

УДК 621.396

А.Г. Скляр

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ЦИЛИНДРЕ В ЗЕМНОМ ПОКРОВЕ

*Российский новый университет*

*Рассеиватели электромагнитных волн, которые находятся в диэлектрической среде, имеют широкое практическое применение. Например, при моделировании рассеяния электромагнитных волн на цилиндрическом объекте в земляном покрове мы можем использовать эти результаты при дистанционном зондировании труб и кабелей. В работе получены некоторые результаты в рамках рассматриваемой модели.*

**Ключевые слова:** рассеяние волн, интегральные уравнения, электромагнитная волна.

Исследование задач, связанных с рассеянием электромагнитных волн для объектов, которые находятся в земляном покрове, представляет собой одну из сложных задач и актуальную проблему в электродинамике. Интерес к подобным исследованиям касается, большей частью, внедрений в сейсмологии, технологий неразрушающего контроля, осуществления работ, проводимых в интересах технической и медицинской диагностики.

В связи с тем, что наблюдаются постоянно растущие требования к разработкам в области систем, относящихся к радиолокации, радиосвязи и других практическим приложениям важно все время проводить усложнение и совершенствование теоретических моделей и методов расчета по техническим характеристикам формируемых устройств. Важными элементами таких систем являются антенны, разработке которых уделяется большое внимание. Это связано с тем, что идет заметное влияние от окружающей среды (в том числе и со стороны границ раздела сред и локальных близко расположенных неоднородностей) на то каковы ее характеристики излучения. Также, кроме антенн при разработке приборов, относящимся к тому или иному назначению появляется целый ряд сложных вопросов, которые связаны, например, с осуществлением выбора по рабочему диапазону частот или определенной фиксированной частоты, при особенностях излучения, распространения и рассеяния радиоволн и др., и то каким образом осуществляется решение зависит практическая реализация всех устройств, имеющих заданные характеристики. В этой связи весь объем электродинамических задач излучения и дифракции, формулируемых при развитии современной радиоэлектронной системы любого назначения, делает развитие соответствующих теорий весьма актуальной задачей.

Точные аналитические формулировки по объектам в земном покрове доступны лишь для некоторых особых случаев. Это связано с тем, что определение электромагнитных полей, рассеянных на неоднородностях, не всегда можно осуществить с использованием решений уравнения Гельмгольца для сложных конфигураций [1-5].

Классический метод решения уравнения Гельмгольца, то есть, метод разделения переменных, приводит к аналитическим результатам только для той неоднородности, поверхности которой совпадают с координатными поверхностями ортогональных систем координат, в которых уравнение Гельмгольца разделимо.

Существует ряд работ посвященный данной проблеме [6, 7]. Например, авторами в [8] были получены численные результаты для идеально проводящего круглого цилиндра, который находится в диэлектрическом полупространстве.

Они считали в их исследованиях, что препятствие так глубоко размещено в диэлектрике, что только отражение первого порядка при анализе интерференционной картины оказывает значимый вклад в характеристики рассеяния.

Отражения более высокого порядка игнорировались, для того, чтобы определить характеристики рассеяния в дальней зоне.

Рассеянные поля от цилиндра могут быть вычислены, на основе использования обобщенной функции Грина, исходя из той конфигурации, в которой расположены объекты, по соответствующим наведенным текущим токам [9].

Методы для вычисления рассеянных полей сложных объектов в соответствующих областях наблюдения известны.

Для того, чтобы проводить расчёт характеристик рассеяния электромагнитных волн на больших (в масштабах длин волн) объектах можно применять асимптотические дифракционные методы: среди них есть метод физической оптики, а также метод, основанный на краевых волнах. Следует сказать, что во многих случаях можно сделать разделение поверхности тела по отдельным фрагментам, для которых с использованием приближения таких методов получаем выражения в аналитическом виде по рассеянному полю.

Одной из удобных аппроксимаций поверхности тел можно считать фасеточную модель. Исходя из описания такой модели проводится аппроксимация гладкой поверхности объектов на основе треугольных площадок (фасетов), а для изломов поверхностей применяем прямые ребра. Для поля, рассеянного каждым из фасетов и каждым из ребер ребром, расчет осуществляется отдельно, а потом идет суммирование таких полей с учетом того, каким образом у нас существует взаимное расположение фасетов и ребер. Для модели фасетов требуются

значительные вычислительные ресурсы при проведении расчетов отражения от протяженных объектов со сложной формой. Но при этом такая модель часто применяется на практике исследователями. Это обусловлено прежде всего тем каковы возможности синтеза фасеточного представления по сложным объектам для современных систем автоматизированного проектирования.

Среди важных задач, рассматриваемых в фасеточной модели следует отметить исследование отражения от треугольного facets, который является частью из поверхностей, аппроксимирующих гладкую поверхность объекта. При отражении от гладкой поверхности объекта мы используем приближение физической оптики.

Интегральные уравнения второго рода при их практическом использовании характеризуются множеством достоинств, среди них можно конечно, отметить то, что решение устойчиво по отношению к малым возмущениям исходных параметров задач.

