

### **Отзыв официального оппонента**

на диссертацию Кройтора Олега Константиновича «Символьно-численное исследование поляризованного электромагнитного излучения в волноведущих системах», представленную к защите в диссертационном совете ПДС 0200.006 при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

#### **Актуальность темы диссертационной работы.**

Диссертация Кройтора Олега Константиновича посвящена исследованию распространения электромагнитных волн в направляющих структурах, образованных оптически изотропными и анизотропными средами и идеально проводящими стенками.

При исследовании бегущих вдоль направляющих структур волн пренебрегают затуханием излучения в среде, но описывают такие волны задачами на собственные значения операторов, которые, вообще говоря, не являются самосопряженными. В редких случаях (например, для закрытого волновода с оптически однородным и изотропным заполнением) удается векторную задачу свести к скалярной, которая оказывается самосопряженной. Несамосопряженность спектральной задачи приводит к эффектам, типичным для моделей с диссипацией, физический смысл которых не вполне ясен. Вероятно, некоторые из них связаны с добавлением диссипации на стадии численного исследования спектральных задач. Поэтому развитие методов исследования распространения электромагнитных волн в направляющих структурах, наследующих свойства исходной модели, остается актуальной задачей.

**Характеристика содержания диссертационной работы.** Диссертация состоит из Введения, трех глав и Заключения. Во Введении сформулирована цель диссертации – разработка и реализация в системе компьютерной алгебры Sage численно-аналитических методов исследования распространения монохроматических поляризованных волн оптического диапазона в направляющих структурах. Обоснована актуальность выбора темы, дан обзор литературы, и сформулированы 4 положения, вынесенные на защиту.

Первая глава носит вводный характер. В ней представлены основные методы исследования математических моделей в теории направляющих структур – метод

Галеркина и метод сшивания. Изложение проиллюстрировано многочисленными примерами, взятыми из этой предметной области, но описанными нарочито простыми одномерными моделями. Здесь убедительно показано, что среда Sage удобна для проведения компьютерных экспериментов, пояснено, каким образом автор внедряет аналитические вычисления в классические численные методы.

Во второй главе рассмотрены поверхностные волны Дьяконова в рамках алгебраической модели. В этой главе описаны численно-аналитические методы исследования этой модели и его реализация в виде комплекса программ в системе компьютерной алгебры Sage. Это составляет 4-ое положение, вынесенное на защиту. В процессе исследования оказалось, что с точки зрения алгебраической геометрии 5 параметров, описывающих волну Дьяконова, лежат на рациональной кривой в 5-мерном пространстве. Ранее это важное для дальнейших теоретических изысканий обстоятельство не было известно.

В третьей главе рассматриваются нормальные моды закрытого электромагнитного волновода, заполненного оптически неоднородным, но изотропным веществом. Задача о нормальных модах в ряде работ рассматривается как задача на собственные значения несамосопряженного операторного пучка. Авторская идея состоит в том, что задача исследования волн, бегущих вдоль оси волновода, может быть сведена к задаче о собственных колебаниях резонатора. Последняя является задачей на собственные значения самосопряженного оператора, методы ее исследования хорошо разработаны и известны. Тем самым, соискателю удалось разработать метод сведения исследования нормальных мод закрытого волновода с оптически неоднородным заполнением без диссипации к исследованию спектра самосопряженной матрицы (1-ое положение, вынесенное на защиту).

К исследованию собственных колебаниях цилиндрического резонатора автор привлекает символьные методы, которые позволяют ему построить базис метода Галеркина, удовлетворяющий условию обращения в нуль дивергенции точно. Это снимает целый ряд трудностей, характерных для применения метода Галеркина к задачам электромагнитной тематики. Эти соображения позволили соискателю разработать численный метод решения построения дисперсионной кривой волновода с оптически неоднородным заполнением без диссипации и реализовать его в виде комплекса программ в СКА Sage (2-ое положение, вынесенное на защиту).

В качестве тестового примера автор выбрал волновод прямоугольного сечения, внутри которого имеются два диэлектрических слоя. Эта конструкция интересна тем, что для нее аналитическим путем можно построить два семейства нормальных мод, которые

не являются ни трансверсально электрическими, ни трансверсально магнитными. Такие моды принято называть гибридными. Соискатель протестировал разработанную программу на этом примере, и показал, что его подход успешен для исследования гибридных мод (3-е положение, вынесенное на защиту).

