

УДК 621.396

А.А. Максимова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА НЕОДНОРОДНЫХ МАГНИТО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕЛАХ

*Российский новый университет*

*В данной работе проводится анализ во временной области на основе интегральных уравнений. Рассматривается подход для описания переходных процессов на композитных металло-диэлектрических телах. Приведены численные примеры демонстрации стабильности и точности предлагаемого способа. В качестве объекта анализа рассматривается металлический цилиндр*

**Ключевые слова:** моделирование, рассеяние на магнито-диэлектрическом теле, дифракция.

Развитие электродинамических систем автоматизированного проектирования позволяет решать как совершенно новые задачи в области антенно-фидерной техники, теории дифракции электромагнитных волн на структурах сложной формы, требующие значительных вычислительных затрат, так и практически реализовать многие научные разработки, высокая степень сложности которых тормозила их практическое воплощение.

Дифракционные структуры входят в состав антенн и антенных систем, а также других объектов сложной формы. К настоящему времени не создано универсальных алгоритмов и методик, позволяющих проводить анализ радиолокационных характеристик антенн произвольной формы [1]. Для анализа и проектирования различных дифракционных структур и антенн создано множество программных продуктов. Большинство из них ориентировано преимущественно на решение тех или иных специальных вопросов [2-4].

Рассеиватели радиолокационных сигналов и преобразователи энергии электромагнитных волн (транспаранты, средства уменьшения заметности в радиодиапазоне волн, антенные устройства СВЧ и КВЧ диапазонов волн), как правило, характеризуются большими электрическими размерами, сложной геометрией, наличием поглощающих и нелинейных элементов. Анализ и синтез вышеупомянутых электродинамических объектов на основе грубого представления о протекающих в них физических процессах несут в себе опасность появления существенных и трудно контролируемых погрешностей оценки их основных характеристик, которые, как правило, очень быстро изменяются при изменении частоты, вида поляризации и угла падения ЭМВ. Измерение основных характеристик РЦ (поляризационной матрицы, эффективной поверхности рассеяния в моностатическом и бистатическом режимах рассеяния) в широкой полосе частот и обширном угловом секторе требует наличия либо аттестованного специально

оборудованного антенного полигона, либо аттестованной безэховой камеры (стоимость которой может составлять несколько миллионов долларов), а также больших затрат времени и материальных средств. В этой связи необходимо разрабатывать средства математического моделирования рассеяния электромагнитных волн на объектах со сложной формой [5, 6].

В последнее время идет развитие методов, связанных с моделированием во временной области. Это связано с тем, что существуют потребности в переходном анализе во многих развивающихся короткоимпульсных и широкополосных приложениях, например, в таких как ультра-широкополосных антеннах и системах связи, коротких импульсных характеристиках, высокоскоростных цифровых схемах и переходных явлений в нелинейных компонентах.

Метод конечных разностей во временной области (FDTD) является доминирующим инструментом при моделировании во временной области; однако для временной области подход на основе интегральных уравнений, будет являться предпочтительным в некоторых аспектах особенно для анализа переходных процессов рассеяния крупногабаритных тел, так как требуется учет меньшего числа неизвестных с использованием дискретизации поверхности и искусственных поглощающих граничных условий [7-10].

Одна из причин, которая препятствует внедрению подходов на основе метода интегральных уравнений во временной области в отличие от общего подхода, заключается в том, что отсутствие окончательное условие устойчивости, в отличие от Куранта.

Цель данной работы является исследование методологии рассеяния электромагнитных волн на металлодиэлектрических композиционных телах при переходных процессах [11]. Подобные задачи возникают 3D металло-диэлектрических композитных телах, например структурах платформах-антенна-обтекатель.

Если рассмотреть иллюстрацию, то металлические поверхности обозначаются  $S_1$ , диэлектрические поверхности, обозначаются  $S_2$ , а метало-диэлектрические связанные поверхности обозначаются  $S_3$ . Происходит набег временной волны набега на составные тела, которые индуцируют распределение эквивалентных поляризации  $P_{1s}$  на  $S_1$ , распределений поляризации и намагниченности  $P_{2s}$   $M_{2c}$  на  $S_2$ , и распределение поляризации автомобиля  $P_3$  на  $S_3$ .

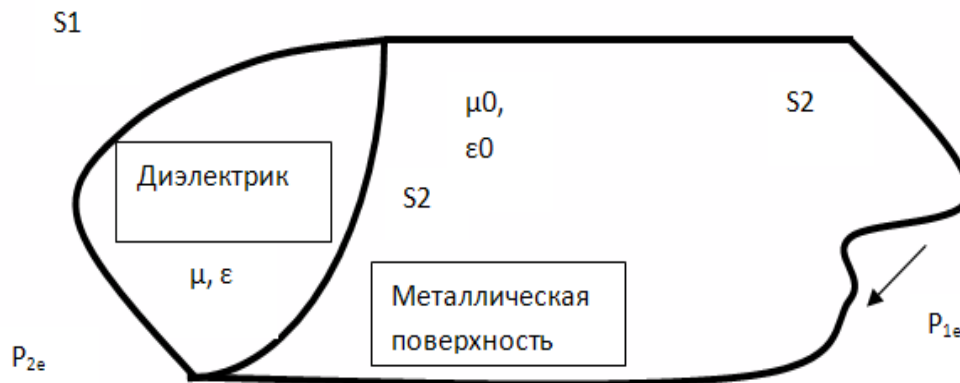


Рис.1 Схема рассеяния электромагнитной волны на комбинированном теле.

