

## МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК МЕТОДОМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

В. В. КИЗИМЕНКО, Н. М. НАУМОВИЧ

Центр 1.6 НИЧ БГУИР  
(г. Минск, Беларусь)

E-mail: kizimenko\_v@mail.ru

**Аннотация.** Приложение предназначено для расчета основных характеристик микрополосковых антенных решеток с помощью метода интегральных уравнений. Разработанное приложение позволяет рассчитать диаграмму направленности, импеданс, коэффициент усиления и направленного действия и- помогает в анализе и оптимизации параметров микрополосковых антенных решеток в режиме реального времени.

**Abstract.** The application is designed to calculate the main characteristics of microstrip antenna arrays using the integral equation method. The developed application allows you to calculate the radiation pattern, impedance, gain and directional action and helps in analyzing and optimizing the parameters of microstrip antenna arrays in real time.

### Введение

Микрополосковые антенны широко используются в системах мобильной, спутниковой связи и радиолокации благодаря их компактным размерам, простоте интеграции с печатными платами и технологичности изготовления. Такие антенны состоят из излучающего проводящего слоя, расположенного на диэлектрической подложке и слоя экрана. Излучатель может иметь различную форму, например, прямоугольную, круглую или даже сложной геометрии, в зависимости от требований к конструкции. Микрополосковые антенные решетки состоят из нескольких отдельных излучателей и обычно используются для улучшения характеристик антенных систем, обеспечивая более высокий коэффициент усиления, направленность и возможность управления лучом.

Моделирование характеристик этих антенных решеток является важным шагом в проектировании антенн. Одним из распространенных подходов к решению электромагнитных задач в теории антенн является метод интегральных уравнений (ИУ), который позволяет анализировать излучение и рассеяние антеннами, особенно при необходимости рассмотрения взаимодействия между несколькими излучателями и окружающей средой [1]. Метод ИЕ особенно полезен для микрополосковых антенн, поскольку он позволяет учитывать влияние материалов подложки, расстояния между излучателями и других факторов, влияющих на производительность антенных решеток [2-3].

В этой статье описаны результаты разработки мобильного Telegram MiniApp приложения с использованием языка Python, которое позволяет моделировать характеристики микрополосковых антенных решеток с использованием метода интегральных уравнений. MiniApp служит интерактивным инструментом, в котором пользователи могут вводить различные параметры, связанные с антенной решеткой, и получать подробную информацию о ее производительности. С помощью этого приложения пользователи могут рассчитывать диаграммы направленности, импеданс, направленность и другие важные характеристики антенной решетки на основе задаваемых входных параметров.

### Микрополосковые антенны и решетки

Микрополосковая антенна состоит из металлической проводящей пластины, диэлектрической подложки и заземляющей плоскости. Излучающая пластина представляет собой тонкий слой металла, вытравливаемый на верхней поверхности диэлектрической подложки. Заземляющая плоскость находится под подложкой. Конструкция антенны разработана для излучения электромагнитных волн при подаче на пластину радиочастотного сигнала. Эффективность антенны зависит от нескольких ключевых факторов, включая размер и форму пластины, диэлектрические свойства подложки и рабочую частоту.

Одним из основных преимуществ микрополосковых антенн является их низкий профиль, что делает их пригодными для интеграции в компактные устройства, такие как мобильные телефоны, и спутниковые системы. Микрополосковые решетки, которые состоят из нескольких отдельных микрополосковых антенн, расположенных в узлах сетки, могут обеспечить улучшенную производительность по сравнению с одноэлементными антеннами. Расположение элементов, расстояние между ними и размер отдельных элементов влияют на диаграмму направленности решетки, усиление и направленность.

Для нахождения основных характеристик микрополосковых антенных решеток может применяться Метод интегральных уравнений (ИУ) — численный метод, используемый для решения уравнений Максвелла

для задач антенн. Этот метод представляет электромагнитные поля в виде интегралов по поверхности антенны, которые можно решить численно. Для микрополосковых антенных решеток метод ИУ помогает моделировать взаимодействие между различными излучателями, учитывать связь между элементами и анализировать общую производительность решеток.

