



# MATERIÁLY

X MEZINÁRODNÍ VĚDECKO-PRAKTICKÁ KONFERENCE

VĚDECKÝ POKROK NA  
PŘELOMU TYSYACHALETY -  
2014

27.05.2014 - 05.06.2014

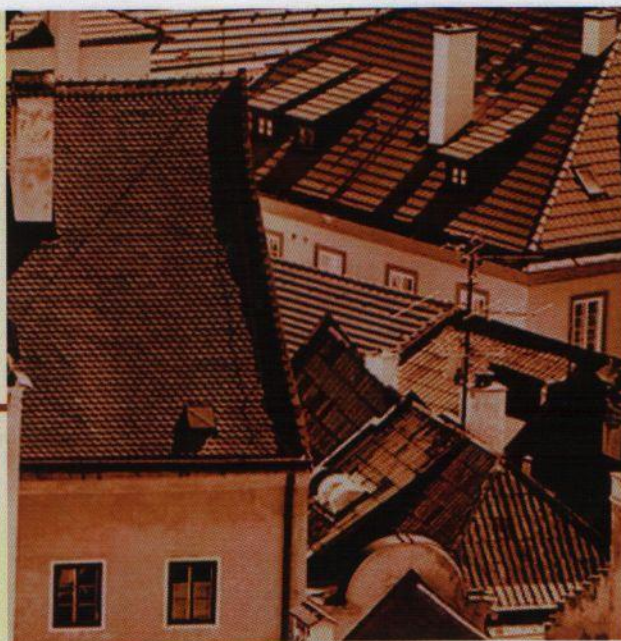


Díl 21

Ekologie  
Zeměpis a geologie  
Fyzika  
Výstavba a  
architektura



Praha  
Publishing House  
«Education and Science» s.r.o.



Vydáno Publishing House «Education and Science»,  
Frýdlanská 15/1314, Praha 8  
Spolu s DSP SHID, Berdianskaja 61 B, Dnepropetrovsk

**Materiály X mezinárodní vědecko - praktická konference  
«Vědecký pokrok na přelomu tysyachalety – 2014». - Díl 21.**  
Ekologie. Zeměpis a geologie. Fyzika. Výstavba a architektura.:  
Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o -  
112 stran

**Šéfredaktor:** Prof. JUDr. Zdeněk Černák

**Náměstek hlavního redaktora:** Mgr. Alena Pelicánová

**Zodpovědný za vydání:** Mgr. Jana Štefko

**Manažer:** Mgr. Helena Žáková

**Technický pracovník:** Bc. Kateřina Zahradníčková

X sběrné nádoby obsahují materiály mezinárodní vědecko - praktická konference «Vědecký pokrok na přelomu tysyachalety» (27 května – 05 června 2014 roku) po sekcích Ekologie. Zeměpis a geologie. Fyzika. Výstavba a architektura.

Pro studentů, aspirantů a vědeckých pracovníků

Cena 270 Kč

ISBN 978-966-8736-05-6

© Kolektiv autorů, 2014

© Publishing house «Education and Science» s.r.o.

## ОПТИКА

Костина Н. А., Одаренко Е. Н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОКРЫТИЕМ

Создание и совершенствование современных приборов микроволнового и оптического диапазонов во многом связано с применением новых материалов. Результаты экспериментальных и теоретических исследований искусственных сред с отрицательными значениями материальных параметров (метаматериалы) свидетельствуют о перспективности их применения для разработки новых устройств с необычными электродинамическими характеристиками [1].

На основе применения метаматериалов создаются средства для маскировки объектов (cloaking), формирования уникальных линз, волноводов и высокодобротных резонаторов [2]. Основой для моделирования взаимодействия электромагнитных сигналов с такими объектами служит решение базовых задач дифракции плоских волн на элементарных геометрических объектах – отверстиях, цилиндрах, сферах и т. д.

