

ОТЗЫВ

на автореферат Штепа Кристины Александровны на тему «Моделирование трансформирующих сред средствами лучевой оптики», представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность и значимость темы

Качество и актуальность исследования определяются необходимостью разработки универсального подхода к расчёту оптических систем (например, линз, дифракционных решёток). В настоящее время отсутствие единого метода вынуждает решать каждую задачу индивидуально, что затрудняет моделирование и оптимизацию. Цель работы — преодолеть ограничения существующих решений (ограниченная применимость, высокие вычислительные затраты), разработав гибридный подход, который объединит численные методы и нейронные сети для оптимизации характеристик сред.

Научная новизна

Новизна работы состоит в создании гибридного метода моделирования дифракционных систем в трансформирующих средах, который объединяет: численный метод быстрого «подметания» (FSM); физически информированные нейронные сети (PINN); математический аппарат уравнения эйконала.

Реализация выполнена в инфраструктуре SciML/NeuralPDE.jl. Ключевые результаты. - Разработаны и программно воплощены две вычислительные схемы (FSM и PINN) с единой системой визуализации, протестированные на линзах Люнеберга и Максвелла. Выявлены сильные стороны FSM и PINN при моделировании трансформирующих сред. Проанализированы требования к инфраструктуре, устойчивость, удобство работы с граничными условиями и визуализация. Доказана возможность воспроизведения результатов в среде Julia/SciML и их переноса на стандартные задачи проектирования.

Достоверность и полнота

Выводы обоснованы с применением строгого математического инструментария. Автор тщательно проанализировал каждый этап численного решения, сформировав надёжную теоретическую основу, которая была подтверждена серией числовых экспериментов. Практическая значимость работы усиливается наличием чётких рекомендаций по применению метода и его программной реализации. Эти результаты особенно актуальны для специалистов в области математического моделирования — как исследователей, так и инженеров. Дополнительным преимуществом является сравнительный анализ с решениями, полученными другими численными методами (включая подходы на базе нейронных сетей). Это позволяет с уверенностью утверждать о корректности сделанных выводов и практичности предложенных решений.

Оценка качества

Качество работы обусловлено её значимостью как с практической, так и с образовательной точки зрения. С практической стороны, предложенные алгоритмы решают реальные задачи. С образовательной — результаты работы могут быть использованы

для разработки учебных материалов и включения в программы подготовки специалистов в области математического моделирования, по дисциплинам «численные методы» и «математическое моделирование».

Замечания

1. Следовало оформить список публикаций согласно ГОСТ.
2. Было бы хорошо добавить библиографические ссылки на апробацию работы.

Приведённые замечания не снижают научную ценность результатов диссертационной работы и не влияют на её положительную оценку.

Заключение

Автореферат диссертации даёт основание сделать однозначный вывод, что диссертационное исследование Штепа Кристины Александровны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи, имеющей важное значение для разработки гибридного мультимодельного подхода к моделированию трансформирующих сред, использующего как классические численные методы, так и методы машинного обучения.

Автореферат диссертации отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук согласно Положению о присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утверждённого Учёным советом РУДН, протокол УС-1, 22.01.2024. Штепа Кристина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Третьяков Николай Павлович, кандидат физико-математических наук (01.04.02 — Теоретическая и математическая физика), доцент, доцент кафедры международного менеджмента и управления Института управления Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации».



/подпись/

28.02.2026

ЗАВЕРЯЮ

УЧЕНЫМ СЕКРЕТАРЬ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»

Адрес: 119571 , г. Москва, пр. Вернадского, д. 82

Тел. +7 (499) 956-99-99, e-mail: rector@ranepa.ru

Страница в интернете: <https://www.ranepa.ru>

ОТЗЫВ

Миловановой Татьяны Александровны

на автореферат Штепа Кристины Александровны на тему «Моделирование трансформирующих сред средствами лучевой оптики», представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность и значимость темы

Актуальность исследования обусловлена отсутствием универсального метода расчёта оптических систем (линз, дифракционных решёток). Существующие подходы требуют индивидуального решения для каждой задачи, что осложняет моделирование и оптимизацию. В условиях технологического прогресса критически важны высокоточные расчёты для создания новых оптических элементов.

Прогресс в машинном обучении (особенно Physics-Informed Neural Networks, PINN) позволяет встраивать физические законы в оптимизацию, объединяя их с классической лучевой оптикой. Это создаёт инструменты для моделирования трансформирующих сред нового поколения.