### Разработка мобильного приложения

Целью разработки приложения явилось создание интуитивно понятного интерфейса для пользователей для моделирования микрополосковых антенных решеток путем ввода набора основных параметров. Эти параметры могут включать:

- Размер отдельных микрополосковых излучателей - пользователи смогут указать размеры (длину и ширину) прямоугольных излучающих элементов.
- Количество излучателей в направлениях X и Y - приложение позволит пользователям указать, сколько элементов находится в решетке вдоль осей X и Y, что влияет на общий размер и конфигурацию решетки;
- Расстояние между излучателями - пользователь может установить расстояние между соседними элементами в решетке. Расстояние влияет на связь между элементами и, следовательно, на общую диаграмму направленности и характеристики импеданса решетки;
- Параметры подложки: диэлектрические свойства материала подложки, включая ее относительную диэлектрическую проницаемость (диэлектрическую постоянную). Толщина подложки является еще одним важным параметром, который влияет на импеданс и полосу пропускания антенны;
- Рабочая частота является одним из основных параметров, который напрямую влияет на параметры антенны.

Приложение использует эти параметры в качестве входных данных и моделирует электромагнитное взаимодействие между элементами решетки с помощью метода интегральных уравнений. Решая данные уравнения, приложение автоматически рассчитывает ключевые характеристики антенны, такие как диаграмма направленности, импеданс, коэффициент усиления, направленность и ширина главного луча.

В дополнение к этим основным расчетам, приложение также позволит оптимизировать конструкцию решетки на основе требований пользователя. Например, пользователь может максимизировать направленность антенны, минимизируя ее размер, или он может найти определенное значение импеданса для согласования с линией передачи.

После того, как пользователь вводит требуемые параметры в интерфейс приложения, бэкэнд на основе Python обрабатывает эти входные данные и использует метод интегральных уравнений для вычисления характеристик антенны. Этот метод обычно включает дискретизацию поверхности антенны и окружающей среды на малые элементы. Затем эти элементы используются в интегральных уравнениях для представления электромагнитных полей. Численный решатель обрабатывает эти уравнения, используя такие методы, как метод моментов (MoM), для вычисления матрицы импеданса антенны, диаграммы направленности и других параметров.

