

3. Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metanit.com/python/tutorial/>, свободный (дата обращения: 15.02.2024).

4. Python and Tkinter Programming [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://electrovolt.ir/wp-content/uploads/2017/07/Python\\_And\\_Tkinter\\_Programming\\_ElectroVolt.ir\\_.pdf](https://electrovolt.ir/wp-content/uploads/2017/07/Python_And_Tkinter_Programming_ElectroVolt.ir_.pdf), свободный (дата обращения: 01.02.2024).

5. Алхадж Хасан А.Ф. Модель и методики для оценки уровня электромагнитного излучения печатных плат с модальным резервированием и антенн с аппроксимацией проводной сеткой: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2023. – 214 с.

УДК 621.396, 004.514

## **ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ ПРОВОДНОЙ СЕТКОЙ В СИСТЕМЕ TALGAT**

*М.Т. Нгуен, аспирант каф. ТУ;*

*А.Ф. Алхадж Хасан, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС», к.т.н.*

*Научный руководитель Т.Р. Газизов, зав. каф. ТУ, д.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, [nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru](mailto:nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru)*

Разработан программный модуль с графическим интерфейсом пользователя для моделирования рупорной антенны проводной сеткой в системе TALGAT. Данный модуль позволяет задать размеры рупорной антенны, количество элементов проводной сетки, а также источник возбуждения. Кроме того, модуль позволяет выбрать различные методы численного интегрирования и рассчитать основные характеристики антенны на одной или в диапазоне частот. Показана работоспособность модуля.

**Ключевые слова:** метод моментов, рупорная антенна, проводная сетка, Python, TALGAT, программный модуль, графический интерфейс пользователя.

Моделирование антенн позволяет инженерам и специалистам лучше определить производительность, характеристики и эффективность антенн в различных условиях без необходимости создания реальных прототипов. Благодаря этому достигаются уменьшение времени и затрат на разработку изделий, а также повышение гибкости и адаптации процесса проектирования.

В настоящее время одной из известных отечественных программ для моделирования является система TALGAT [1]. Она предназначена для компьютерного моделирования различных электромагнитных задач, в том числе и моделирования антенн на основе метода моментов (МоМ). В частности, используется подход к аппроксимации проводящей поверхности антенны с помощью проводной сетки (ПС) из-за его

способности моделировать различные типы антенн и точности расчета их характеристик [2]. Однако работа с этим подходом в системе TALGAT требует знания языков программирования Python и TALGAT\_Script. Это усложняет задачи пользователей при моделировании антенн в широком диапазоне параметров. Поэтому основной целью данной работы является разработка программного модуля с интуитивно понятным графическим интерфейсом пользователя (ГИП) для упрощения процесса моделирования рупорной антенны с ПС в системе TALGAT. Он позволяет задавать размеры рупорной антенны, количество элементов проводной сетки, а также источник возбуждения. Кроме того, модуль позволяет выбрать различные методы численного интегрирования для вычисления матрицы импедансов и рассчитать основные характеристики антенны на определенной частоте или в диапазоне частот.

Для создания ГИП выбран язык программирования Python. Он является языком высокого уровня и поддерживает много библиотек, позволяющих быстрее и проще создавать графические интерфейсы [3]. Основные библиотеки языка программирования Python, такие как Tkinter, Matplotlib и Openpyxl, использованы в данной работе. Библиотека Tkinter – одна из самых популярных и используемых для создания ГИП. Она предоставляет такие компоненты, как окна, кнопки, текстовые поля и другие инструменты для создания ГИП. Matplotlib – графическая библиотека, используемая для создания различных графиков и визуализаций данных. Openpyxl – библиотека, позволяющая пользователям легко работать с файлами Excel (.xlsx). Она позволяет читать, записывать и редактировать данные в файлах Excel, а также создавать и манипулировать электронными таблицами и ячейками данных.

Кроме того, для наследования команд вычислений в системе TALGAT использованы библиотеки UTIL, MATRIX, MOMW, MOM2D, RESPONSE и GRAPH. Программный модуль построен в соответствии с модульной структурой для удобства управления и регулировки. Он состоит из модулей: настройки параметров антенны, расчета и отображения и сохранения результатов. Каждый модуль состоит из подмодулей, выполняющих различные функции и задачи. Главный ГИП программного модуля построен и представлен на рис. 1. Для упрощения настройки параметров, а также расчета характеристик антенны ГИП создан в одном окне.