При этом проблемы численного решения интегральных уравнений, традиционно решаемые на основе проекционных методов, определенным образом связаны с задачами по выбору систем базисных функций, которые обеспечивают эффективность вычислительных процессов относительно скоростей сходимости, характеристик производительности процессоров и объемов оперативной памяти компьютеров.

При использовании метода конечных элементов для области, в которой производится поиск решения систем дифференциальных уравнений, происходит выделение конечного количества подобластей [10].

Для каждой из таких подобластей необходимо осуществить выбор вида аппроксимирующей функции. Одним из простейших случаев является линейная зависимость, то есть, рассматривают полиномы 1-й степени.

Аппроксимирующая функция вне подобласти считается равной нулю. Следует осуществлять стыковку значений функций по границам подобластей.

При этом поиск коэффициентов аппроксимирующих функций осуществляется на основе условий того, что равны значения по соседним функциям для границ среди подобластей.

Потом такие коэффициенты выражают как зависимые от значений функций в соответствующих узлах подобластей. Формируют систему линейных алгебраических уравнений.

При этом число уравнений равняется числу неизвестных значений, относящихся к узлам, в рамках них мы проводим поиск решения рассматриваемой системы, является прямо пропорциональным числу

подобластей и возможности расчетов связаны лишь с возможностями конкретного компьютера.

Поскольку по каждой из подобластей существует связь с ограниченным числом соседних, то для системы линейных алгебраических уравнений характерно то, что она разрежена, что заметным образом упрощает процедуры по ее решению.

Существует сложность, при оценке рассеянных областей от цилиндра в земле, которая определяется неизвестным распределением токов на нем.

Хотя это не всегда возможно дать общее, точное и аналитическое решение для распределения токов, но может быть случай, при котором можно дать приближение для фактического распределения токов на цилиндре.

На рис. 1 приведена схема исследуемого объекта.

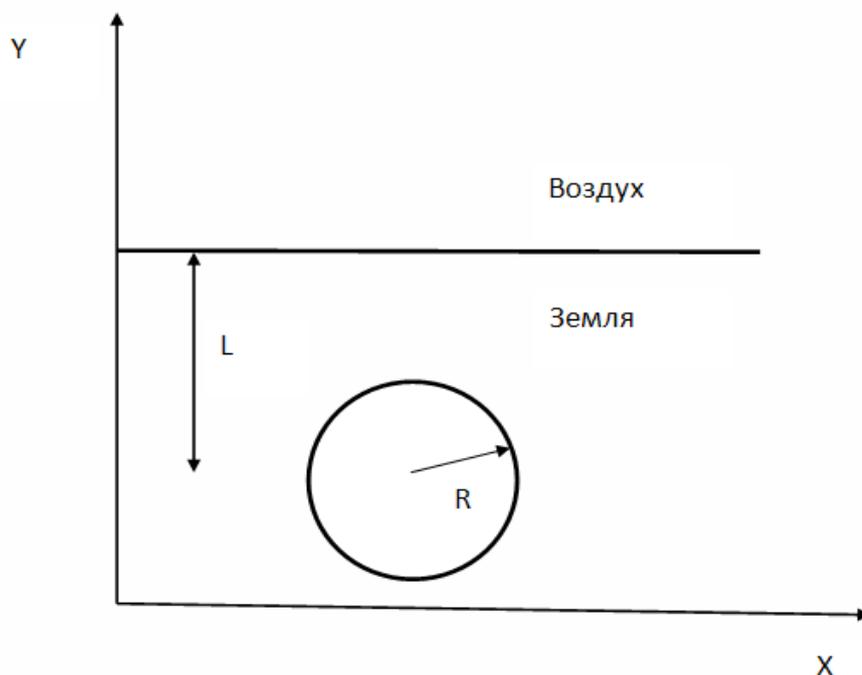


Рис. 1 Схема цилиндра в земляном покрове

Мы будем считать для упрощения, что цилиндр находится в однородной среде, что позволяет использовать приблизительную оценку для тока.

Было проведено моделирование для следующих параметров задачи:  $R=2\lambda$ ,  $L=10\lambda$ , где  $\lambda$ -длина падающей электромагнитной волны.

На рис.2 приведена рассчитанная нормированная мощность обратного рассеяния в зависимости от угла наблюдения.

