

УДК 621.396

В.В. Костюченко, Н.А. Анкина

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ИМПУЛЬСОВ РАДИОВОЛН НА ПОЛОЙ СТРУКТУРЕ

Концерн радиостроения "Вега"

Российский новый университет

На основе метода, позволяющего проводить численное решение полной системы уравнений Максвелла, осуществлено исследование рассеяния импульса с наносекундной длительностью трехмерной полой структурой прямоугольного поперечного сечения. Проведен расчет форм отраженных сигналов для разных соотношений между пространственными длинами импульсов и размерами дифракционной структуры. Было продемонстрировано, что значение эффективной площади рассеяния полой структуры при размерах, близких к пространственной протяженности радиоимпульса, будет примерно такое же, как и в случае рассеяния длинных (монокроматических) радиоимпульсов.

Ключевые слова: импульс, рассеяние, полая структура, уравнения Максвелла, метод конечных разностей во временной области.

Введение. Полые структуры входят в состав многих технических объектов. При радиолокационных измерениях требуется учитывать, что такие элементы при относительно небольших геометрических размерах могут давать большие значения эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) [1, 2].

На настоящий момент не разработаны универсальные алгоритмы и методики, которые дают возможности для проведения анализа рассеивающих свойств полых структур, имеющих произвольную форму [3, 4]. Во многих случаях объекты имеют размеры, близкие к резонансному диапазону, тогда они лежат в интервале от 1λ до 10λ , где λ – длина радиоволны. При математическом моделировании процессов рассеяния радиоволн на полых структурах можно рассматривать их или как отрезок волновода, или в виде объекта, имеющего сложную форму.

Когда рассматриваются облучающие сигналы, имеющие наносекундные длительности, то размеры полых структур могут быть близки к пространственным длинам импульсов.

В таких случаях процессы отражения радиоволн, которые отражаются от разных участков полой структуры, характеризуются запаздыванием и нестационарной природой.

При этом появляется необходимость в том, чтобы была уточнена ЭПР полой структуры, которая рассматривается как важная характеристика, показывающая величины интенсивностей отраженных радиолокационных сигналов.

Методика. Данная статья посвящена расчету характеристик рассеяния на основе численного метода полой структуры, имеющей

размеры $a=3\lambda$, $b=3\lambda$, $a=2\lambda$, $L=5\lambda$, (Рисунок 1), ее материал – медь (с удельной проводимостью $\sigma=5.87 \cdot 10^7$ См/м). Направление волнового вектора в падающей плоской электромагнитной волне характеризуется следующими значениями углов $\theta=42^\circ$, $\varphi=50^\circ$.

