

*М. Т. Нгуен, А. Ф. Алхадж Хасан*

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ TALGAT ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАТЧ АНТЕННЫ ПРОВОДНОЙ СЕТКОЙ

**Аннотация.** Выполнена верификация результатов моделирования патч антенны проводной сеткой в TALGAT. Рассмотрены распределение тока по проводам сетки и разные характеристики антенны. Результаты TALGAT сравнивались в диапазоне частот с полученными измерением и различными системами автоматизированного проектирования. Доказана возможность использования TALGAT для эффективного моделирования патч антенн проводной сеткой.

**Ключевые слова:** метод моментов, проводная сетка, скрытая антенна, система автоматизированного проектирования, патч-антенна, 3D-печать.

### I. Введение

В настоящее время расширение инфраструктуры технологии 5G занимает важное место в обеспечении высокоскоростных и надежных беспроводных сетей. Однако установка традиционных антенн часто вызывает эстетические проблемы в городском ландшафте. Одним из эффективных решений данной проблемы является разработка скрытых антенн из проводной сетки (ПС) [1]. Для создания антенн такого типа обычно используется проводная сетка вместо сплошной металлической поверхности. Полученные ПС-структуры имеют меньшую массу и при этом сохраняют все необходимые характеристики антенны. Кроме того, благодаря возможности их легкого конструирования, они могут устанавливаться на зданиях, фонарных столбах и даже рекламных стендах без ущерба для общего ландшафта, создавая тем самым более современную и экологичную среду.

Моделирование антенн, используя системы автоматизированного проектирования (САПР), необходимо, чтобы проектируемая конструкция соответствовала техническим требованиям, гармонично вписалась в городскую среду без ущерба для эстетики и занимала небольшое пространство. САПР позволяет моделировать антенны с высокой точностью, что способствует адекватной оценке характеристик и эффективности работы антенны в реальных условиях. Есть много известных САПР для моделирования антенн, например, CST [2] и 4NEC2 [3]. Между тем система TALGAT [4], основанная на методе моментов показала свою способность моделирования различных антенн ПС, но ранее не использовалась при моделировании патч антенн с диэлектрическим заполнением. Однако можно попробовать её использовать сначала при моделировании патч антенн с воздушным диэлектрическим заполнением. Поэтому целью данной работы является верификация результатов моделирования скрытой патч антенны с воздушным диэлектрическим заполнением ПС в TALGAT путем их сравнения с полученными измерением и различными САПР.

### II. Результаты и их анализ

Для достижения цели данной работы выбрана скрытая патч-антенна из ПС [5]. Она предназначена для работы на частоте 2,6 ГГц ( $\lambda=115,4$  мм) применительно к сетям 5G. Антенна состоит из двух основных частей: сетка патча и сетка плоскости заземления. Их изометрический вид представлен на рис. 1, а их основные геометрические параметры сведены в таблицу 1. Сетка патча и сетка плоскости заземления размещены в плоскости OXY на расстоянии вдоль OZ  $h=3$  мм друг от друга и закреплены диэлектрическими опорами,

обеспечивающими механическую поддержку конструкции. Для обеспечения экранирования электромагнитного поля, антенны из ПС должны иметь размер ячейки сетки в 10–20 раз меньше рабочей длины волны  $\lambda$  [6]. Поэтому сетка плоскости заземления разделена на 6 частей вдоль оси OX и 7 частей вдоль оси OY, что соответствует размерам  $0,09\lambda \times 0,08\lambda$ .

Для моделирования в TALGAT и 4NEC2 радиус провода  $R_w$  принят равным половине толщины металлической сетки  $t$  и равен 0,5 мм. Для возбуждения антенны провод с разностью потенциалов 1 В размещается вдоль оси OZ и непосредственно соединяет сетку патча с сеткой заземления в точке возбуждения. Он имеет длину  $h$  и радиус  $r_s=0,46$  мм. Провод возбуждения и все провода сетки представлены одним сегментом. Моделирование антенны в CST подробно описано в [5]. Она моделировалась с различной проводимостью  $\sigma$  и шероховатостью  $R_q$ , например, с  $\sigma=6,3e^7$  См/м и  $R_q=0$  мкм (результаты обозначены CST-1), с  $\sigma=5e^5$  См/м и  $R_q=0$  мкм (CST-2) и с  $\sigma=5e^4$  См/м и  $R_q=10$  мкм (CST-3).

