

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.396

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЙЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ОБЪЕКТАМИ

© 2016 А. А. Максимова, А. Г. Юрочкин

*Российский новый университет  
Воронежский филиал Российской Академии государственной службы  
при Президенте Российской Федерации*

*В данной работе проводится анализ некоторых способов, которые применяются при исследовании процессов дифракции электромагнитных волн на объектах сложной формы. Указана роль экспериментальных методов построения соответствующих физических теорий.*

*Ключевые слова: дифракция, рассеяние, способ, методика, метод, теория.*

При проектировании современных электродинамических объектов необходимо делать выбор адекватных физических методов. Это связано с тем, что аналитические подходы позволяют существенно уменьшить машинное время расчета.

В зависимости от угла падения облучения при рассеянии, на больших (по отношению к длине волны) объектах могут возникать различные электромагнитные явления, такие, как бегущие и ползущие волны, а также эффекты дифракции на поверхности и ребрах. Применимость численных методов, например, метода интегральных уравнений, ограничивается электрическими размерами рассеивающего объекта, а методов, основанных на оптическом подходе, – сложностью формы объекта. Гибридные методы, сочетающие как численные, так и высокочастотные асимптотические методы, существенно расширяют класс рассматриваемых процессов рассеяния электромагнитных волн, хотя грань между гибридными методами, с одной стороны, и асимптотическими

и строгими, с другой, весьма условна. Например, всегда классифицируемый как асимптотический метод физической оптики по своей сути является гибридом строго интегрального представления электромагнитного поля и геометрикооптического приближения для тока на рассеивателе.

В гибридных методах в первом приближении полный объект аппроксимируется совокупностью канонических (характерных) элементов, а общее решение задачи рассеяния получается в виде суммы известных решений для отдельных элементов. Главное преимущество такого подхода заключается в том, что эффект рассеяния на большом (по отношению к длине волны) объекте можно аппроксимировать, не прибегая к сложным расчетам.

Принципиальный его недостаток состоит в том, что в лучшем случае он учитывает лишь рассеянные волны нулевого («зеркального») и первого порядков и пренебрегает эффектами взаимодействия различных рассеивающих элементов.

Для преодоления этого недостатка можно использовать два подхода:

Более точный учет дифракционных эффектов на ребрах и искривленных поверхностях объекта с помощью аналитических средств, разработанных путем обобщения

---

Максимова Анастасия Алексеевна – Российский новый университет, студент, e-mail: maximn88stya@yandex.ru.

Юрочкин Анатолий Геннадьевич – Воронежский филиал Российской Академии государственной службы при Президенте Российской Федерации, д. т. н., профессор, e-mail: kafec@vtn.ranepa.ru.

методов классической оптики и использование геометрической и физической теорий дифракции.

Второй подход исходит из применения к задаче о рассеянии электромагнитного излучения метода интегральных уравнений, использующего теорию линейных пространств и ортогональных проекций.

Можно сформулировать общие необходимые условия для того, чтобы гибридные методы сохраняли эффективность для всех типов сложных рассеивающих объектов. Они состоят в следующем:

- высокоточные «исходные» решения должны быть справедливыми во всех областях, где они применяются в гибридном методе;

- низкочастотная область (область применения метода моментов) должна отстоять примерно на  $\frac{1}{2}$  длины волны от краев поверхности или от границы раздела участков непрерывности материала объекта;

- гибридный метод дает наилучшие результаты при анализе характеристик рассеяния больших в электрическом смысле объектов.

Отметим также, что использование радиолокационных характеристик для объектов при заданных значениях частот падающей электромагнитной волны (полученных при математическом моделировании или экспериментальными методами) возможно прогнозирование значений радиолокационных характеристик в диапазоне частот. Причем это возможно как для идеально проводящих объектов, так и для объектов, содержащих на своей поверхности радиопоглощающие покрытия.

Экспериментальные методы, связанные с определением электродинамических характеристик, делятся на следующие способы: проведение натурных измерений; осуществление масштабного электродинамического моделирования; масштабного акустического моделирования.

Методы натурных измерений. Охватывают два метода: динамических и статических измерений. Динамические характеристики снимают в процессе реальных полетов с использованием штатных или измерительных локаторов. Статические характеристики снимают на испытательных полигонах. Объекты закрепляют на достаточной высоте относительно поверхности земли с помощью тросов или на покрытых слабо отражающи-

ми материалами колоннах, соединенных с поворотными устройствами.

Метод масштабного электродинамического моделирования. Проводят на полигонных установках, аналогичных используемым при натурном статическом моделировании или в безэховых камерах. При использовании безэховых камер серьезное внимание уделяют формированию в окрестности модели плоского фронта волны, в частности, с помощью специальных коллиматоров. Характеристики проводящих моделей будут воспроизводить характеристики существующих объектов в случае выполнения условий подобия.