Цель работы — разработать гибридный мультимодельный подход, сочетающий численные методы и машинное обучение, для оптимизации характеристик трансформирующих сред.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в создании мультимодельного подхода к моделированию дифракционных систем в трансформирующих средах. Подход основан на уравнении эйконала и объединяет метод быстрого «подметания» (FSM) и физически информированные нейронные сети (PINN) в рамках инфраструктуры SciML/NeuralPDE.jl.

Ключевые результаты: - реализованы две взаимодополняющие вычислительные схемы (FSM и PINN) с единой системой визуализации для тестовых профилей (линзы Люнеберга, Максвелла); - адаптирована постановка PINN для задач геометрической оптики с неоднородным показателем преломления, решены ограничения Symbolics/NeuralPDE для кусочно-непрерывных профилей; - проведён сравнительный анализ FSM и PINN по ключевым параметрам (требования к инфраструктуре, устойчивость, задание граничных условий, визуализация), определены области предпочтительного применения; - подтверждена воспроизводимость расчётов в среде Julia/SciML с возможностью масштабирования на типовые задачи оптического проектирования.

Достоверность результатов обеспечена обоснованностью методов, их взаимной верификацией и численными экспериментами. Результаты представлены на всероссийских и международных конференциях.

Достоверность и полнота

Выводы диссертации обоснованы строгим математическим аппаратом, подкреплены детальным разбором этапов численного решения и верифицированы с помощью численных экспериментов. Работа содержит практические рекомендации по реализации метода, что важно для инженеров и исследователей в сфере математического моделирования. Достоверность результатов дополнительно подтверждена сравнением с решениями, полученными другими численными методами (включая подходы на базе нейронных сетей).

Оценка качества

Разработанные алгоритмы применимы для решения практических задач, а полученные результаты могут быть использованы при создании учебных пособий, лабораторных работ по дисциплинам «численные методы» и «математическое моделирование», а также в курсах подготовки специалистов в области математического моделирования.

Замечания

1. На страницах 7 и 9 записано уравнение эйконала и функция эйконала обозначена разными буквами.
2. Не пояснен смысл некоторых обозначений в формулах на странице 7.

Приведённые замечания не снижают научную ценность результатов диссертационной работы и не влияют на её положительную оценку.

Заключение

Автореферат диссертации даёт основание сделать однозначный вывод, что диссертационное исследование Штепа Кристины Александровны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи, имеющей важное значение для разработки гибридного мультимодельного подхода к моделированию трансформирующих сред, использующего как классические численные методы, так и методы машинного обучения.

Автореферат диссертации отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук согласно пункта 2.2 раздела II Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утверждённого Учёным советом РУДН, протокол УС-1, 22.01.2024.

Штепа Кристина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв подготовлен

Милованова Татьяна Александровна, кандидат физико-математических наук (05.13.17 — Теоретические основы информатики), главный специалист отдела докторантуры и аспирантуры Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук.

Милованова 22.01.2026г.

Подпись Миловановой Татьяны Александровны заверяю



Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук

Адрес: 119333 , Москва, ул. Вавилова, д. 44. корп. 2

Тел. +7 (499) 135-62-60, e-mail: frccsc@frccsc.ru

Страница в интернете: <http://frccsc.ru>

ОТЗЫВ

Дивакова Дмитрия Валентиновича

на автореферат Штепа Кристины Александровны на тему «Моделирование трансформирующих сред средствами лучевой оптики», представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность и значимость темы

Научная новизна и актуальность исследования связаны с решением ключевой проблемы — отсутствия универсального метода расчёта оптических систем (например, линз и дифракционных решёток). В современных условиях необходимость индивидуального подхода к каждой задаче существенно тормозит моделирование и оптимизацию, тогда как технологический прогресс требует всё более точных расчётов для создания инновационных оптических элементов.

Однако развитие методов машинного обучения, в частности Physics-Informed Neural Networks (PINN), открывает новые перспективы. Интеграция физических законов в алгоритмы оптимизации, дополненная классическими методами лучевой оптики, позволяет создавать эффективные инструменты для моделирования трансформирующих сред следующего поколения.

Существующие решения либо ограничены в применении, либо ресурсоёмки. Применение нейросетевых методов в сочетании с традиционными численными подходами устраняет эти барьеры, открывая путь к универсальным и адаптивным инструментам в оптике и фотонике.

