

УДК 621.396

**Верификация моделирования дипольного рассеивателя в системе TALGAT**Т.Ф. Данг, А.Ф. Алхадж Хасан

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Т.Р. Газизов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: dang.p.2213-2023@e.tusur.ru

**Verification of dipole scatterer modeling in the TALGAT system**T.P. Dang, A.F. Alhaj Hasan

Scientific Supervisor: Prof., PhD T.R. Gazizov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,

Lenin str., 40, 634050

E-mail: dang.p.2213-2023@e.tusur.ru

**Abstract.** *In this study, the results of modeling a dipole scatterer in TALGAT system using the method of moment with pulse basis functions are compared with those using other basic functions. The results of the current distribution along dipoles with different length and their radar cross section at different incidence angles of the excited plane wave are obtained. The results showed a good agreement.*

**Key words:** *dipole scatterer, method of moment, radar cross section, scattering, TALGAT.*

**Введение**

Исследования проводных структур рассеивателей ведутся с 1950-х годов. Со временем типы таких структур усложнились, и их анализ требует значительного объема компьютерной памяти и времени вычисления. Для такого анализа используются различные вычислительные методы, такие как конечных элементов, конечных разностей во временной области, сопряженных градиентов и т.д. Однако одним из часто используемых методов является метод моментов (МоМ) [1]. Это обусловлено простотой его алгоритма и способностью давать достаточно точные результаты при относительно небольших вычислительных затратах. При анализе проводных рассеивающих структур МоМ использует различные базисные функции, такие как треугольные или синусоидальные [2]. Недостатком их использования является усложнение процесса сегментации сложных проводных структур, особенно если они включают большое количество электрических соединений (пересечений) проводов и проводов со свободными концами [3]. Между тем использование ступенчатых базисных функций с МоМ может избавить от этих недостатков. Целью данной работы является верификация моделирования дипольного рассеивателя в системе TALGAT посредством метода моментов с ступенчатыми базисными функциями путем сравнения с результатами, полученными с другими функциями.

**Исследуемая структура**

Для достижения цели работы выбраны дипольные рассеиватели длиной  $L$  и радиусом  $a$  (при  $L \gg a$ ) (Рис. 1) с различными размерами: с  $L/\lambda = 1,5$  и  $2$  из работы [4] и  $L/\lambda = 4,065$  и  $0,75$  из работы [5]. Для расчета их характеристик использовался МоМ со ступенчатыми базисными функциями. Известно, что длина сегментов ( $S_i$ ) должна удовлетворять условию  $\lambda/10000 < S_i < \lambda/10$  и увеличение их числа повышает точность расчета, но в то же время увеличивает требуемый объем памяти компьютера и время вычислений. Поэтому при моделировании с помощью МоМ необходимо правильно и тщательно настроить эти параметры. В качестве возбуждения использовалась падающая плоская волна амплитудой  $1$  В/м с различными углами падения. Вычислены распределение тока в проводах структуры и ее эффективная площадь рассеяния (ЭПР).

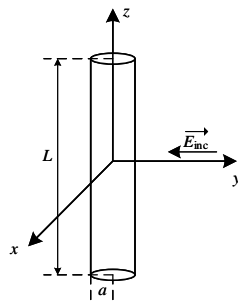


Рис. 1. Дипольный рассеиватель длиной  $L$  и радиусом  $a$

### Результаты

Зависимости модуля и фаза тока от координаты вдоль рассеивателя при углах падения возбуждающей волны  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $90^\circ$  для рассеивателя радиусом  $a = L/148,4$  и длиной  $L = 1,5\lambda$  из работы [4] представлены на рис. 2, а  $L = 2\lambda$  – на рис. 3. Результаты, полученные с помощью треугольных базисных функций (32 сегмента) в работе [4], отмечены на графиках красным цветом, с 30 ступенчатыми базисными функциями – синим цветом, с 60 – черным цветом. Видно, что результаты хорошо согласуются между собой и расхождение уменьшается с увеличением количества сегментов. На рис. 4 показаны сечения ЭПР при различных углах падения возбуждающей волны. Результаты, полученные с помощью треугольных базисных функций (32 сегмента) в работе [4], отмечены на графиках черным цветом, а с 60 ступенчатыми базисными функциями – красным цветом. Цена деления  $0,5\sigma/\lambda^2$ .