В данной работе рассматривается дифракция плоской монохроматической волны на металлическом цилиндре со слоем, материальные параметры которого могут иметь как положительные, так и отрицательные значения. Основное внимание уделено разработке средств визуализации распределения поля внутри оболочки и в области пространства вблизи цилиндра. На рис. 1 представлена схема падения волны на исследуемую структуру. Предполагается что вектор напряженности электрического поля направлен вдоль продольной оси цилиндра.

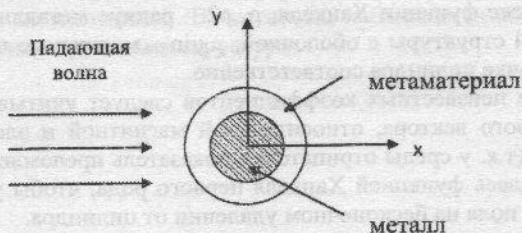


Рисунок 1 – Схема падения волны на цилиндр с оболочкой.

Для решения задачи были использованы представления полей через цилиндрические функции и граничные условия для раздела сред воздух-метаматериал и метаматериал-металл. В результате получили систему уравнений для определения неизвестных коэффициентов разложения. Для решения системы уравнений использовался метод Крамера. Ниже приведены выражения для определителей, которые использовались при составлении расчетного проекта в системе компьютерной алгебры:

$$\Delta = \begin{vmatrix} H_{n1}(k, \rho_2) & -J_n(k_1, \rho_2) & -Y_n(k_1, \rho_2) \\ k_{\mu} \mu_n H_{n1}'(k \rho_2) & -k_1 \mu_n J_n'(k_1 \rho_2) & -k_1 \mu_n Y_n'(k_1 \rho_2) \\ 0 & J_n(k_1 \rho) & Y_n(k_1 \rho) \end{vmatrix}$$

$$\Delta a = \begin{vmatrix} (-i)^n J_n(k, \rho_2) & -J_n(k_1, \rho_2) & -Y_n(k_1, \rho_2) \\ -k_{\mu} \mu_n J_n'(k \rho_2) & -k_1 \mu_n J_n'(k_1 \rho_2) & -k_1 \mu_n Y_n'(k_1 \rho_2) \\ 0 & J_n(k_1 \rho) & Y_n(k_1 \rho) \end{vmatrix} \quad \text{— для рассеянной волны.}$$

ны.

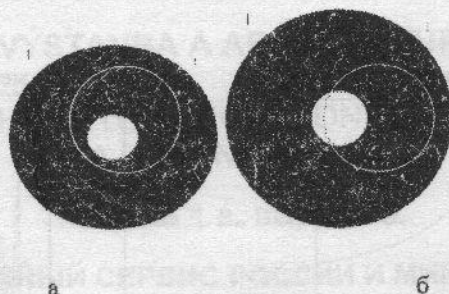
$$\Delta c = \begin{vmatrix} H_{n1}(k, \rho_2) & (-i)^n J_n(k, \rho_2) & -Y_n(k_1, \rho_2) \\ k_{\mu} \mu_n H_{n1}'(k \rho_2) & -k_{\mu} \mu_n J_n'(k \rho_2) & -k_1 \mu_n Y_n'(k_1 \rho_2) \\ 0 & 0 & Y_n(k_1 \rho) \end{vmatrix}$$

$$\Delta d = \begin{vmatrix} H_{n1}(k, \rho_2) & -J_n(k_1, \rho_2) & (-i)^n J_n(k, \rho_2) \\ k_{\mu} \mu_n H_{n1}'(k \rho_2) & -k_1 \mu_n J_n'(k_1 \rho_2) & -i^n k_{\mu} \mu_n J_n'(k \rho_2) \\ 0 & J_n(k_1 \rho) & 0 \end{vmatrix} \quad \text{— для волны в слое.}$$

В формулах использованы обозначения:  $k, k_1$  — волновые векторы в воздухе и оболочке цилиндра соответственно;  $J_n, Y_n, H_{n1}$  — функции Бесселя первого и второго рода, а также функции Ханкеля;  $\rho, \rho_2$  — радиус металлического цилиндра и радиус всей структуры с оболочкой;  $\mu, \mu_n$  — магнитные проницаемости в воздухе и оболочке цилиндра соответственно.