Основная цель работы — разработать гибридный мультимодельный подход к моделированию трансформирующих сред, объединяющий классические численные методы и алгоритмы машинного обучения, и провести комплексный анализ моделей распространения лучей для оптимизации их характеристик.

Научная новизна

В рамках исследования разработан инновационный мультимодельный подход для моделирования дифракционных систем в трансформирующих средах — на базе уравнения эйконала, с комбинацией метода быстрого «подметания» (FSM) и физически информированных нейронных сетей (PINN). Реализация выполнена в инфраструктуре SciML/NeuralPDE.jl.

Практическая ценность результатов:

- созданы два вычислительных инструмента (FSM и PINN), объединённые общей системой визуализации, что позволяет моделировать поведение фронтов и лучей для ключевых тестовых объектов (линзы Люнеберга, Максвелла);
- решена проблема адаптации PINN к задачам геометрической оптики с неоднородным показателем преломления — преодолены ограничения Symbolics/NeuralPDE при моделировании кусочно-непрерывных сред;
- выявлены сильные и слабые стороны FSM и PINN, что помогает выбирать оптимальный метод в зависимости от специфики задачи (требования к инфраструктуре, устойчивость, визуализация и др.);
- обеспечена воспроизводимость результатов в открытой среде Julia/SciML, что упрощает перенос разработок на реальные задачи оптического проектирования.

Научная обоснованность подтверждена корректностью выбранных методов, их взаимной проверкой и серией численных экспериментов. Результаты работы получили признание научного сообщества — они были представлены на всероссийских и международных конференциях.

Достоверность и полнота

Диссертация демонстрирует высокий уровень научной обоснованности:

- выводы опираются на строгий математический аппарат;
- каждый этап численного решения детально проанализирован;
- теоретическая база подтверждена серией численных экспериментов.

Практическая значимость работы заключается в чётких рекомендациях по применению метода и реализации алгоритмов — это особенно важно для специалистов в математическом моделировании. Дополнительную уве-

ренность в надёжности результатов придаёт сравнительный анализ с решениями, полученными иными численными методами, включая подходы на основе нейронных сетей.

Оценка качества

Результаты работы имеют как прикладную, так и образовательную ценность: алгоритмы могут использоваться для решения реальных задач, а материалы исследования — для совершенствования учебных пособий, лабораторных работ по численным методам и математическому моделированию, а также для обогащения курсов подготовки специалистов в данной области.

Замечания

1. Стоило бы включить в автореферат краткое пояснение почему для программной реализации был выбран язык Julia.
2. В автореферате недостаточно отражена проделанная работа по методу PINN, хотя в диссертации этот материал есть.

Приведённые замечания не снижают научную ценность результатов диссертационной работы и не влияют на её положительную оценку.

Заключение

Автореферат диссертации даёт основание сделать однозначный вывод, что диссертационное исследование Штепа Кристины Александровны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи, имеющей важное значение для разработки гибридного мультимодельного подхода к моделированию трансформирующих сред, использующего как классические численные методы, так и методы машинного обучения.

Автореферат диссертации отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук согласно пункта 2.2 раздела II Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский универси-

тет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утверждённого Учёным советом РУДН, протокол УС-1, 22.01.2024.

Штепа Кристина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв подготовлен

Диваков Дмитрий Валентинович, кандидат физико-математических наук (05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент кафедры математического моделирования и искусственного интеллекта Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».



Подпись Дивакова Дмитрия Валентиновича заверяю



Зарядив И.С. / Член ученого совета ФФМН РУДН

27 января 2026 года

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Адрес: 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Тел. +7 (499) 936-87-87, e-mail: rudn@rudn.ru

Страница в интернете: <https://www.rudn.ru/>

ОТЗЫВ

Игоиной Елены Викторовны

на автореферат Штепа Кристины Александровны на тему «Моделирование трансформирующих сред средствами лучевой оптики», представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность и значимость темы

Актуальность исследования обусловлена следующими факторами:

- Отсутствие универсального подхода к расчёту оптических систем (линзы, дифракционные решётки). Для каждой специфической задачи требуется индивидуальное решение, что затрудняет моделирование и оптимизацию.
- Интенсивный технологический прогресс диктует потребность в высокоточных расчётах для разработки новых оптических элементов и улучшения их характеристик.

Быстрый прогресс в машинном обучении, в частности развитие Physics-Informed Neural Networks (PINN), позволяет напрямую включать физические законы в процесс оптимизации. Сочетание этих методов с классической лучевой оптикой создаёт основу для гибких и вычислительно эффективных инструментов моделирования трансформирующих сред нового поколения.