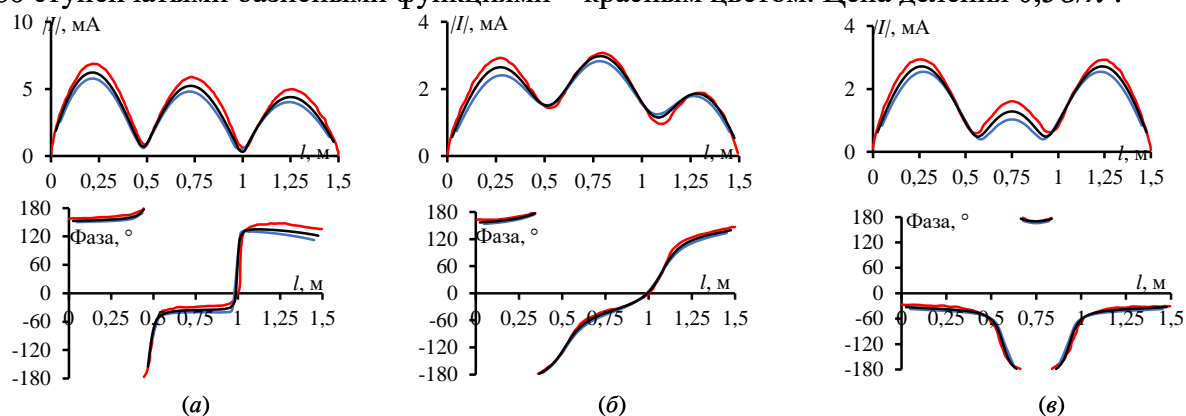


Рис. 2. Зависимости модуля и фазы тока от координаты вдоль рассеивателя при углах падения возбуждающей волны  $30^\circ$  (а),  $60^\circ$  (б),  $90^\circ$  (в) при  $L = 1,5\lambda$  [4]

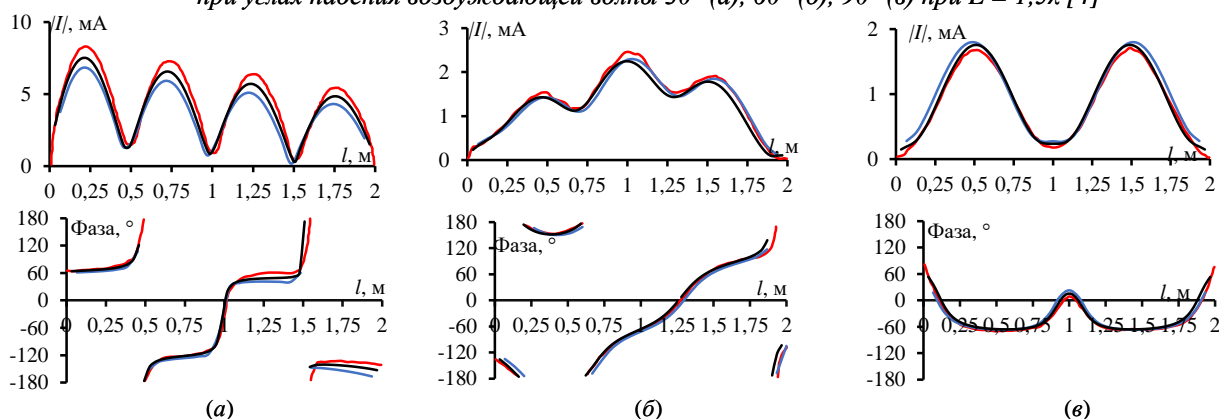


Рис. 3. Зависимости модуля и фазы тока от координаты вдоль рассеивателя при углах падения возбуждающей волны  $30^\circ$  (а),  $60^\circ$  (б),  $90^\circ$  (в) при  $L = 2\lambda$  [4]

Очевидно, что углы главных лепестков рассеивающего поля равны углу падения, но направлены в противоположную сторону от перпендикуляра к поверхности расположения

диполя, что соответствует теории зеркальной дифракции. В результате использования МоМ со ступенчатыми базисными функциями полученные ЭПР согласуются с ЭПР из [4].