$$E^s = -\eta_0 [L_1(P_{1s}) + L_2(P_{2s})] + K_2(M_{2s}), r \in V_0,$$

$$H^s = -[K(P_{1s}) + K_2(P_{2s})] - \frac{1}{\eta_0} L_2(M_{2s}), r \in V_0,$$

здесь  $\eta_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$  является внутренним импедансом свободного пространства.

$$L_q(x) = \frac{c}{4\pi} \iint_{S_q} \left[ \frac{\partial^2 X(r', t - \frac{R}{c})}{R \partial (ct)^2} - \nabla \cdot \frac{\nabla' X(r', t')}{R} \Big|_{t' = t - \frac{R}{c}} \right] dS', \quad q=1,2,$$

$$K_q(x) = \frac{c}{4\pi} \nabla \times \iint_{S_q} \left[ \frac{\partial^2 X(r', t - \frac{R}{c})}{R \partial (ct)^2} \right] dS', \quad q=1,2.$$

Здесь  $c=1/\sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$  - скорость света в вакууме.

$$E^d = -\eta_d [L_2^d(-P_{2s}) + L_3^d(P_{3s})] + K_2^d(-M_{2s}), r \in V_d,$$

$$H^d = -[K_d^2(-P_{2s}) + K_3^d(P_{3s})] - \frac{1}{\eta_d} L_2^d(-M_{2s}), r \in V_d,$$

где  $\eta_d = \eta r \eta_0$ .

Рассмотрим некоторые численные результаты, полученные в рамках предлагаемого подхода.

Предполагается, что падающая волна промодулирована Гауссовым импульсом.

В первую очередь, для того, чтобы сравнить с аналитическим решением, даваемым МИ мы рассмотрим идеально проводящий шар,

имеющий диаметр 0.45 м и он покрыт диэлектрической оболочкой с толщиной 0,055 м, имеющей диэлектрическую постоянную  $\epsilon = 2.1$ , которая моделируется с 2,204 неизвестными с помощью базисных функций.

В этом примере используются, при частоте  $F_0 = 500$  МГц,  $fbw = 1,0$  ГГц,  $Dt = 0.125$  нс или  $cDt = 0.0375$  ЛМ (ЛМ=экспонентрии: время, которое свет проходит 1м в вакууме). Процессы эволюции наведенных электрических токов и наведенных магнитных токов в точке (0, 0, 0.25 м) изображены на рисунках 1(А) и рис. 1(Б) до 10ЛМ (идет остановка программы на самом деле через 1500 временных шагов или 75 ЛМ без нестабильности, которая выравнивается примерно 10-15).