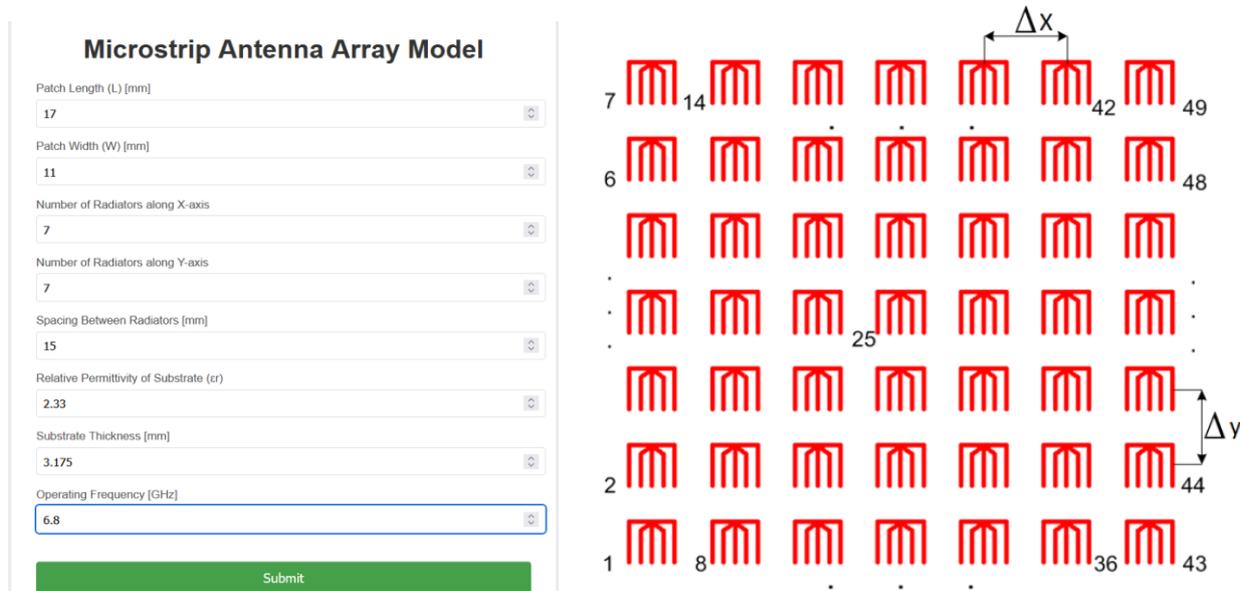


Рис. 1. Внешний вид интерфейса приложения и примера антенной решетки

### **Преимущества мобильного приложения для расчета характеристик антенных решеток**

Ключевым преимуществом создания этого MiniApp в Telegram является доступность и простота использования. Пользователям не нужно загружать или устанавливать какое-либо специализированное программное обеспечение; они могут просто взаимодействовать с приложением на основе бота в самом Telegram. Процесс ввода параметров разработан так, чтобы быть интуитивно понятным, с четкими подсказками, направляющими пользователя по требуемым параметрам.

Кроме того, MiniApp позволит быстро создавать прототипы различных конструкций антенн. Пользователи могут экспериментировать с различными конфигурациями и быстро визуализировать влияние различных параметров на характеристики антенны. Это делает его ценным инструментом для инженеров, исследователей и студентов, изучающих микрополосковые антенны.

Используя научные библиотеки Python и API-интерфейс Telegram, MiniApp также можно легко интегрировать с внешними базами данных и инструментами, такими как библиотеки свойств материалов или онлайн-калькуляторы частот. Эта интеграция может стать полезной для пользователей, которые хотят включить реальные данные о материалах или сравнить характеристики своих конструкций с теоретическими или экспериментальными данными.

### **Заключение**

Созданное MiniApp приложение для моделирования микрополосковых антенных решеток с использованием метода интегральных уравнений позволяет пользователям исследовать характеристики антенных решеток, экспериментировать с различными параметрами конструкции и получать ценную информацию о характеристиках и параметрах своих антенных систем. Этот инструмент будет особенно полезен для инженеров и исследователей, работающих в области проектирования антенн, а также для студентов, изучающих теорию микрополосковых антенн.

Используя это приложение, пользователи получают представление о ключевых факторах, влияющих на характеристики микрополосковых антенных решеток, таких как расстояние между элементами, свойства подложки и конфигурация решетки в целом. Более того, возможность взаимодействовать с этим инструментом моделирования напрямую через Telegram обеспечивает интуитивно понятный и удобный способ исследования и проектирования микрополосковых антенн. Метод интегральных уравнений, использованный в ядре приложения, предлагает эффективный способ моделирования и анализа антенных решеток.

### **Список использованных источников**

1. Kizimenko V. and Ulanouski A., Thin printed dipole arrays simulation using integral equation method / Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv, Ukraine, 2012, pp. 181-181.
2. Kizimenko V., Ulanouski A., Mathematical model of the microstrip radiator based on thin-wire approximation of metal patch / 2015 International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT), Kharkiv, Ukraine, 2015, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICATT.2015.7136798.
3. Kizimenko, V. Numerical modeling of multibeam microstrip antenna arrays for telecommunication systems using the integral equation method / V. V. Kizimenka, S. A. Karaneuski, N. M. Naumovich // Технологии передачи и обработки информации : материалы Международного научно-технического семинара, Минск, апрель 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: В. Ю. Цветков [и др.]. – Минск, 2024. – С. 11–13.