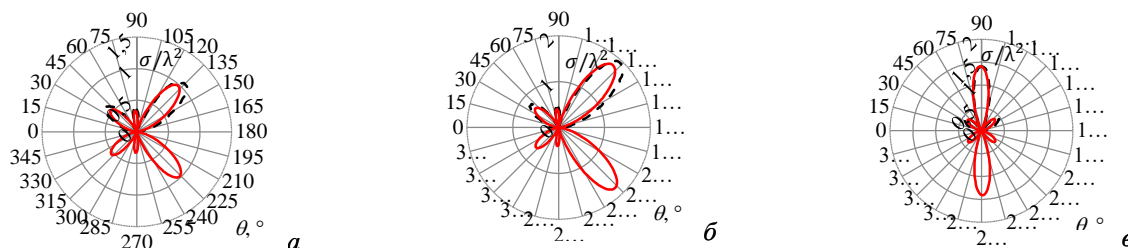


Рис. 4. ЭПР от дипольного рассеивателя длиной  $L=1.5\lambda$  [4] при углах падения возбуждающей волны  $30^\circ$  (а),  $60^\circ$  (б),  $90^\circ$  (в)

На рис. 5 показаны сечения ЭПР при разных углах падения возбуждающей волны и разных длинах диполя. Результаты, полученные с помощью МоМ с 60 импульсными базисными функциями, отмечены на графике сплошными линиями, а из работы [5] – пунктирными. Они хорошо согласуются. Заметно также, что в случае  $L/\lambda = 0,75$  рассеянное поле более изотропно, чем при  $L/\lambda = 4,065$ , и ЭПР имеет большую амплитуду при увеличении  $L$ .

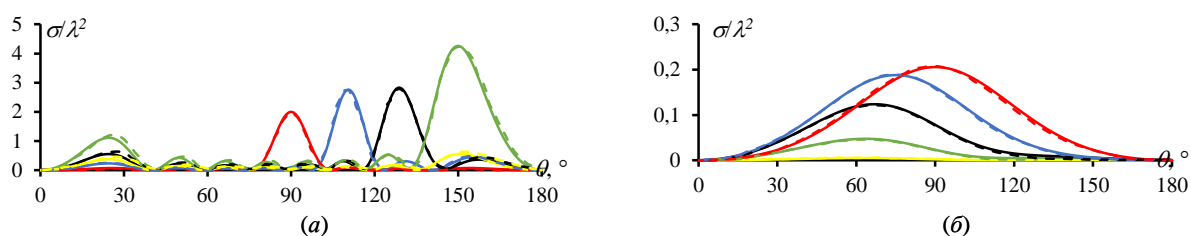


Рис. 5. ЭПР диполя при  $L=4,065\lambda$  и  $L/a=2856$  (а) и при  $L=0,75\lambda$  и  $L/a=150$  (б)

при углах падения возбуждающей волны:  $10^\circ$  – жёлтый,  $30^\circ$  – зелёный,  $50^\circ$  – чёрный,  $70^\circ$  – синий,  $90^\circ$  – красный

### Заключение

Верифицированы результаты моделирования дипольного рассеивателя, используя МоМ со ступенчатыми базисными функциями. Сравнены распределения тока в проводах диполей разной длины и ЭПР от них с полученными другими базисными функциями из литературы. Сравнимые результаты имеют небольшое расхождение (например, меньше амплитуды тока), однако использование ступенчатых базисных функций проще в реализации и дает более точные результаты при увеличении количества сегментов. Планируется использовать эти базисные функции для анализа более сложных рассеивателей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2023-0014.

### Список литературы

1. Харрингтон Р.Ф. Применение матричных методов к задачам теории поля // Труды института инженеров по электронике и радиотехнике. – 1967. – № 2. – С. 5–19.
2. Strait B. Computer programs for EMC based on the method of moments // Technical Report, RADC-TR-80-93, Rome Air Development Center, Griffiss AFB. – New York, 1980. – Vol. 11.
3. Chao H., Strait B., Taylor C. Radiation and scattering by configurations of bent wires with junctions // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1971. – Vol. 19, № 5. – P. 701-702.
4. Harrington R., Mautz J. Straight wires with arbitrary excitation and loading // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1967. – Vol. 15, № 4. – P. 502-515.
5. Dedrick K., Hessing A. Bistatic radar scattering by randomly oriented wires // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1967. – Vol. 40, № 7. – P. 420-426.