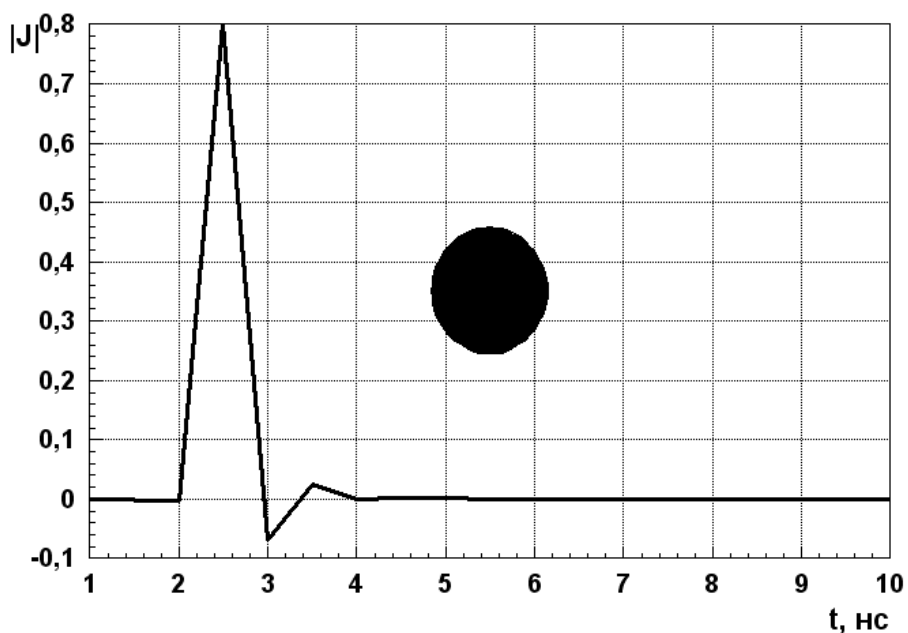


Рис 1а

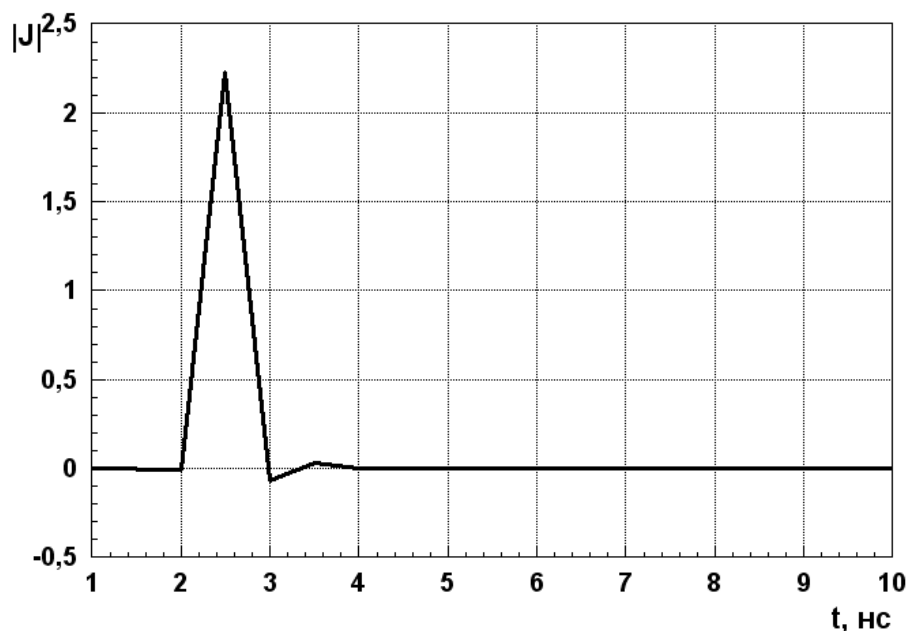


Рис 1б

Интегральные уравнения во временной области являются одним из эффективных подходов для анализа переходных процессов рассеяния проблемы в 3D металлических и диэлектрических композиционных объектов, которая формулируется при помощи эквивалентов поляризации и намагнитченности, как и неизвестных источников [12]. В качестве характеристики используется время домена электрического поля интегральное уравнение используется в металлической части, а домен Ригgio-Миллер-Чанг-Харрингтон-Ву применяется в интегральном уравнении для диэлектрической части. Вывод. В рамках метода интегральных уравнений с учетом временного подхода в работе разработана методика, в рамках которой проведено моделирование рассеяния электромагнитных волн на металло-диэлектрическом объекте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн. – Воронеж: «Научная книга», 2007. – 248 с.
2. Баранов А.В. Проблемы функционирования mesh-сетей / Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2012. - № 9. – С. 49-50.
3. Цифровая обработка сигналов / С.О. Головинов, С.Г. Миронченко, Е.В. Щепилов, А.П. Преображенский // Вестник Воронежского института

- высоких технологий. – 2009. - № 4. – С. 64-65.
4. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. - № 10. – С. 153-156.
  5. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2012. - № 9. – С. 60-62.
  6. Головинов С.О., Хромых А.А. Проблемы управления системами мобильной связи / Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2012. - № 9. – С. 13-14.
  7. Львович И.Я., Воронов А.А. Применение методологического анализа в исследовании безопасности / Информация и безопасность. – 2011. – Т. 14. - № 3. – С. 469-470.
  8. Преображенский А.П., Чопоров О.Н., Кайдакова К.В. Исследование характеристик рассеяния электромагнитных волн для полой структуры в объекте / В мире научных открытий. – 2015. - № 4.1 (64). – С. 548-553.
  9. Преображенский А.П., Чопоров О.Н., Кайдакова К.В. Моделирование рассеяния электромагнитных волн на несимметричном объекте / В мире научных открытий. – 2015. - № 8.1 (68). – С. 526-531.
  10. Преображенский А.П., Чопоров О.Н., Кайдакова К.В. Моделирование рассеяния волн на полой структуре с поглощающим материалом / В мире научных открытий. – 2015. - № 8.1 (68). – С. 523-526.
  11. 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.
  12. Душкин А.В., Чопоров О.Н. Декомпозиционная модель угроз безопасности информационно-телекоммуникационным системам / Информация и безопасность. – 2007. – Т. 10. - № 1. – С. 141-146.

A.A. Maximova

## MODELLING OF DISPERSION OF ELECTROMAGNETIC WAVES IN AN INHOMOGENEOUS MAGNETO-DIELECTRIC BODIES

*Russian new university*

*In this paper, the analysis in the time domain based integral equation approach. The approach is considered for describing of transient processes in composite metal-dielectric bodies is given. Numerical examples are given to demonstrate the stability and precision of the proposed method. As the object of analysis is a metal cylinder.*

**Keywords:** modeling, scattering on magneto-dielectric body, diffraction.