Основными геометрическими параметрами рупорной антенны являются длина ( $a_1$ ), ширина ( $b_1$ ) и высота ( $l_1$ ) регулярной части и длина ( $a_2$ ), ширина ( $b_2$ ) и высота ( $l_2$ ) нерегулярных частей.

Geometry Builder: Horn antenna

### Horn

**Geometric parameters**

$a_1, m_1$ : 8.35e-3    $b_1, m_1$ : 3.05e-3    $l_1, m_1$ : 4.32e-3  
 $a_2, m_2$ : 2.2e-3    $b_2, m_2$ : 1.715e-3    $l_2, m_2$ : 1.325e-3

**Frequency, Hz**

Only on center frequency: 28e+9  
 In the frequency range: first: 18e+9   end: 38e+9   step: 2e+9

### Grid Setting

**Regular:**  $Wx$ : 7    $Wy$ : 6    $Wz$ : 10  
**Irregular:**  $Hx$ : 7    $Hy$ : 6    $Hz$ : 10  
**Source:**  $Ls$ : 2.15e-3    $Zs$ : 5  
**Wire:**  $Rw$ : 2e-4    $Rb$ : 2e-4    $Round$ : 10

### Set Segmentation Structure

Manual Number segment: 1  
 Auto On Wave: 10   Minimal: 1

**Excitation**  
 Edit Voltage  
 Excitation  
 Excitation subsection  
 Number segment: 5   Excitation on: first  
 Excitation fixed   Fixed number: 5e-5

### The method of numerical integration

PIA126\_127   PIA129\_135   PIWener   PIUedd   PIBode   PINewtonCotes

Save data   Calculate   Show Plot

Total wire: 1139 wire

Time calculate and save data: 3.87/s

### Draw Structure

transparent   real size

Draw Currents   Start theta: 0   N theta: 360   Step theta: 1  
 transparent   Real Size   Far zone radius: 1

### Draw DN

by\_teta   by\_fi   by\_sum

G   GdB   EFarZone   EdB

Start theta: 0   N theta: 360   Step theta: 1

### Antenna characteristics after calculation

f, GHz	G, dB	VSWR	S11, dB	Impedance	Z , Ohm	Admittance, ABS	reflection_ratio, dB	TPR	MAX_Current	MAX_Current_noc.	Current_Source
20.0	14.30174	1.28825	-17.9468	(5.1575407249079-33.50395	0.01689	0.12597	0.98413	0.01689	0.01789	0.01789	0.01689
18.0	11.5043	15.6895	-1.11012	(7.15164893309895-55.91138	0.01789	0.88002	0.22556	0.01789	0.00949	0.00949	0.01789
20.0	12.34061	3.98406	-4.44531	(17.81205980072026-35.6617	0.02804	0.39872	0.64153	0.02804	0.01536	0.01536	0.02804
22.0	13.05456	1.88993	-10.25773	(37.67400870670695-45.55766	0.02195	0.30698	0.90576	0.02195	0.01215	0.01215	0.02195

Рис. 1. ГИП программного модуля

Для упрощения восприятия всех этих параметров они вместе с изометрическим видом антенны отображаются на ГИП. Все параметры задаются в метрах. Модуль задания параметров позволяет выбрать расчет характеристики на определенной частоте или в диапазоне частот. При расчете в диапазоне частот нужно задавать начальную (first), конечную (end) частоты и шаг по частоте (step). Модуль позволяет задать количество ячеек сетки, на которые антенна будет разделена по соответствующим координатным осям. Для регулярной части рупора их количество по осям  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  составляет  $Wx$ ,  $Wy$  и  $Wz$  соответственно, а нерегулярной –  $Hx$ ,  $Hу$  и  $Hz$ .

