-то приближенных методов происходит определение точек (или полей), которые потом подставляют в разные электродинамические операторы (или происходит на их основе уточнение). В качестве примера указанных подходов можно привести метод стационарного функционала Ю. Швингера, а также различные комбинированные методы, которые сочетают совокупность методов и др.

Выделяют три области, для них характерный размер объекта  $L$ , на котором происходит рассеяние электромагнитных волн может быть такой:  $L/\lambda \ll 1$  – это низкочастотная область, когда;  $L/\lambda \sim 1$  – это резонансная

область,  $L/\lambda \gg 1$  – это высокочастотная область (здесь обозначение  $\lambda$  - это длина электромагнитной волны).

Для первой области задачу решают на основе рассмотрения волнового уравнения (это уравнение Гельмгольца), но при этом не всегда можно представить решение в виде конечной формулы, тогда решают задачу численно.

Для резонансной области, которая достаточно сложна для исследований, весьма часто применяют метод разделения переменных или метод интегральных уравнений.

Для резонансной области к настоящему времени решено множество задач, связанных не только с обычным рассеянием электромагнитных волн, но и прогнозированием характеристик рассеяния электромагнитных волн, а также рассмотрение вопросов, связанных с обратными задачами [3-8].

В высокочастотной области рассматривают лучевое распространение волн. Среди таких методов выделяют геометрическую оптику и ее модификации: геометрическая теория дифракции, которая дает возможности использовать геометрические методы в дифракционных задачах; комплексная геометрическая оптика, ведущая к тому, что определяется поле для области рефракционной тени, решение с использованием метода параболического уравнения, ведущего к уточнению решения. Сейчас такие методы активно используются при проектировании систем связи [9,10].

В волновых методах включающих метод физической оптики происходит уточнение решения на основе поправок, которые обусловлены формированием приближенных собственных функций.

В рамках метода собственных функций и интегральных преобразований, возникает возможность решения задач для всего частотного диапазона от низкочастотной области до высокочастотной [11]. На основе метода факторизации решаются весьма сложные задачи, но есть ограничение, связанное с тем, что в модели считается, что для, хотя бы одного направления, объект должен быть полу-бесконечным. То есть этот метод как самостоятельный подход не всегда может быть использован при решении задач для реальных объектов.

Когда рассматривается метод геометрической оптики, то считают, что распространение энергии происходит вдоль лучей. Это приближенный метод он применяется в том случае, когда радиусы кривизны поверхностей изучаемого объекта достаточно большие по сравнению с длиной волны. Указанный метод работает как для идеально проводящих тел, так и для тел с включениями. Среди недостатков метода геометрической оптики можно отметить то, что появляются сингулярности на каустиках и разрывы для полей, когда происходит пересечение границ

тени. Геометрическая оптика в чистом виде неприменима для тел с изломами.

В геометрической теории дифракции используется обобщенный принцип Ферма. Вследствие учета дифракционных лучей происходит компенсация разрывов решений, соответствующих границам свет – тень. Для указанного метода происходит определение рассеянного электромагнитного поля на основе использования асимптотической аппроксимации.

Метод физической оптики использует принцип Гюйгенса. Исходя из этого принципа, в каждой точке волнового фронта можно выделить источник сферических волн, у которого диаграммой направленности, имеет максимум, совпадающий с направлением нормали к волновому фронту. При расчете рассеянного электромагнитного поля используется приближение Стрэттона – Чу, в котором интегрирование происходит по поверхности  $S$ , но это лишь освещенная поверхность тела. Метод эффективно работает для определения характеристик рассеяния объектов, имеющих простую форму.

Аналитическое решение можно получить лишь для довольно небольшого числа координатных систем, когда можно провести разделение этого уравнения по переменным. Если искать точные решения, то они будут выражаться через полиномы и степенные ряды, что ведет к необходимости оценок степеней их сходимости, а также рассмотрения того, каким образом влияют ошибки округления.

При переходе решения задачи к системе интегральных уравнений, наблюдается снижение размерности задачи и происходит переход от неограниченной области к ограниченной области (это относится к поверхности или к объему объекта). Токи на поверхности объекта рассчитываются на основе решений системы интегральных уравнений. Такой метод можно эффективно использовать при расчете характеристик рассеяния объектов, у которых размеры находятся в резонансной области. По мере роста размеров объекта происходит заметный рост требуемого для расчетов машинного времени, а также объема оперативной памяти. Для данного метода возможно проведение расчета по характеристикам рассеяния как для идеально проводящих объектов, так и с диэлектрическими включениями.

Различные методы могут быть объединены в систему, чтобы проводить обобщенное решение задач для совокупности объектов [12, 13].

При оценке характеристик рассеяния электромагнитных волн в определенных случаях возможно использование приближенной модели [14]. Проводя оптимизацию [15], получают требуемые значения характеристик рассеяния электромагнитных волн, для определенных ракурсов.

При распространении могут использоваться не только гармонические сигналы, но и другие. При определении их характеристик требуется использовать соответствующие подходы [13, 16]

Отдельно следует отметить проблему измерения характеристик электромагнитных волн или параметров материалов [17, 18].

Выводы. В данной статье рассмотрены основные свойства методов, связанных с определением характеристик рассеяния электромагнитных волн.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов Р. Б., Каценеленбаум Б. З. Основы теории дифракции / М.: Наука, 1982. – 272 с.

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

3. Васильев Е. Н. Возбуждение тел вращения / М.: Радио и связь, 1987. – 270 с.

4. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / Телекоммуникации. 2004. № 5. С. 32-35.

5. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Методика прогнозирования радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / Системы управления и информационные технологии. 2004. № 2 (14). С. 98-101.

6. Баранов А.В. Вопросы прогнозирования характеристик рассеяния двумерного идеально проводящего цилиндра / Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013. № 1. С. 12.

7. Стрельцов О.В. Анализ особенностей прогнозирования характеристик электромагнитных волн / Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013. № 1. С. 10.

8. Баранов А.В. О возможности прогнозирования характеристик рассеяния двумерного идеально проводящего клина / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 13-16.

9. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. исследование методов оптимизации при проектировании систем радиосвязи / Теория и техника радиосвязи. 2011. № 1. С. 5-9.

10. Баранов А.В. Некоторые особенности лучевых методов расчета характеристик распространения электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 9-13.

11. Яремко О.Э. Метод операторов преобразования в задачах математического моделирования / Монография. - Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2012. - 245 с.

12. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их проектировании / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 255-256.

13. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн / Воронеж, Научная книга, 2007 – 248 с.

14. Шутов Г.В. Оценка возможности применения приближенной модели при оценке средних характеристик рассеяния электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 61-67.

15. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 20-26.

16. Головинов С.О., Миронченко С.Г., Щепилов Е.В., Преображенский А.П. Цифровая обработка сигналов / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 4. С. 64.

17. Горбенко О.Н. Проблемы измерения характеристик рассеяния электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 298-303.

18. Ерасов С.В. Об измерении параметров материалов / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 26-33.

O.A. Boluchevskaya, O.N.Gorbenko

**THE PROPERTIES OF METHODS OF ESTIMATION OF  
SCATTERING CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC  
WAVES**

*Joint-Stock Company "Magnit", Voronezh  
Voronezh Institute of High Technologies*

*The paper is devoted to modern methods of calculating the characteristics of electromagnetic waves. The peculiarities of the solutions of the tasks to different frequency areas are pointed out.*

**Keywords:** scattering, waves, method.