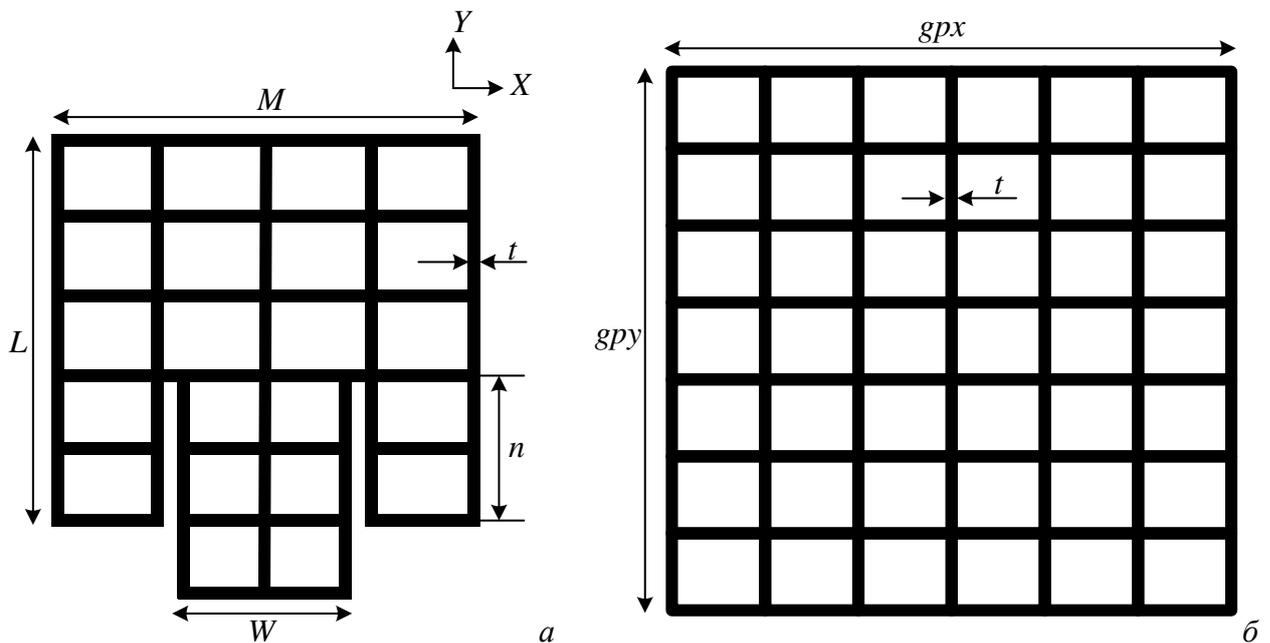


Рис. 1. ПС патча (а) и плоскости заземления (б)

Таблица 1

**Геометрические параметры скрытой ПС антенны**

$L$ , мм	$M$ , мм	$W$ , мм	$n$ , мм	$t$ , мм	$gpx$ , мм	$gpy$ , мм
46,2	46,2	15,6	16,3	1	64,4	64,4

Распределения тока в ПС, полученные в CST, TALGAT и 4NEC2, показаны на рис. 2. Видно, что они симметричны вдоль оси OY и мало отличаются друг от друга. Оценивались максимальный коэффициент усиления ( $KU_{\text{макс}}$ ) с учетом потерь на рассогласование  $(1-|S_{11}|^2)$  и коэффициент отражения ( $|S_{11}|$ ), полученные в каждой САПР, и сравнивались между собой и с результатами измерений для изготовленной патч-антенны в диапазоне частот 2–3 ГГц (рис. 3 и 4).

Из рис. 3 можно заметить, что полученные результаты для CST-1 и CST-2 демонстрируют рабочую частоту, центрированную на 2,6 ГГц. Результаты измерения и моделирования антенны в TALGAT близки и дают резонанс (на частоте 2,64 ГГц) с небольшим расхождением от рабочей частоты. В 4NEC2 резонанс оказался на частоте 2,34 ГГц и имеет наибольшее расхождение с результатами измерений. Результаты

моделирования  $KU_{\text{макс}}$  приемлемы, а их расхождение с измеренными, объясняется отличием модели антенны, изготовленной по технологии 3D-печати, от созданной моделированием.

