

**ОТЗЫВ**

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора

Полянского Ивана Сергеевича

на диссертацию Кривошеевой Юлианы Юрьевны

«Моделирование и оптимизация одного класса  
пространственно-вариантных структур»,

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

**Актуальность темы диссертации**

Исследовательская задача связана с широким применением пространственно-вариантных структур – структур, особенностью которых является вариация конструктивных характеристик (геометрия, материал и т.д.). Это позволяет создавать сложные системы, способные управлять энергетическими потоками, что особенно важно для передовых технологий в области оптики, акустики, машиностроения и вычислительной морфологии. Современные подходы к синтезу таких структур учитывают их геометрию и состав, однако не позволяют моделировать структуры с дефектами. В то же время, модели регулярных периодических решеток, например, решетки Браве, фокусируются лишь на расположении узлов и не отражают их геометрию или материал заполнения. Поэтому разработка универсальной математической модели, которая бы охватывала как геометрию и материалы, так и дефекты, становится крайне актуальной.

Кроме того, в последние годы метод FDTD значительно распространился в моделировании структур на оптических длинах волн благодаря развитию оптических коммуникаций. Элементы цифровой интегральной фотоники отличаются высокой скоростью обработки данных, помехозащищенностью и способностью к аппаратному шифрованию, что делает их разработку перспективной. В рамках этого направления создаются оптические логические элементы, переключатели и фильтры. Для повышения эффективности этих устройств используют различные методы оптимизации, в том числе и генетические алгоритмы.

В силу перечисленного актуальность цели диссертации (моделирование и оптимизация одного класса пространственно-вариантных структур, относящегося к

описанию кристаллических решеток, с разработкой соответствующего программного комплекса и его применением для случая фотонно-кристаллических волноведущих структур) не вызывает сомнений

**Новизна исследования** связана с созданием эффективных вычислительных инструментов для расчета фотонно-кристаллических устройств. В частности, обсуждая новизну диссертационного исследования и полученных результатов необходимо выделить:

1. Разработку математической модели класса пространственно-вариантных структур (кристаллических решёток с дефектами). Предлагаемая модель опирается на формализм решетки Браве, однако в отличие от базовых подходов учитывает размеры узлов, материал заполнения структуры, а также ее линейные и локальные дефекты, благодаря чему применима к расчету широкого круга фотонно-кристаллических устройств.

2. Предложение метода оптимизации пространственно-вариантных структур с дефектами, заключающегося в оригинальном механизме согласования генетического алгоритма с FDTD-методом. Данный подход основан на динамической адаптации сеточной области  $Y_{\text{сч}}$  в зависимости от текущих значений радиусов узлов решетки, генерируемых генетическим алгоритмом; при этом впервые введено технологическое ограничение на размер узлов, отражающее реальные возможности изготовления.

3. Создание программного комплекса для моделирования и оптимизации обсуждаемых структур. Главное отличие разработанного комплекса от существующих аналогов заключается в замене «вшитого» топологического метода оптимизации на генетический алгоритм, что дает возможность учитывать специфику каждого оптимизируемого элемента и гарантирует получение структур, пригодных для реального изготовления.

4. Применение предложенной модели пространственно-вариантных структур совместно с оригинальным методом согласования генетического алгоритма и FDTD-метода к фотонно-кристаллическим оптическим элементам (таким как изгибы, пересечения волноводов, узел ввода излучения, логический элемент «НЕ» на кристалле с Y-образным дефектом и на кристалле с эффектом самоколлимации), которое позволило получить структуры, демонстрирующие высокую эффективность.

Отмечу соответствие диссертации паспорту специальности, в которой указывается на необходимость присутствия результатов одновременно из трех областей

**Обоснованность и достоверность** полученных в диссертации результатов обеспечиваются комплексным подходом: при решении прямой задачи использована

строгая теория дифракции, тогда как решение обратной задачи требует многократного обращения к прямой. Так же благодаря предложенному в работе согласованию генетического алгоритма с FDTD-методом, гарантируется численная устойчивость решения и учитываются технологические ограничения, возникающие при реальном изготовлении фотонно-кристаллических элементов, что подтверждает достоверность результатов с точки зрения их практической реализуемости.

