

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. ректора ФГБОУ ВО «Пензен-
ский государственный университет»
д.э.н., профессор



Васин С.М.

2026г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертации Кривошеевой Юлианы Юрьевны
«**Моделирование и оптимизация одного класса
пространственно-вариантных структур**»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специ-
альности

1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Диссертационная работа Кривошеевой Ю.Ю. посвящена моделированию и оптимизации одного класса пространственно-вариантных структур, относящегося к описанию кристаллических решеток, разработке соответствующего программного комплекса и его применению для случая фотонно-кристаллических волноведущих структур.

Актуальность выбранного направления исследований обусловлена широким использованием пространственно-вариантных структур — структур, в которых варьируются конструкционные характеристики (например, геометрические параметры, состав материала и т.п.), что позволяет проектировать сложные конструкции, которые могут направлять или формировать поток энергии, что позволяет использовать их в передовых областях оптики, акустики, машиностроения, вычислительной морфологии. Известные подходы для синтеза пространственно-вариантных структур хоть и учитывают геометрию и материал структуры, но, к сожалению, не подходят для моделирования структур с дефектами. С другой стороны, модели регулярных периодических структур, такие как, решетки Браве описывают лишь положение узлов в структуре и не учитывают геометрию самих узлов и материал заполнения. Поэтому представляется актуальной разработка математической модели пространственно-вариантных структур, которая будет учитывать как геометрию и материал заполнения структуры, так и допускать возможность учета дефектов в структуре.

Кроме того, в последнее время наблюдается заметное расширение применения FDTD для моделирования искусственных и природных структур на оптических длинах волн. Это расширение обусловлено развитием оптических коммуникаций и вычислений. Элементы цифровой интегральной фотоники имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционной электроникой: высокая скорость обработки данных, устойчивость к внешнему электромагнитному воздействию, широкие возможности по аппаратному шифрованию сигнала. Поэтому их разработка представляется актуальной задачей. Так, сейчас разрабатываются такие устройства как интерференционные оптические логические элементы, оптические

Входящий № 206-1978
Дата 03 ИЮН 2026
Самарский университет

переключатели на основе фотонно-кристаллического резонатора, оптические фильтры и др. К сожалению, эффективность известных элементов невелика. Добиваясь ее повышения, принято использовать различные процедуры оптимизации, в том числе и генетические.

Усилия автора диссертации, направленные на применение математической модели пространственно-вариантных структур к описанию фотонно-кристаллических элементов и последующая их оптимизация с помощью генетического алгоритма, представляются весьма актуальными.

Общая характеристика. Диссертация состоит из четырех глав. Первая посвящена математическим моделям, используемым в работе. Первая модель – авторская модель выбранного класса пространственно-вариантной структуры (кристаллическая решетка с дефектами). Модель основана на решетке Браве и учитывает геометрию узлов структуры, материал заполнения, линейные и локальные дефекты. Данная математическая модель описывается с помощью теории множеств. Вторая модель – модель генетического алгоритма. Математические модели генетических алгоритмов строятся для математического исследования и осмысления самого алгоритма. Рассмотренные в главе модели описывают ожидаемое поведение генетического алгоритма, а также используются для предсказания оптимальных параметров работы алгоритма. Одна из таких моделей (модель для предсказания оптимального числа особей в популяции) используется в последующем в работе. Третья модель – уравнения Максвелла в дифференциальной форме. Данная модель выбрана для решения прямой задачи дифракции на пространственно-вариантных структурах (кристаллических структурах), так как она является общей моделью для оптики и электродинамики

Вторая глава открывается обзором FDTD-метода и его компонент, а также обоснованием выбора пакета Ansys Lumerical, который реализует этот метод. Особое внимание в главе уделяется способу согласования FDTD-метода и генетического алгоритма, особенностью которого является наложение дополнительного условия на выбор дискретизации сеточной области в FDTD методе с учетом результатов работы генетического алгоритма, чем обуславливается согласование обоих методов.

Третья и четвертая глава посвящена применению описанных ранее моделей к расчету фотонно-кристаллических оптических элементов: изгибов волноводов, их пересечению, узлу ввода излучения, логических элементов «НЕ» на кристалле с Y-образным дефектом и на кристалле с самоколлимацией. Применение предложенной модели пространственно-вариантной структуры и метода согласования генетического алгоритма и FDTD метода к рассмотренным в работе фотонно-кристаллическим оптическим элементам позволило получить структуры, обеспечивающие высокие значения эффективности. Кроме того, в четвертой главе подробно описан авторский программный комплекс, предназначенный для оптимизации одного класса пространственно-вариантных структур (кристаллических решеток) с помощью генетического алгоритма.

Научной новизной обладают основные результаты и положения диссертационной работы Кривошеевой Ю.Ю., относящиеся к трем областям: математическому моделированию, численным методам и комплексам программ.