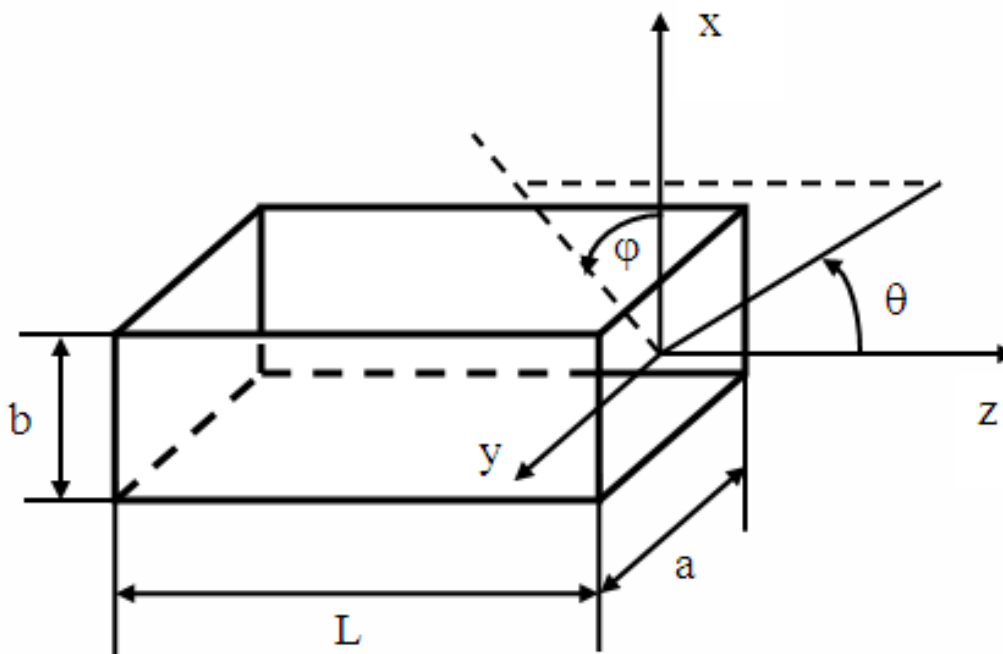


Рисунок 1 – Схема рассеяния электромагнитного импульса на полый структуре с прямоугольным поперечным сечением

Проведение исследований форм отраженных сигналов осуществлялось на основе того, что непосредственным образом решалась система трехмерных уравнений Максвелла [5-7] при помощи метода конечных разностей во временной области, для этого случая учитывались токи проводимости [8, 9]:

$$\nabla \times H = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} + \sigma E, \quad \nabla \times E = -\mu_0 \mu \frac{\partial H}{\partial t}, \quad \nabla \cdot H = \nabla \cdot E = 0. \quad (1)$$

Для сеток полей E и H наблюдается смещение относительно друг к другу на величину, равную половине шага разбиения времени и для каждой из пространственных переменных. На основе конечно-разностных уравнений есть возможности для определения полей E и H при определенном временном шаге, основываясь на известных значениях полей на предыдущих.

Когда заданы начальные условия, алгоритм демонстрирует эволюционное решение во временной области от нулевого отсчета при заданном временном шаге.

С тем, чтобы был ограничен объем сетки в рассматриваемом методе требуется использование особых поглощающих граничных условий, в которых моделируется движение радиоволны на бесконечность. При этом применяют условия Мура или Ляо, а также идеально согласованные слои.

Основные этапы метода следующие:

1. Формирование расчетной области и граничных условий.
2. Размещение внутри расчетной области объектов, характеризующимися соответствующими отражающими и поглощающими свойствами.
3. Задание источника радиоволны.
4. Генерация источником радиоволны.
5. Расчет частотного представления полей на основе преобразования Фурье. Пересчет поля из ближней зоны в дальнюю зону.

Электромагнитный импульс имеет синусоидальную форму, при этом огибающая характеризуется функцией Гаусса:

$$E(p, t) = E_{inc} \exp(i \ln 2 \left(\frac{t - \frac{p}{c}}{\frac{\xi}{2}} \right)^2) \sin(2\pi f_0 (t - \frac{p}{c})), \quad (2)$$

здесь E_{inc} обозначает амплитуду волны, c - имеет значение скорости света, t - время, ξ - равно ширине импульса огибающей для полувысоты, p - показывает координату, вдоль которой распространяется электромагнитная волна, $f_0 = c / \lambda$ - является несущей частотой сигнала.

У падающей волны мы считали, что рассматривается единичная амплитуда, она является плоско-поляризованной, в ней присутствует только φ -компонента электрического поля [10, 11], тогда вектор напряженности будет ортогональным к оси Z .

С тем, чтобы была достигнута высокая точность метода, нами был выбран в пространственной сетке размер, который был равен $\lambda / 30$.

С целью получения универсальных данных о том, какая амплитуда рассеянной волны для дальней зоны, проводился расчет произведения напряженности электрического поля на значение расстояния до плоскости апертуры полой структуры $r \cdot E_{scat}(r, t)$.

Этот параметр имеет размерность электрического потенциала, он не является зависимым от расстояния r , которое удовлетворяет критерию

$$r \gg \frac{2a^2}{\lambda}, r \gg \frac{2b^2}{\lambda}.$$

При моделировании было установлено, что значение амплитуды сигнала, который был отражен в обратную сторону и является кросс-поляризованным была не более, чем 0.28% относительно сигнала, имеющего φ -поляризацию. Когда выполняется условие несинфазного падения, то наблюдается рост амплитуды сигнала, являющегося кросс-поляризованным, до 3% относительно амплитуды сигнала, который имеет основную поляризацию.