**Теоретическая значимость** работы заключается в разработке оригинальной математической модели класса пространственно-вариантных структур (кристаллических решёток с дефектами), которая расширяет теоретический аппарат математического моделирования в этой области.

**Практическая значимость** состоит в создании на основе этой модели и предложенного гибридного метода (генетический алгоритм + FDTD) инструмента расчёта фотонно-кристаллических оптических элементов, позволяющего получать структуры с высокими значениями эффективности, которые, в отличие от многих известных аналогов, являются технологичными, то есть принципиально пригодными для реального изготовления.

#### **Замечания по работе**

1. Авторский программный комплекс отсутствует в свободном доступе (например, на GitHub), что затрудняет детальное понимание особенностей реализации решений, сформированных в диссертации.

2. Автор применяет разработанную математическую модель для ограниченного класса оптических элементов. Исходя из общности формулировки темы диссертационной работы, целесообразно было бы верифицировать предложенные решения и на других классах электродинамических задач (в частности, для расчета дифракции электромагнитных волн на экранах произвольной формы). Более того, предложенный симбиоз генетического алгоритма и разностной схемы обладает высоким потенциалом для применения в смежных областях. В частности, замена уравнений Максвелла на волновые уравнения акустики в рамках той же расчетной сетки позволила бы автору применить свои наработки для синтеза пространственно-вариантных акустических сред, что существенно повысило бы научную и практическую значимость полученных результатов.

3. Предложенный в работе механизм адаптации сеточной области опирается на локальное измельчение декартовой сетки при изменении размеров узлов решетки. Однако автором не рассматриваются альтернативные подходы к снижению погрешности аппроксимации криволинейных границ каверн (так называемого ступенчатого эффекта). Применение конформных сеток или методов субпиксельного сглаживания позволило бы

повысить точность моделирования без избыточного локального сгущения сетки и, как следствие, избежать непропорционального роста вычислительных затрат.

4. Выбрав генетический алгоритм в качестве инструмента для решения обратной задачи, автор оставляет без внимания применимость других современных методов. В работе отсутствует сравнение или содержательное научное обоснование отказа от использования градиентных стохастических алгоритмов (применяемых в нейросетевом моделировании) или методов топологической оптимизации.

5. Автор обосновывает преимущества генетического алгоритма путем сравнения его эффективности с классическими детерминированными методами нулевого порядка – методом покоординатного спуска и методом Хука–Дживса. Данные алгоритмы являются достаточно простыми и базовыми. Для более объективной оценки эффективности предложенного решения не хватает сравнения с современными эвристическими алгоритмами оптимизации (например, методом роя частиц, или алгоритмом имитации отжига и пр.).

Указанные недостатки не снижают ценность полученных результатов в целом. Оппонируемая диссертация является завершенным исследованием, выполненным в соответствии с требованиями паспорта научной специальности 1.2.2. Апробация подтверждается наличием публикаций в 4-ех реферируемых журналах из перечня ВАК РФ (две статьи в журнале из списка Scopus), семью посещенными научными конференциями, свидетельствами о государственной регистрации программных комплексов и актами внедрения.

Опубликованные в реферируемых изданиях работы и автореферат полностью раскрывают содержание диссертации, которая удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842, к опубликованию результатов диссертаций в реферируемых изданиях.

Диссертация соответствует п. 9 действующего положения о присуждении ученых степеней и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержатся результаты моделирования и оптимизации выбранного класса пространственно-вариантных структур (кристаллических решеток), и соответствующий программный комплекс, который применен для случая фотонно-кристаллических волноведущих структур. Данные результаты могут использоваться и в других прикладных областях, где такие вычисления востребованы.

Автор Кривошеева Ю.Ю. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент, заместитель начальника факультета  
ФГКВОУ ВО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»  
доктор физико-математических наук, профессор



Полянский Иван Сергеевич

16.05.2026

Подпись Полянского Ивана Сергеевича заверяю:

Заместитель руководителя кадрового аппарата



Петрищев Евгений Анатольевич

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», 302020, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35; тел. +7 (486) 54-98-30, e-mail: van341@mail.ru