

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ОБЪЕКТЕ В ЗЕМНОМ ПОКРОВЕ

© 2016 А. Г. Юрочкин, А. В. Данилова

*Воронежский филиал Российской Академии государственной службы  
при Президенте Российской Федерации  
ОАО «Концерн «Созвездие»*

*В статье рассмотрены вопросы, связанные с рассеянием электромагнитных волн на объекте, находящемся в земном покрове. Приведена схема соответствующего объекта. Рассмотрен пример расчета мощности обратного рассеяния для объекта в земляном покрове для выбранных параметров.*

*Ключевые слова: электродинамика, рассеяние радиоволн, земляной покров.*

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.<sup>1</sup>

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. Например, некоторыми авторами 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.

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

Интегральные уравнения второго рода при их практическом использовании характеризуются множеством достоинств, среди которых 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.

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

---

Юрочкин Александр Геннадьевич – Воронежский филиал Российской Академии государственной службы при Президенте Российской Федерации, д. т. н., профессор, e-mail: kafec@vtn.ganepa.ru  
Данилова Александра Викторовна – ОАО «Концерн «Созвездие», сотрудник, e-mail: danilovaalex@yandex.ru

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

На рисунке 1 приведена схема исследуемого объекта.

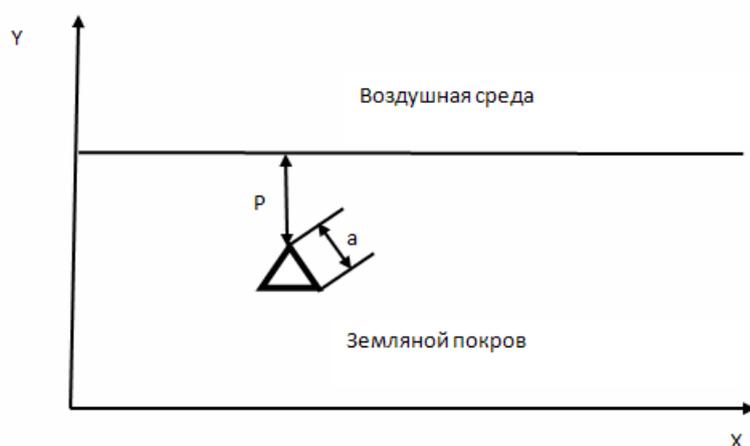


Рис. 1. Схема объекта в земляном покрове

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

Было проведено моделирование для следующих параметров задачи:  $a=3\lambda$ ,  $P=15\lambda$ ,

где  $\lambda$ -длина падающей электромагнитной волны.

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

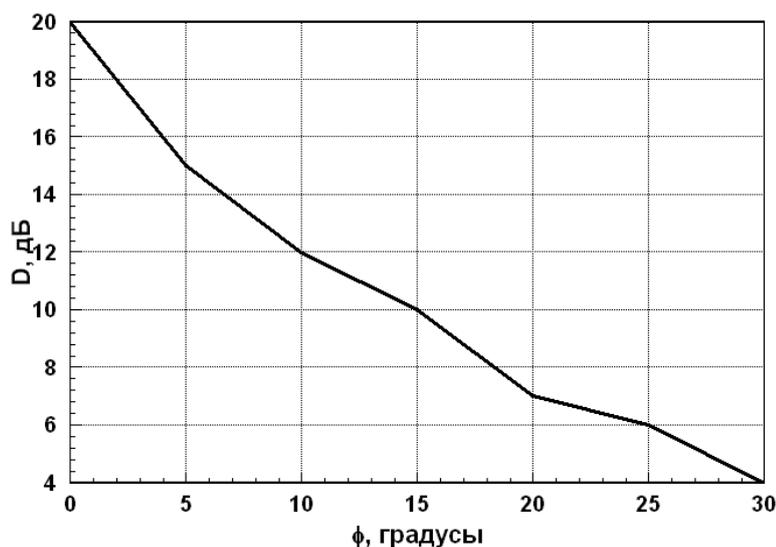


Рис. 2. Пример расчета мощности обратного рассеяния для объекта в земляном покрове

Результаты моделирования простейших элементов могут быть использованы при рассмотрении различных систем связи, а также при решении сопутствующих задач.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

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

2. Головинов С. О. Моделирование пространства миллиметровых волн в городской застройке на основе комбинированного алгоритма / С. О. Головинов, А. П. Преображенский, И. Я. Львович // Телекоммуникации. – 2010. – № 7. – С. 20-23.