А именно:

- разработана математическая модель одного-класса пространственно-вариантной структуры (кристаллической решетки); предложенная модель основана на модели решетки Браве и в отличие от нее учитывает размер узлов, материал заполнения структуры, а также линейные и локальные дефекты в структуре, что делает возможным ее применение, в частности, для последующего расчета фотонно-кристаллических элементов;
- представлен способ согласования генетического алгоритма и FDTD метода для оптимизации выбранного класса пространственно-вариантных структур с дефектами, заключающийся в адаптации сеточной области, учитывающей зависимость параметров такой области от значения радиусов узлов решетки, полученных в генетическом алгоритме; при согласовании ставится дополнительное ограничение на размер узлов, обусловленное технологическими особенностями изготовления структур;
- разработан программный комплекс, предназначенный для оптимизации одного класса пространственно-вариантных структур (кристаллических решеток) с помощью генетического алгоритма; в отличие от аналогов, в которых встроенный блок оптимизации реализует топологический метод, разработанный комплекс реализует генетический алгоритм; такой подход позволяет учитывать особенности конкретного оптимизируемого элемента и получить структуры пригодные для изготовления.

Обоснованность и достоверность полученных положений, выводов и заключений подтверждаются использованием модели строгой теории дифракции в ходе решения прямой задачи непосредственно. Решение обратной задачи же сопровождается многократным решением прямой. Достоверность результатов также подтверждается учетом технологических особенностей изготовления фотонно-кристаллических оптических элементов и особенностей численного метода, который обеспечивался благодаря согласованию генетического алгоритма и FDTD метода. Такое согласование позволяет получить с одной стороны устойчивое решение, с другой - элемент, который можно изготовить.

Теоретической значимостью в области математического моделирования имеет разработка математической модели одного класса пространственно-вариантных структур (кристаллических решеток) с дефектами.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в применении упомянутой модели для создания инструмента расчета таких структур (в частности, фотонно-кристаллических оптических элементов) с помощью совместного использования генетического алгоритма и FDTD метода. Рассчитанные с помощью созданного инструмента элементы характеризуются не только высокой эффективностью, но и технологичностью (рассчитанные элементы можно изготовить).

Рекомендации по применению полученных в диссертации результатов можно разделить на две части.

Первая касается авторской методики построения математических моделей и численных методов для решения задачи дифракции. Их рекомендуется использовать в академических и образовательных организациях, специализирующихся в этой области. Например, в Курчатовском комплексе кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва), или в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении

высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (г. Самара) и в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет» (г. Самара).

Вторая связана с применением авторских программных комплексов для расчетов радиотехнических устройств или оптических элементов на основе фотонных кристаллов. Уместно использовать такие комплексы в Публичном акционерном обществе «Экран» (г. Самара).

Замечания по диссертации:

- 1. Использование математической модели Чипиги А.Ф. и Петрова Ю.Ю., относящийся к генетическому алгоритму, не вполне корректно, так как указанная модель работает с логическим представлением (0,1) генов особи в алгоритме, в то время как автор работает с вещественными значениями.*
- 2. Из работы следует, что автор пользовался классической явной разностной схемой Уее для решения прямой задачи дифракции. Следовательно, ограничения, присущие упомянутой схеме (условная устойчивость, низкий порядок сходимости и т.п.) распространяются и на авторские разработки.*
- 3. Выбор пакета Ansys Lumerical для реализации авторского программного комплекса, ограничивает применение разработки автора в силу высокой стоимости пакета.*
- 4. Нет объяснения, почему используются именно граничные условия PML; граничные условия должны соответствовать реальной задаче.*
- 5. Также нет объяснения выбора конкретных источников электромагнитного поля, исходя из реальной задачи. Используемый в диссертации термин «жесткий источник» не является общеупотребительным. Прием, который автор называет «технологией TF/SF», напротив, применяется для задания стороннего поля очень часто и очень давно в электродинамике без такого названия.*

Закключение. Приведенные замечания не снижают **общей положительной оценки диссертации.** Работа представляет собой законченное исследование, включает новые и актуальные результаты. Автореферат и опубликованные по теме диссертации работы полностью раскрывают её содержание и основные результаты. Научные положения, выносимые на защиту, достаточно полно представлены в 12 публикациях, 4 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Результаты представлены также на международном уровне и отражены в международных базах цитирования.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне, содержит результаты, обладающие научной новизной и имеющие практическую значимость, соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, в частности п.9 этого положения, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи моделирования фотонно-кристаллических элементов, имеющей существенное значение для современных приложений соответствующих предметных областей. Диссертант Кривошеева Юлиана Юрьевна заслуживает присуждения

ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа и отзыв на нее обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Математика и суперкомпьютерное моделирование» Пензенского государственного университета 20.05.2026, протокол № 9.

Заведующий кафедрой
«Математика и суперкомпьютерное моделирование»,
д.ф.-м.н., профессор



Смирнов Ю.Г.

г. Пенза, ул. Красная, д. 40, корпус 8,
Телефон: mmm@pnzgu.ru,
Email: mmm@pnzgu.ru