Результаты. На Рисунке 2 и Рисунке 3 проведена иллюстрация форм отраженных сигналов и их спектров в случае разных длительностей импульсов $\xi=1.2$ нс, $\xi=0.45$ нс, rE_φ – является эффективным потенциалом амплитуды, относящейся к φ -компоненте рассеянного поля. При уменьшении длины импульса будет заметным образом изменяться спектр отраженного сигнала, если проводить его сравнение с гауссовым.

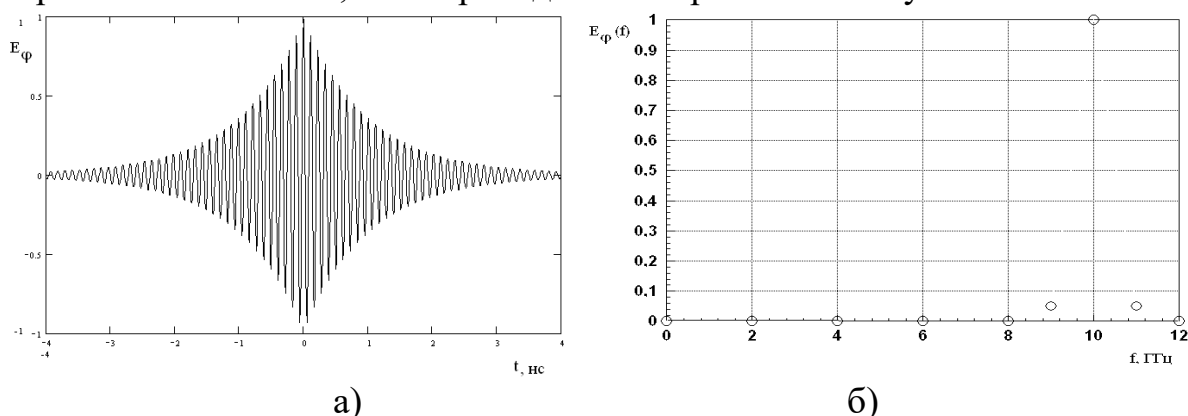


Рисунок 2 – Демонстрация отраженного сигнала и его спектра ($\xi=1.2$ нс)

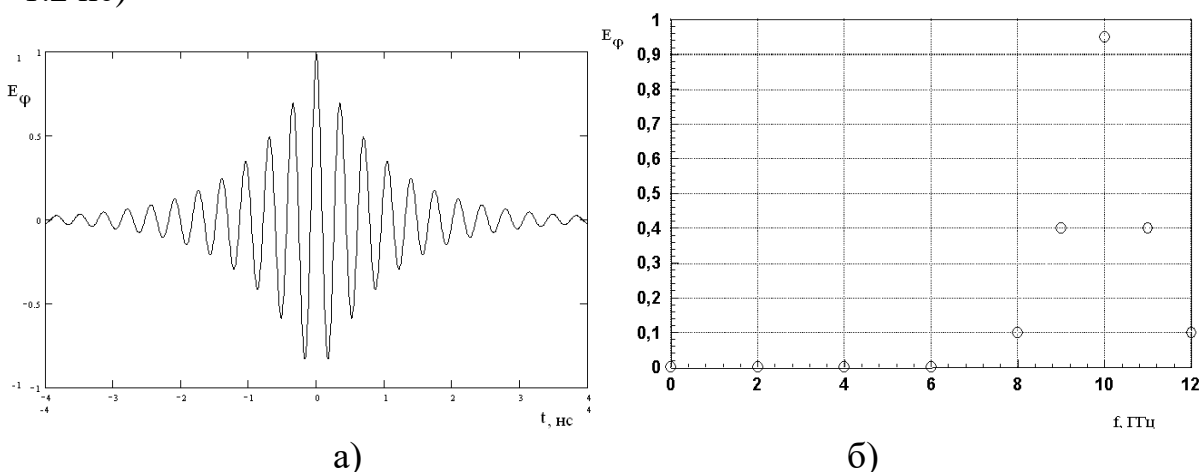


Рисунок 3 – Демонстрация отраженного сигнала и его спектра ($\xi=0.45$ нс)

На Рисунке 4 приведена зависимость ЭПР полой структуры от длины импульса. Если провести расчет ЭПР полой структуры на основе теоретической формулы, то значение будет равно 71 м^2 .