Таким образом, все 4 положения, вынесенные на защиту, были обоснованы в тексте диссертации.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.** Диссертация содержит ряд оригинальных теорем, доказательства которых были своевременно опубликованы в рецензируемых журналах, что вполне подтверждает обоснованность результатов. При компьютерном моделировании используется известная и современная система компьютерной алгебры Sage. Достоверность результатов вычислений по предложенным алгоритмам подтверждается совпадением результатов вычислений в тестовых примерах с результатами других авторов.

**Практическая значимость исследований.** Методы, разработанные в диссертации, применимы к исследованию направляющих систем в электродинамике и оптике, в том числе для проектирования систем оптоволоконной связи.

**Недостатки работы.** В диссертации имеется ряд недостатков.

1. Описание метода аналитического исследования тестового волновода (раздел 3.3) написано очень кратко. Соискатель справедливо указывает, что этот метод был описан ранее, однако ряд деталей, например, смена тригонометрических функций на гиперболические (стр. 70), весьма нетривиален, ранее нигде не описывался и вполне достоин детального описания в диссертации.
2. Из текста не ясно, исчерпываются ли SLE и SLH модами все нормальные моды тестового волновода.
3. На рис. 3.4 и следующих дисперсионная кривая расщепляется и SLE мода отвечает одной из ветвей, не ясно, что соответствует второй.
4. Текст диссертации содержит ряд опечаток и стилистических ошибок.

Указанные недостатки не снижают общее положительное впечатление о диссертационной работе.



**Заключение.** Диссертационное исследование представляет собой законченное и самостоятельное научно-квалификационное исследование, в котором решена актуальная задача разработки и реализации в системах компьютерной алгебры численно-аналитических методов исследования распространения монохроматических поляризованных волн оптического диапазона в направляющих структурах.

Диссертационное исследование соответствует паспорту специальности 1.2.2 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а именно:

**п. 1** «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений» в части разработки новых математических методов моделирования распространения электромагнитных волн в закрытом волноводе с оптически неоднородным заполнением без диссипации и поверхностных волн Дьяконова на границе раздела одноосного кристалла;

**п. 2** «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий» в части разработки, обоснования и тестирования эффективных символьно-числительных методов исследования нормальных мод, закрытого волновода, заполненного оптически неоднородным веществом и поверхностных волн Дьяконова с применением современных компьютерных технологий;

**п. 3** «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента» в части реализации названных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения численных экспериментов в системе компьютерной алгебры Sage.

Полученные автором результаты достоверны, основные выводы и заключения обоснованы. Все положения, вынесенные на защиту, обоснованы в тексте диссертации. Автореферат корректно отражает результаты диссертационного исследования. Основные научные результаты диссертации достаточно полно изложены в 8 печатных изданиях, 2 из которых изданы в периодических научных журналах, индексируемых МБЦ Scopus, 3 — в журналах, включенных в Перечень ВАК/РУДН, 3 — в тезисах докладов.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа «Символьно-численное исследование поляризованного электромагнитного излучения в волноводящих системах» полностью соответствует требованиям п. 2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в ФГАУ ВО Российский университет дружбы народов, утвержденного Ученым советом РУДН, протокол № 12 от 23 сентября 2019 г., предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 1.2.2 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а ее автор — Кройтор Олег Константинович — степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук (специальность 05.13.18. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»), начальник сектора № 2 Научного отдела вычислительной физики Лаборатории информационных технологий им. М. Г. Мещерякова, Объединённого института ядерных исследований

Айриян Александр Сержикович

08 июня 2023 г.



Объединённого института ядерных исследований  
141980, ул. Жолио Кюри, 6, Дубна, Московская обл., Россия,  
Тел.: +7 496 216-40-40  
Электронная почта: [ayriyan@jinr.ru](mailto:ayriyan@jinr.ru)

Подпись А.С. Айрияна удостоверяю.

Ученый секретарь ЛИТ им. М.Г. Мещерякова,  
кандидат физико-математических наук