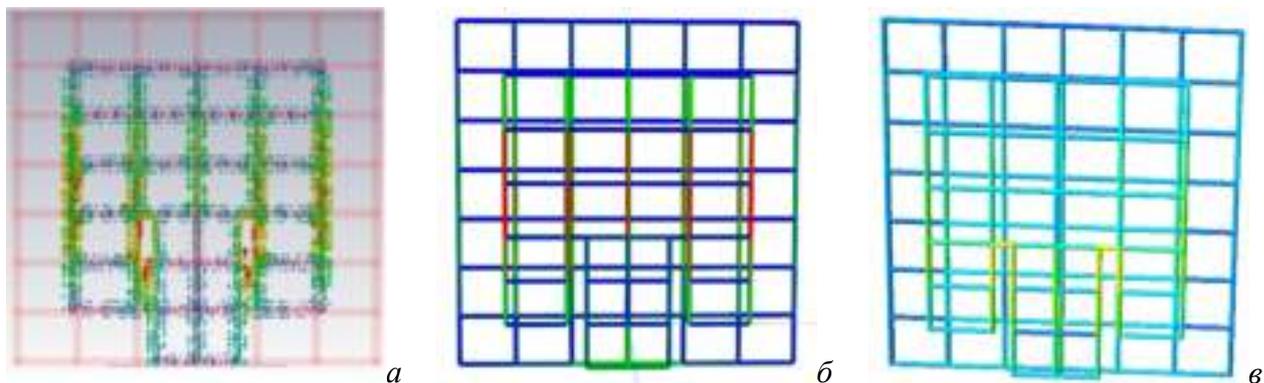


Рис. 2. Распределения тока в ПС, полученные в CST [5] (а), TALGAT (б) и 4NEC2 (в)

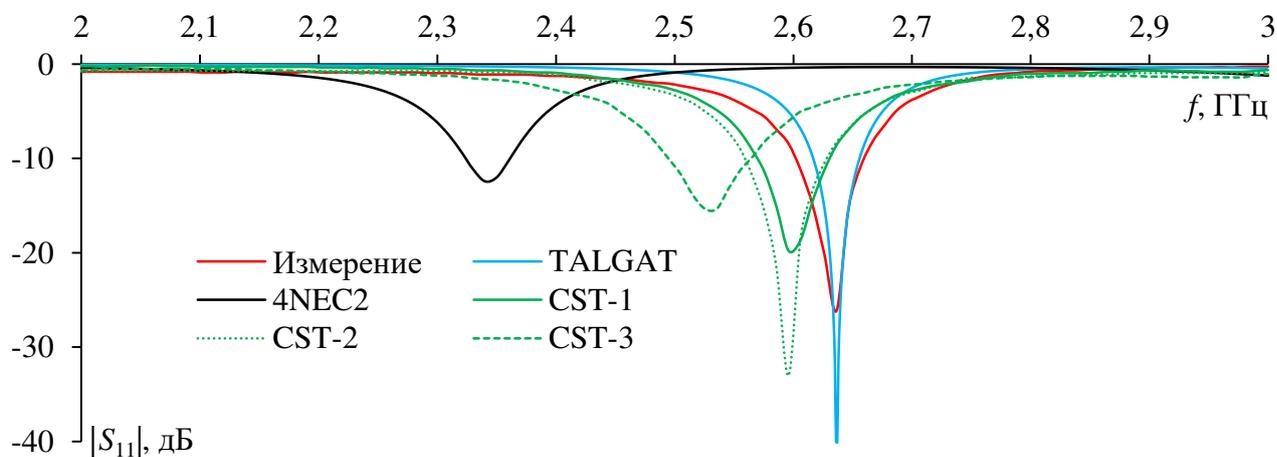


Рис. 3. Частотные зависимости  $|S_{11}|$  антенны, полученные измерением [5] и моделированием в CST [5], TALGAT и 4NEC2