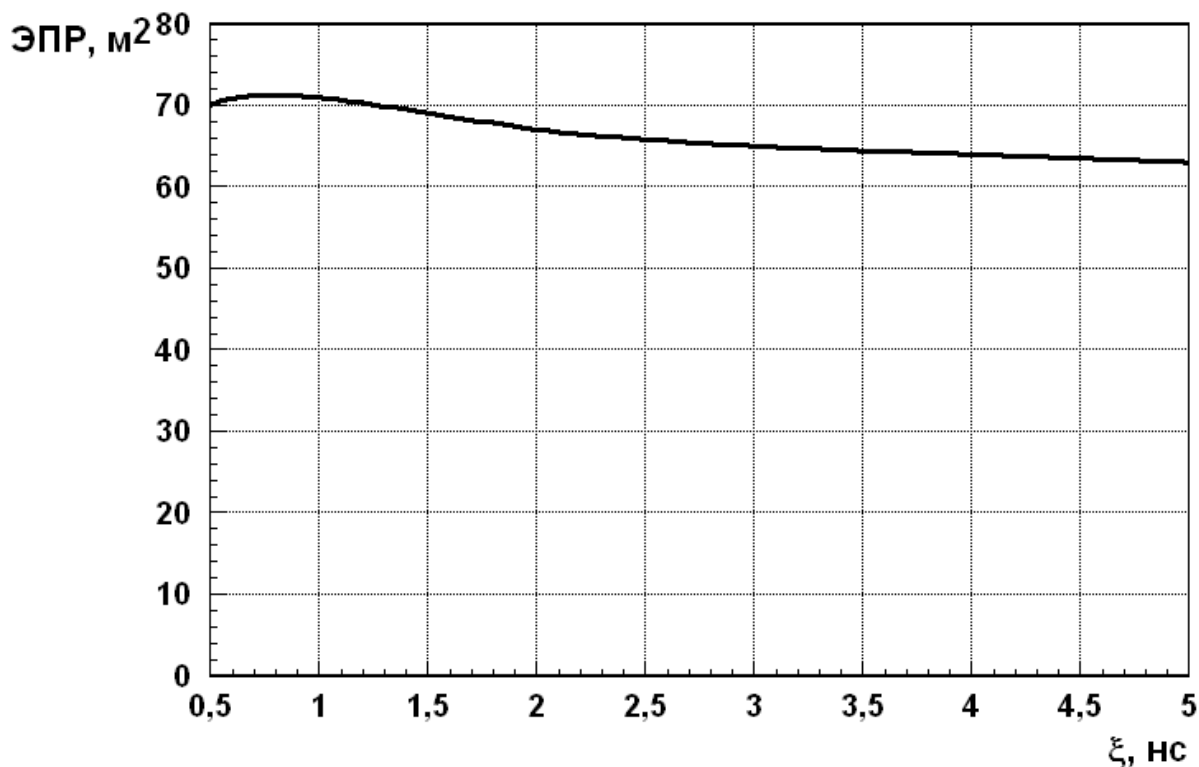


Рисунок 4 – Зависимость расчетной ЭПР от длины импульса

Вывод. Исходя из проведенных исследований мы можем сделать выводы, что при проведении измерений ЭПР объектов, содержащих в своем составе полые структуры, при облучении их сигналами с наносекундной длительностью при довольно высокой точности можно опираться на расчетные теоретические данные (в случае бесконечно длинных импульсов) по полым структурам, которые применяются, как эталонные элементарные отражатели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский А.П. Оценка возможностей комбинированной методики для расчета ЭПР двумерных идеально проводящих полостей / А.П. Преображенский // Телекоммуникации. 2003. № 11. С. 37-40.
2. Преображенский А.П. Оценка возможности расчета радиолокационных характеристик полостей на основе модального метода / А.П.Преображенский, Н.П.Ярославцев // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 7-9.
3. Преображенский А.П. Исследование характеристик рассеяния электромагнитных волн для полой структуры в объекте /

