

РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ C++ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВОЛНОВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ

М.Е. Дорогов, студент; В.В. Торопов, студент ПИШ

Научный руководитель А.А. Квасников, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, m.dorogof@gmail.com

Представлены результаты создания библиотеки на языке C++ для расчета пространственных распределений электромагнитных полей волноводных источников возбуждения. Для формирования задачи на собственные значения используется двумерный метод конечных разностей в частотной области, а для ее решения – инструменты библиотек Eigen и Spectra. Созданная библиотека обеспечивает возможность интеграции вычислительного алгоритма в сторонние программы. Результаты тестирования разработанной библиотеки подтверждают корректность ее работы.

Ключевые слова: C++, библиотека, электромагнитное поле, метод конечных разностей.

В настоящее время разработка антенных систем не обходится без применения систем автоматизированного проектирования (САПР). Из-за ограничений на использование зарубежных САПР сегодня в стране появилась потребность в создании отечественных систем. Поэтому активно ведется их разработка, что требует реализации оригинальных вычислительных алгоритмов. Одним из них является ранее созданный алгоритм для анализа собственных мод направляющих структур СВЧ-диапазона [1]. Он позволяет рассчитывать постоянные распространения мод и пространственные распределения электромагнитного поля в поперечном сечении линии передачи. Такие распределение могут использоваться для задания волноводных источников возбуждения, что является неотъемлемой частью любой современной САПР антенн и микроволновых устройств. Поэтому нужно обеспечить возможность интеграции разработанного алгоритма в сторонние программы за счет его реализации в виде библиотеки на языке C++.

Поэтому целью данной работы является инкапсуляция алгоритма формирования пространственных распределений электромагнитных полей волноводных источников возбуждения в виде библиотеки C++.

Алгоритм работы библиотеки. Алгоритм работы библиотеки представлен на рис. 1. В качестве входных данных программа принимает файл типа JSON, содержащий описание исследуемой структуры. В файле указываются массивы расстояний между центрами ячеек сетки по осям x и y , массивы размеров ячеек, граничные условия, частота

расчета, номер искомой моды, а также список материалов и карта индексов, определяющая материал для каждой ячейки расчетной сетки.

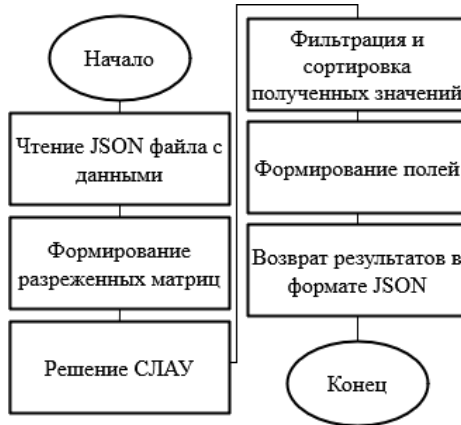


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы библиотеки

Для формирования разреженных матриц используется компактный двумерный метод конечных разностей в частотной области. Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) выполняется с помощью библиотеки Spectra [2], которая основана на функционале библиотеки линейной алгебры Eigen [3]. После выполнения расчетов программа сортирует полученные собственные значения, формирует распределения полей и нормирует их к 1 Вт [4]. В результате работы программы также формируется файл типа JSON, содержащий массивы комплексных чисел, представляющие нормированные значения распределений электромагнитных полей.

Тестирование библиотеки. Тестирование выполнено на примере микрополосковой линии (МПЛ) и прямоугольного волновода (ПВ) (рис. 2) с размерами $a=12,4$ мм, $b=7,2$ мм, $t=0,1$ мм, $w=2$ мм, $c=19,05$ мм, $d=9,525$ мм.

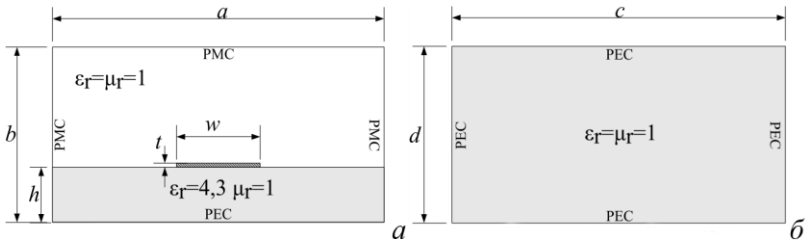


Рис. 2. Тестовые модели: МПЛ (а), ПВ (б)

Расчет для МПЛ выполнен на частоте 25 ГГц, а для ПВ – 12,5 ГГц. В качестве проводящего слоя МПЛ использована медь. Выполнено сравнение распределений полей, полученных с помощью созданного алгоритма и в результате моделирования в зарубежной коммерческой САПР для электромагнитного моделирования (CEMSS) (таблица).

Средние значения относительных отклонений матриц распределений (RE) и их норм (NRE) в процентах

Модель	E_x		E_y		H_x		H_y	
	RE	NRE	RE	NRE	RE	NRE	RE	NRE
МПЛ	2,43	5,96	2,1	2,34	2,15	1,99	2,03	5,36
ПВ	–	–	0,005	0,005	0,005	0,005	–	–

Закключение. Разработана библиотека на языке C++, предназначенная для формирования пространственных распределений электромагнитных полей волноводных источников возбуждения. Реализован алгоритм на основе компактного двумерного метода конечных разностей в частотной области. Выполненное тестирование показало корректность его работы на основе результатов сравнения с CEMSS. Разработанная библиотека может быть использована в составе сторонних программ для решения задач анализа собственных мод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhao Y. A Compact 2-D Full-Wave Finite-Difference Frequency-Domain Method for General Guided Wave Structures / Y. Zhao, K. Wu, K. Cheng // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2002. – Vol. 50, No. 7. – P. 1844–1849.
2. Spectra – C++ library for large scale eigenvalue problems [Электронный ресурс]. – URL: <https://spectralib.org> (дата обращения: 13.02.2026).
3. Eigen C++ library [Электронный ресурс]. – URL: <https://eigen.tuxfamily.org> (дата обращения: 13.02.2026).
4. Collin R.E. Foundations for Microwave Engineering. – 2nd ed. – Wiley-IEEE Press, 2001. – 944 с.