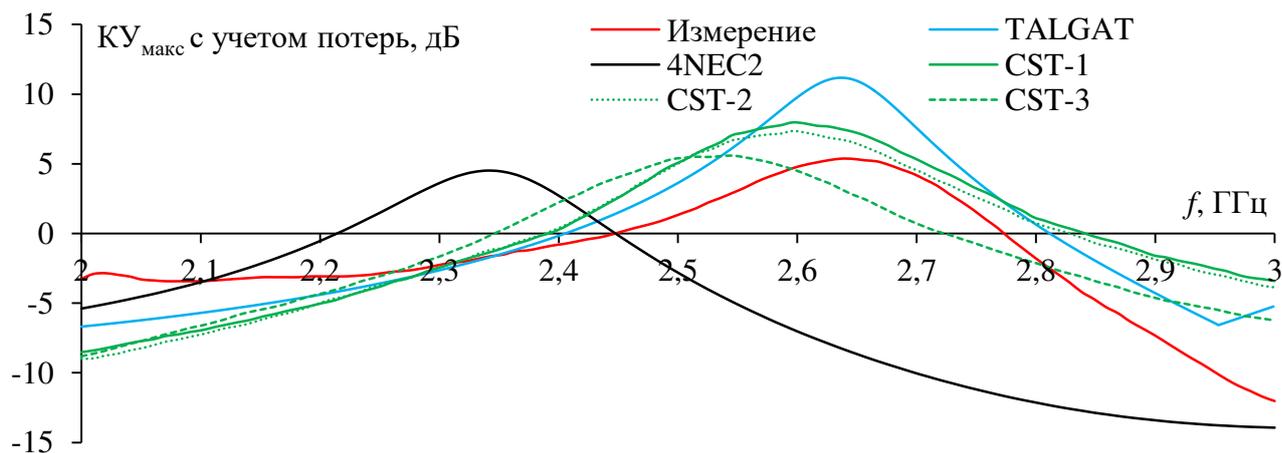


Рис. 4. Частотные зависимости  $KU_{\text{макс}}$  антенны с учетом потерь на рассогласование, полученные измерением [5] и моделированием в CST [5], TALGAT и 4NEC2

В табл. 2 сравнены характеристики антенны, полученные из рис. 3 и 4. Результаты TALGAT согласуются с полученными измерением и моделированием CST-1 с приемлемым расхождением.

Сравнение характеристик антенны

Источник данных	Сдвиг резонансной частоты, МГц	$ S_{11} $ на резонансной частоте, дБ	На частоте 2,6 ГГц			
			$ S_{11} $ , дБ	$\Delta S_{11} $ , дБ	$KU_{\text{макс}}$ , дБ	$\Delta KU_{\text{макс}}$ , дБ
TALGAT	–	– 40,10	– 5,69	–	9,78	–
Измерение [5]	<b>1</b>	– 26,16	– 11,21	<b>5,52</b>	4,92	<b>4,86</b>
4NEC2	297	– 12,42	– 0,38	– 5,31	– 7,03	16,80
CST-1 [5]	<b>41</b>	– 19,80	– 18,66	<b>12,96</b>	7,9	<b>1,87</b>
CST-2 [5]	41	– 33,04	– 18,38	12,69	7,25	2,53
CST-3 [5]	102	– 15,36	– 5,03	– 0,67	4,03	5,48

### III. Заключение

Верифицированы результаты моделирования антенны из ПС в TALGAT путем их сравнения с полученными измерениями и различными САПР. Выполнен сравнительный анализ результатов в диапазоне частот. Доказана возможность использования САПР TALGAT для эффективного моделирования антенн из ПС.

Научный руководитель: Тальгат Рашитович Газизов, профессор, д.т.н., Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2023-0014.

### Библиографический список

1. Gazizov T. R., Alhaj Hasan A. F., Nguyen M. T. A simple modeling methodology for creating hidden antennas // 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 15–19 May 2023. Sochi (Russia), P. 1080–1084. DOI:10.1109/ICIEAM57311.2023.10139026.
2. CST Studio Suite. URL: <https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/simulia/produkty/cst-studio-suite/> (дата обращения: 15.03.2024).
3. NEC based antenna modeler and optimizer. URL: <https://www.qsl.net/4nec2/> (дата обращения: 15.03.2024).
4. Куксенко С. П., Газизов Т. Р., Квасников А. А. [и др.]. Разработка программного обеспечения для моделирования радиоэлектронных средств с учетом электромагнитной совместимости в ТУСУРе // Наноиндустрия. 2023. Т. 16, № S9–1(119). С. 170–178. DOI:10.22184/1993-8578.2023.16.9s.170.178.
5. Inclán-Sánchez L. Performance evaluation of a low-cost semitransparent 3D-printed mesh patch antenna for urban communication applications // Electronics. 2024. Vol. 13, no. 1. P. 153. DOI:10.3390/electronics13010153
6. Kang S. H., Jung C. W. Transparent patch antenna using metal mesh // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2018. Vol. 66, no. 4. P. 2095–2100. DOI:10.1109/TAP.2018.2804622

Дата поступления статьи: 30.03.2024

Дата одобрения после рецензирования: 05.04.2024

Дата принятия к публикации:

© М. Т. Нгуен, А. Ф. Алхадж Хасан, 2024