При вычислении неизвестных коэффициентов следует учитывать отрицательный знак волнового вектора, относительной магнитной и электрической проницаемости слоя (т.к. у среды отрицателен показатель преломления). Рассеянная волна описывалась функцией Ханкеля первого рода, чтобы учесть затухание интенсивности поля на бесконечном удалении от цилиндра.

На рис. 2 приведены результаты расчета пространственного распределения амплитуды электрического поля для двух случаев: рассеяние волны на металлическом цилиндре с диэлектрической оболочкой (рис. 2а) и рассеяние волны на металлическом цилиндре оболочкой из метаматериала (рис. 2б).



**Рисунок 2 – Пространственное распределение амплитуды электрического поля для цилиндра а) с диэлектрической оболочкой, б) с оболочкой из метаматериала.**

Как видно из рисунков, для случая с метаматериалом происходит фокусировка поля внутри слоя и наблюдается увеличение интенсивности поля возле границы раздела воздух-метаматериал. Обычная диэлектрическая оболочка искажает распределение поля, однако не фокусирует его. Кроме того, результаты расчетов показывают, что параметры и размеры оболочки оказывают довольно сильное влияние на характеристики рассеянного поля за цилиндром. На рис. 3 представлены результаты расчетов радиальных зависимостей интенсивности электрического поля в рассматриваемой системе. Вертикальными штриховыми линиями показаны границы слоя, нанесенного на металлический цилиндр. Рис. 3а соответствует диэлектрическому слою, рис. 3б – слою из метаматериала. Очевидно, что изменение знака показателя преломления среды существенно влияет на закономерности распределения поля. В случае обычного диэлектрического покрытия интенсивность поля спадает практически экспоненциально. Если металлический цилиндр покрыт слоем метаматериала, то зависимость становится немонотонной. В частности, наблюдается локальный минимум интенсивности за пределами структуры.

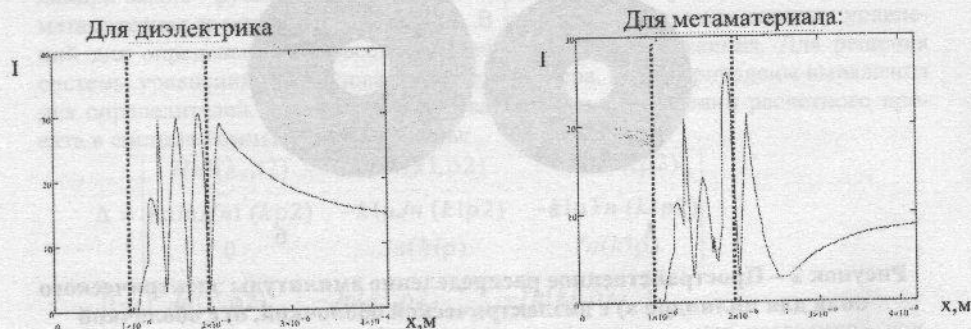


Рисунок 3 – Пространственное распределение интенсивности электрического поля

Графики были построены для отношения диаметра цилиндра к толщине слоя  $\approx 2$ .

#### Литература:

1. Li C., Shen Z. Electromagnetic scattering by a conducting cylinder coated with metamaterials // Progress in electromagnetics research. – 2003. – P. 91-105.
2. Wu Q., Zhang K., Meng F.-Y., Li L.-W. Electromagnetic characteristics of metamaterial cloak covered dielectric cylinder illuminated by electric line source // IET Microwaves, Antennas & Propagation. – 2010. – V. 4, Iss. 10, P. 1680-1688.