Кроме того, модуль позволяет задать длину ( $Ls$ ), радиус ( $Rs$ ) и положение (в какой части сетки по оси  $OZ$ ) ( $Zs$ ) провода воздействия, а также радиус проводов регулярной ( $Rw$ ) и нерегулярной ( $Rh$ ) частей в сетке. Для обеспечения точности работы можно задать округление полученных результатов (Round). Модуль позволяет выбрать ручную (Manual) или автоматическую в зависимости от длины волны (Auto) сегментацию. Модуль позволяет выбрать источник возбуждения в виде несегментированного провода (Excitation), сегментированного провода с возможностью задания номера сегмента с источником (Excitation subsection) или сегментированного провода при нахождении источника в центральном сегменте (Excitation fixed). При выборе источника возбуждения в виде сегментированного провода нужно задать количество сегментов (Segment number) и положение источника возбуждения в первом (first), центральном (center) или конечном (end) сегменте. Кроме того, можно изменить значение напряжения источника с помощью кнопки Edit Voltage.

Модуль расчета позволяет выбрать метод вычисления интегралов: аналитический быстрый по Харрингтону (PIA126\_127), аналитический уточненный по Харрингтону (PIA129\_135), аналитический по Вернеру (PIWerner), численное интегрирование методом Уэддла (PIUeddl), численное интегрирование методом Бодде (PIBode), численное интегрирование методом Ньютона–Котеса (PINewtonCotes). Модуль позволяет выполнить построение структуры (кнопка Build structure) и отображение в ГИП общего количества используемых проводов. При изменении настройки параметров необходимо нажать на кнопку Build structure для перестроения структуры. Модуль позволяет отобразить созданную структуру ПС рупорной антенны с помощью кнопки Preview. Для сохранения рассчитанных данных необходимо до расчета отметить флажок Save data.

Для расчета характеристики антенны нужно нажать кнопку Calculate. Для проверки работоспособности программного модуля проведен тестовый запуск на примере рупорной антенны из [4]. Про-

цесс вычисления представлен индикатором выполнения и процентом вычисления, что позволяет визуально отслеживать процесс вычисления. После завершения расчета (100%) на экране отображается уведомление об успешном расчете.

В модуле отображения и сохранения данных, если выбрана функция сохранения, необходимо указывать путь к месту сохранения рассчитанных данных. После сохранения на ГИП отображается время расчета и сохранения данных. Основные характеристики антенны, полученные после расчета, также отображаются в таблице на ГИП. Все полученные данные после расчета сохраняются в виде файлов с расширениями (.txt, .xlsx) и располагаются в различных папках для упрощения поиска данных. После расчёта характеристик можно отобразить их частотные зависимости, нажав на кнопку Show Plot. Кроме того, модуль позволяет, отмечая флажки Draw Structure, Draw Currents и Draw DN и нажимая на кнопку Draw, отобразить структуру, распределение токов и диаграмму направленности (ДН) антенны, полученные после расчета.

Таким образом, в данной работе представлен программный модуль с ГИП, предназначенный для моделирования рупорных антенн посредством ПС. Подробно представлены основные возможности данного программного модуля. Дальнейшая работа будет направлена на развитие данного модуля для создания разреженных антенн.

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

## ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка программного обеспечения для моделирования радиоэлектронных средств с учетом электромагнитной совместимости в ТУСУРе / С.П. Куksenko, Т.Р. Газизов, А.А. Квасников, В. Демаков, А.А. Иванов, Д.В. Клюкин, А. Алхадж Хасан, А.Е. Максимов, А.В. Осинцев // Наноиндустрия. – 2023. – Т. 16, № S9–1(119). – С. 170–178. DOI: 10.22184/1993-8578.2023.16.9s.170.178.
2. Alhaj Hasan A. Wire-grid and sparse MoM antennas: Past evolution, present implementation, and future possibilities / A. Alhaj Hasan, M.T. Nguyen, S.P. Kuksenko, T.R. Gazizov // Symmetry. – 2023. – Vol. 15, No. 2. – P. 378. DOI: 10.3390/sym15020378.
3. Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metanit.com/python/tutorial/>, свободный (дата обращения: 15.02.2024).
4. The use of 3D printing technology for manufacturing metal antennas in the 5G/IoT context / D. Helena, A. Ramos, T. Varum, J.N. Matos // Sensors. – 2021. – Vol. 21, No. 10. – P. 3321. DOI: 10.3390/s21103321.