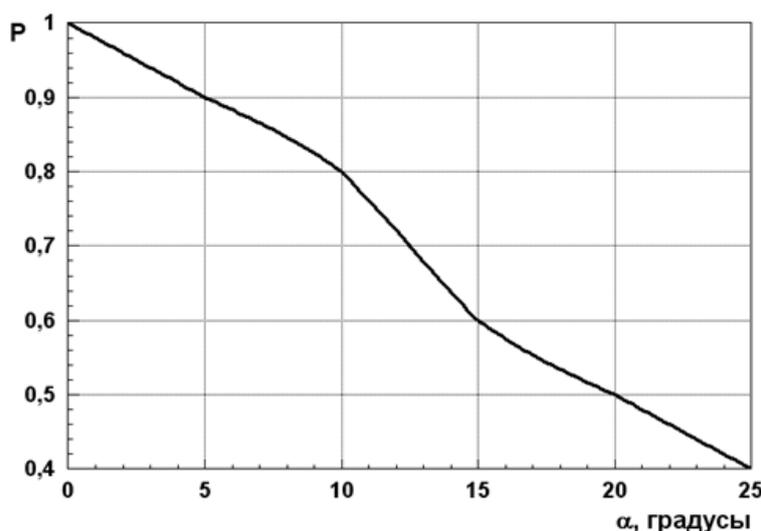


Рис. 2 Пример расчета мощности обратного рассеяния для цилиндра в земляном покрове

Результаты моделирования простейших элементов могут быть использованы при рассмотрении различных систем связи [11-26], а также при решении соответствующих задач [27-30].

Вывод. В работе рассмотрена задача рассеяния электромагнитных волн на цилиндре в земляном покрове. Рассмотрен пример расчета варианта цилиндра на основе метода интегральных уравнений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский А.П. Об оценке характеристик беспроводной связи в помещении / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 13. С. 40-41.
2. Баранов А.В. Проблемы функционирования mesh-сетей / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 49-50.
3. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 153-156.
4. Головинов С.О., Хромых А.А. Проблемы управления системами мобильной связи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 13-14.
5. Кульнева Е.Ю., Гащенко И.А. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 50.
6. Ogunade, S. O. Electromagnetic response of an embedded cylinder for line current excitation / Geophysics, Vol. 46, 45-52, Jan. 1981.

7. Chommeloux, L., C. Pichit, and J. C. Bolomey Electromagnetic modeling for microwave imaging of buried cylindrical in-homogeneities / IEEE Tran. Microwave Theory Tech., Vol. 34, 1064-1076, Oct. 1986.
8. Hongo, K., and A. Hamamura Asymptotic solutions for the scattered field of plane wave by a cylindrical obstacle buried in a dielectric half-space / IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 34, 1306-1312, Nov. 1986.
9. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры. – М.: Мир, 1977. – 485 с.
10. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов - М.: Мир, 1979. - 392 с.
11. Ерасов С.В. Проблемы электромагнитной совместимости при построении беспроводных систем связи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 137-143.
12. Львович И.Я., Преображенский А.П., Филипова В.Н. Построение подсистемы для анализа характеристик металлодиэлектрических антенн на основе строгого электродинамического подхода / Глобальный научный потенциал. 2014. № 9 (42). С. 123-126.
13. Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Построение алгоритма оценки средних характеристик рассеяния полых структур / Телекоммуникации. 2014. № 6. С. 2-5.
14. Преображенский А.П. О возможности построения объектов с заданными требованиями на характеристики рассеяния / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 13. С. 38-39.
15. Преображенский А.П. О применении комбинированных подходов для оценки характеристик рассеяния объектов / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 69-70.
16. 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.
17. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62.
18. Львович И.Я., Преображенский А.П. Расчет характеристик металлодиэлектрических антенн / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 11. С. 26-29.
19. 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.

20. Болучевская О.А., Горбенко О.Н. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013. № 3. С. 4.
21. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 20-26.
22. Баранов А.В. Некоторые особенности лучевых методов расчета характеристик распространения электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 9-13.
23. Шутов Г.В. Приближенная модель для оценки средних характеристик рассеяния / Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 60.
24. Чопоров О.Н., Преображенский А.П., Хромых А.А. Анализ затухания радиоволн беспроводной связи внутри зданий на основе сравнения теоретических и экспериментальных данных / Информация и безопасность. 2013. Т. 16. № 4. С. 584-587.
25. Преображенский А.П. О применении расчетно-экспериментального подхода при исследовании распространения волн wi-fi внутри помещения / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 71-72.
26. Моргунов В.С. Современные методы расчета распространения радиосигналов в помещениях / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 136-139.
27. Кучуганов А.В. Методология анализа графической информации в системах поддержки принятия решений // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 2. С. 112-115.
28. Пузыревский И.В. Статистический анализ интенсивности излучения миниатюрных криптоновых ламп // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 4. С. 6-9.
29. Курейчик В.В., Бова В.В., Курейчик В.В. Комбинированный поиск при проектировании // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 2. С. 90-94.
30. Посягин А.И. , Южаков А.А. Обзор двухслойной нейронной сети в самомаршрутизирующемся аналого-цифровом преобразователе // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 2. С. 122-124.

A.G. Sklyar

**THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF SCATTERING OF  
ELECTROMAGNETIC WAVES ON THE METAL CYLINDER  
IN THE EARTH COVER**

*Russian new university*

*The scatterers of electromagnetic waves who are in the dielectric environment, have broad practical application. For example, when modeling the scattering of electromagnetic waves on cylindrical object in an earth cover we can use these results at remote sensing of pipes and cables. In paper some results within the considered model are received.*

**Keywords:** scattering of waves, integral equations, electromagnetic wave.