Вместо генерации широкополосных сигналов используют иногда смену частот зондирующих сигналов с достаточно малым шагом. Отраженные сигналы подвергаются фазовому детектированию с использованием в качестве опорного напряжения сигнала от малогабаритного вынесенного эталонного вторичного излучателя. Результаты оцифровываются и подвергаются процедуре БПФ.

Вращение макетов целей в сочетании с обработкой, обеспечивающей синтез апертуры, используется в последнее время для выявления вкладов отдельных элементов цели в суммарные эффекты их вторичного излучения.

Метод гидроакустического моделирования.

Основой рассматриваемого вида моделирования является аналогия акустических и электромагнитных волновых процессов в изотропных средах. Аналогия не касается поляризационных эффектов.

Они характерны для электромагнитных волн и отсутствуют для гидроакустических в силу их продольного характера в толще жидкости.

Положительной особенностью гидроакустического моделирования является существенное снижение скорости распространения акустической волны по сравнению со скоростью электромагнитной в свободном пространстве.

В результате, полосы частот и частоты гидроакустической модели значительно сокращаются. Последнее существенно также и потому, что с увеличением рабочей частоты растет затухание гидроакустических колебаний, превышая (даже в масштабе) атмосферное затухание электромагнитных. По-

сколькo все требования одновременно невыполнимы, необходим компромисс.

Расчетные методы определения характеристик вторичного излучения. Интерес к таким методам возрастает вследствие удорожания натуральных экспериментов, трудностей набора в ходе этих экспериментов необходимых данных и расхождения результатов, получаемых при этом различными экспериментальными методами.

Методики расчета характеристик вторичного излучения классифицируют по методам: описания поверхности аэродинамического объекта; расчета рассеянного электромагнитного поля.

Среди методов описания поверхности выделяют следующие методы.

1. Проволочные методы. Объект представляется совокупностью тонких проводников (проволочек). Метод применяется для расчета характеристик вторичного излучения в резонансной и релейской областях.

2. Пластинчатые (фасеточные.) методы. Поверхность цели описывается путем задания граней (фасеток) и ребер. Зачастую этот процесс автоматизируется. Размеры фасеток составляют доли длины волны, что приводит к росту вычислительных затрат для самолетов в сантиметровом-дециметровом диапазонах длин волн.

3. Эллипсоидальные методы. В отличие от предыдущего метода используются участки эллипсоидов. Снимаются ограничения на размеры элементарных участков поверхности, но не учитываются деполяризующие эффекты.

4. Методы, использующие описание кубическими сплайн-функциями. Позволяют автоматизировать трудоемкий процесс описания поверхности цели, используя стандартные пакеты программ САПР. В остальном близки по характеристикам к эллипсоидальным методам.

5. Метод простейших компонентов. Сочетает широкий набор простых тел: поверхностей второго порядка, пластин, клиньев, тонких проводов, дисков и т. д. Позволяет уменьшить вычислительные затраты при сохранении точности расчетов, однако требует значительных ручных затрат при описании поверхности цели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Косилов А. Т. Методы расчета радиолокационных характеристик объектов / А. Т. Косилов, А. П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1. – № 8. – С. 68-71.

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

3. Преображенский А. П. Аппроксимация характеристик рассеяния электромагнитных волн элементов, входящих в состав объектов сложной формы / А. П. Преображенский, Ю. П. Хухрянский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1. – № 8. – С. 15-16.

4. Мишин Я. А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Я. А. Мишин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 153-156.

5. Преображенский А. П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов с радиопоглощающими покрытиями в диапазоне длин волн / А. П. Преображенский // Телекоммуникации. – 2003. – № 4. – С. 21-24.

6. 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.

7. 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.

8. Головинов С. О. Проблемы управления системами мобильной связи / С. О. Головинов, А. А. Хромых // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2012. – № 9. – С. 13-14.

9. Львович И. Я. Применение методологического анализа в исследовании безопасности / И. Я. Львович, А. А. Воронов // Информация и безопасность. – 2011. – Т. 14. – № 3. – С. 469-470.

10. Кульнева Е. Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е. Ю. Кульнева,

И. А. Гащенко // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 50.

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

12. 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.

## **THE METHODS OF INVESTIGATION OF THE SCATTERING CHARACTERISTICS ELECTROMAGNETIC WAVES BY OBJECTS**

© 2016 A. A. Maximova, A. G. Yurochkin

*Russian new university*

*The Voronezh branch of the Russian Academy of state service when the President of the Russian Federation*

*In this paper the analysis of some methods used in the study of the processes of diffraction of electromagnetic waves on complex-shape objects is given. The role of experimental methods building the corresponding physical theories is shown.*

*Keywords: diffraction, scattering, method, methodology, method, theory.*