3. 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.

4. 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.

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

7. Авдеев В. Б. Моделирование малогабаритных сверхширокополосных антенн / В. Б. Авдеев, А. В. Ашихмин, А. В. Бердышев, С. В. Корочин, В. М. Некрылов, А. В. Останков, Ю. Г. Пастернак, И. В. Попов, А. П. Преображенский / Под редакцией:

В. Б. Авдеева, А. В. Ашихмина. Воронеж, Издательство: Воронежский государственный университет (Воронеж), 2005, 223 с.

8. Преображенский А. П. Оценка возможностей комбинированной методики для расчета ЭПР двумерных идеально проводящих полостей / А. П. Преображенский // Телекоммуникации. – 2003. – № 11. – С. 37-40.

9. Преображенский А. П. Алгоритм расчета радиолокационных характеристик полостей с использованием приближенной модели / Преображенский А. П., Чопоров О. Н. // Системы управления и информационные технологии. – 2005. – Т. 21. – № 4. – С. 17-19.

10. 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.

11. Львович И. Я. Построение алгоритма оценки средних характеристик рассеяния полых структур / И. Я. Львович, Я. Е. Львович, А. П. Преображенский // Телекоммуникации. – 2014. – № 6. – С. 2-5.

12. Самойлова У. А. Анализ сложных электродинамических объектов на основе параллельных вычислений / У. А. Самойлова // Современные наукоемкие технологии. 2014. – № 5-2. – С. 55-56.

13. Шутов Г. В. Приближенная модель для оценки средних характеристик рассеяния / Г. В. Шутов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 60.

14. Преображенский А. П. Методы прогнозирования характеристик рассеяния электромагнитных волн / А. П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2014. – № 1 (4). – С. 3.

15. Кульнева Е. Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е. Ю. Кульнева, И. А. Гащенко // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 50.

16. Подвальный С. Л. Концепция многоальтернативного управления открытыми системами: истоки, состояние и перспективы / С. Л. Подвальный, Е. М. Васильев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – Т. 9. – № 2. – С. 4-20.

17. Подвальный С. Л. Эволюционные принципы построения интеллектуальных систем многоальтернативного управления / С. Л. Подвальный, Е. М. Васильев // Систе-

мы управления и информационные технологии. – 2014. – Т. 57. – № 3. – С. 4-8.

18. Подвальный С. Л. Многоальтернативное управление открытыми системами: концепция, состояние и перспективы / С. Л. Подвальный, Е. М. Васильев // Управление большими системами: сборник трудов. – 2014. – № 48. – С. 6-58.

19. Подвальный С. Л. Интеллектуальные системы многоальтернативного управления: принципы построения и пути реализации / С. Л. Подвальный, Е. М. Васильев //

В сборнике: XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – 2014. – С. 996-1007.

20. Подвальный С. Л. Многоальтернативное управление в критических ситуациях / С. Л. Подвальный, Е. М. Васильев // В сборнике: Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. – Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2014. – С. 289-294.

## **MODELING SCATTERING OF ELECTROMAGNETIC WAVES ON THE OBJECT IN LAND COVER**

© 2016 A. G. Yurochkin, A. V. Danilova

*The Voronezh branch of the Russian Academy of state service  
when the President of the Russian Federation  
JSC «Concern «Sozvezdie»*

*In the paper the questions connected with the scattering of electromagnetic waves on the object located in land cover are considered. The scheme of the corresponding object is given. An example of the calculation of the backscatter power for the object in the ground cover for the selected parameters is given.*

*Keywords: electrodynamics, scattering of radio waves, ground cover.*