- А.П.Преображенский, О.Н.Чопоров, К.В.Кайдакова // В мире научных открытий. 2015. № 4.1 (64). С. 548-553.
4. Преображенский А.П. Сравнительный анализ методов расчета характеристик рассеяния полой структуры с нагрузкой / А.П. Преображенский, О.Н.Чопоров, К.В. Кайдакова // В мире научных открытий. 2015. № 4.1 (64). С. 553-558.
 5. Алимбеков А.Р. Методы определения рассеивающих свойств объектов / А.Р.Алимбеков, Е.А.Авдеенко, В.В. Шевелев // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 1(20). С. 22-24.
 6. Агафонов А.М. Моделирование распространения электромагнитных волн на основе лучевых методов / А.М.Агафонов, О.А.Кравцова, Н.В.Кравцова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 3(18). С. 29-32.
 7. Мурашкин Н.В. Моделирование рассеяния электромагнитных волн на сложном объекте / Н.В.Мурашкин, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 3(18). С. 66-68.
 8. Kane Yee Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media / Yee Kane // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1966, vol.14 № 3, pp.302-307.
 9. Jurgens T. G. Finite-difference time-domain modeling of curved surfaces / T. G. Jurgens, A. Taflove, K. Umashankar, and T. G. Moore // IEEE Trans. Antennas Propag., 1992, vol.40 № 4, pp. 357 - 366.
 10. Lvovich I. The possibilities of calculation the scattering characteristics on parallel approach / I. Lvovich, E. Ružický, O. Choporov // В сборнике: Current Issues of Science and Research in the Global World - Proceedings of the International Conference on Current Issues of Science and Research in the Global World 2015. С. 277-280.
 11. Львович И.Я. Построение комбинированного алгоритма оценки характеристик распространения волн в помещениях / И.Я.Львович, О.Н.Чопоров // Решение. 2015. Т. 2. С. 231-233.

V. V. Kostyuchenko, N.A.Ankina

THE SIMULATION OF THE SCATTERING OF PULSES OF RADIO WAVES ON HOLLOW STRUCTURE

*Radio engineering Corporation "VEGA"
Russian new University*

On the basis of the method, allowing a numerical solution of the full system of Maxwell's equations, carried out the study of the scattering of a pulse with nanosecond duration of the three-dimensional hollow structure of rectangular cross-section. The calculation of the shapes of the reflected signals for different ratios between the spatial lengths of the pulses and the size of the diffraction structure. It was demonstrated that the

value of the effective area of the scattering hollow structures with sizes close to the spatial length of the radar pulse, will be about the same as in the case of scattering long (monochromatic) pulses.

Keywords: momentum, scattering, hollow structure, Maxwell equations, finite difference method in the time domain.

REFERENCES

1. Preobrazhenskij A.P. Ocenka vozmozhnostej kombinirovannoj metodiki dlja rascheta JePR dvumernyh ideal'no provodjashhih polostej / A.P. Preobrazhenskij // Telekommunikacii. 2003. No. 11. pp. 37-40.
2. Preobrazhenskij A.P. Ocenka vozmozhnosti rascheta radiolokacionnyh harakteristik polostej na osnove modal'nogo metoda / A.P.Preobrazhenskij, N.P.Jaroslavcev // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2005. Vol. 1. No. 8. pp. 7-9.
3. Preobrazhenskij A.P. Issledovanie harakteristik rassejanija jelektromagnitnyh voln dlja poloj struktury v ob#ekte / A.P.Preobrazhenskij, O.N.Choporov, K.V.Kajdakova // V mire nauchnyh otkrytij. 2015. No. 4.1 (64). pp. 548-553.
4. Preobrazhenskij A.P. Sravnitel'nyj analiz metodov rascheta harakteristik rassejanija poloj struktury s nagruzkoj / A.P. Preobrazhenskij, O.N.Choporov, K.V. Kajdakova // V mire nauchnyh otkrytij. 2015. No. 4.1 (64). pp. 553-558.
5. Kane Yee Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media / Yee Kane // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1966, vol.14 No. 3, pp.302-307.
6. Jurgens T. G. Finite-difference time-domain modeling of curved surfaces / T. G. Jurgens, A. Taflove, K. Umashankar, and T. G. Moore // IEEE Trans. Antennas Propag., 1992, vol.40 No. 4, pp. 357 - 366.