Текущие методы либо имеют узкую область применения, либо требуют значительных вычислительных ресурсов. Комбинирование нейросетевых и традиционных численных методов способно преодолеть эти ограничения.

Целью работы является разработка гибридного мультимодельного подхода к моделированию трансформирующих сред, который интегрирует классические численные методы и методы машинного обучения.

В рамках исследования проводится комплексный анализ моделей распространения лучей для оптимизации характеристик трансформирующих сред.

Научная новизна

Научная новизна заключается в том, что разработан и программно реализован мультимодельный подход к моделированию дифракционных систем в трансформирующих средах, базирующийся на уравнении эйконала. Подход интегрирует: - численный метод быстрого «подметания» (Fast Sweeping Method, FSM); - физически информированные нейронные сети (PINN), реализованные в инфраструктуре SciML/NeuralPDE.jl.

Основные результаты.

- Созданы две взаимодополняющие вычислительные схемы (FSM и PINN) для решения уравнения эйконала в трансформирующих средах. Реализован единый контур визуализации фронтов и лучей на тестовых профилях (линзы Люнеберга и Максвелла).
- Адаптирована постановка PINN для решения задач геометрической оптики с переменным показателем преломления. Решены практические ограничения Symbolics/NeuralPDE при работе с кусочно-непрерывными профилями.

- Выполнен сравнительный анализ FSM и PINN в контексте моделирования трансформирующих сред.

Проанализированы:

- требования к зависимостям и инфраструктуре;
- устойчивость постановки;
- удобство задания граничных условий и профилей среды;
- возможности визуализации.

Определены области, где каждый метод демонстрирует преимущества. Подтверждена возможность воспроизведения расчётов и визуализаций в открытой среде Julia/SciML. Показана применимость подхода для решения типовых задач оптического проектирования.

Обоснованность методов, их взаимная верификация и численные эксперименты гарантируют достоверность результатов. Основные результаты диссертации представлены на всероссийских и международных конференциях.

Достоверность и полнота

В диссертации выводы сформированы на базе строгого математического обоснования. Автор провёл тщательный разбор всех стадий численного решения, что позволило выстроить доказанную и проверенную теоретическую основу. Её надёжность дополнительно подтверждается серией численных экспериментов.

Особую ценность работе придают практические рекомендации: автор не только описывает метод, но и демонстрирует пути его реализации. Это делает результаты актуальными для инженеров и исследователей, работающих в области математического моделирования.

Ключевым аспектом верификации стало сопоставление полученных решений с результатами, достигнутыми с помощью других численных методов — в частности, подходов на базе нейронных сетей. Такой сравнительный анализ существенно укрепляет доверие к предложенным выводам и рекомендациям.

Оценка качества

Работа обладает двойным потенциалом: - практическим — разработанные алгоритмы пригодны для решения реальных задач; - образовательным — результаты могут быть интегрированы в учебные пособия, лабораторные работы по численным методам и математическому моделированию, а также в образовательные программы для подготовки профильных специалистов.

Замечания

1. На странице 7 предложение «определяет оптический путь между центром и точкой с радиусом r » стоило бы исправить на «определяет оптический путь между центром и точкой с радиус-вектором r » и записать формулы в векторном виде.
2. Стоило бы включить в автореферат некоторые рисунки из диссертации, поясняющие конфигурацию линз.

Приведённые замечания не снижают научную ценность результатов диссертационной работы и не влияют на её положительную оценку.

Заключение

Автореферат диссертации даёт основание сделать однозначный вывод, что диссертационное исследование Штепа Кристины Александровны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи, имеющей важное значение для разработки гибридного мультимодельного подхода к моделированию трансформирующих сред, использующего как классические численные методы, так и методы машинного обучения.

Автореферат диссертации отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук согласно пункта 2.2 раздела II Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утверждённого Учёным советом РУДН, протокол УС-1, 22.01.2024.

Штепа Кристина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв подготовлен

Игонина Елена Викторовна, кандидат физико-математических наук (05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент, заведующий кафедрой математики, информатики, физики и методики обучения .

26.01.2026

mol-

Подпись Игоиной Елены Викторовны заверяю



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина»

Адрес: 399770, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, 28

Тел. 8(47467)2-81-72, e-mail: ELENAIGONINA7@MAIL.RU

Страница в интернете: <https://elsu.ru/kaf/maem/people?pid=1165>