

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Зейде Кирилла Михайловича «Дифракция электромагнитных волн на вращающихся осесимметричных телах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Исследования дифракционных процессов, связанных с взаимодействием электромагнитных волн с телами произвольных форм и состояний имеют большое как практическое, так и теоретическое значение при разработке систем дистанционного зондирования, радиоволнового мониторинга, приборов контроля и диагностики, а том числе дефектоскопии, а также радиолокационных и навигационных комплексов. Список сопутствующих тематике проблем этим, однако, не ограничивается. Обобщенность формулировок и положений, используемых в работе, позволяет применять полученные результаты в широком спектре электродинамических задач. При решении задачи дифракции электромагнитных волн на движущихся телах со стационарными граничными условиями, естественным образом используется положения релятивистской теории. Такие задачи начали входить в область интересов исследователей уже в начале XX века, но до сих пор ряд проблем, связанных, в первую очередь, с лабораторными исследованиями эффектов распространения электромагнитных в неинерциальных системах отсчета, остается открытым. Поэтому задачи, сформулированные в диссертации актуальны, а результаты исследования представляют научный интерес.

В работе проведено законченное исследование, состоящее из синтеза необходимых выражений для решения задач дифракции на вращающихся осесимметричных телах, анализа этих выражений с позиции точности и применимости их в системах автоматизированного проектирования электродинамических систем и валидации результатов, полученных как аналитическими, так и вычислительными методами.

В первой главе приводятся результаты вывода постоянной распространения электромагнитных волн в неинерциальных системах отсчета. Доказывается необходимость в проведении пространственно-временной декомпозиции системы, в которой динамика цели изучается в лабораторной системе отсчета только по вторичным электромагнитным полям. Временная декомпозиция объясняется на основе электронной теории Лоренца и заключается в протекании токов в проводящей среде вращающегося объекта, связанных с движением электронов под действием центробежной силы.

Пространственная декомпозиция связана с искривлением пространства волнового вектора электромагнитных волн в неинерциальной системе отсчета, следствием которого является дефлексия лучей, характеризуемая углами эквивалентной рефракции. Оба этих эффекта связаны с неинерциальностью системы отсчета и отсутствуют в инерциальных системах. В итоге, постоянная распространения выводится тремя различными способами: строгим координатным, методом пространственных гармоник и методом поверхностного источника. Автор показывает преимущества и недостатки каждого описанного метода.

Вторая глава работы посвящена анализу выражений полученных в первой главе. Для применения расчетных выражений на сложные осесимметричные формы объектов был разработан алгоритм их стратификации на цилиндрические слои по известной силуэтной функции. Представлены строгие решения задач дифракции на вращающемся бесконечном круглом цилиндре и вращающейся сфере, с применением постоянной распространения, полученной методом разложения на пространственные гармоники. Сформулирована и доказана теорема о решении задачи дифракции электромагнитных волн на вращающихся телах, которые имеет аналитическое решение для состояния покоя. Для проведения высокоточного численного моделирования описан алгоритм оптимизации объемной конечно-элементной сетки.

В третьей главе приведены результаты валидации. Достоверность строгих решений дифракционных задач для цилиндра и сферы доказана непрерывностью соответствующих компонент электрического поля при прохождении границы раздела между неподвижной и движущейся средой. Численные решения, полученные с помощью алгоритмов стратификации и конечно-элементной сеточной оптимизации, сверены с аналитическими результатами по стандартизированным протоколам валидации. Для экспериментальной верификации результатов работы предложена схема целевого эксперимента. Проведено планирование эксперимента. Представлено описание проведенного натурного эксперимента по изучению эффектов вторичного поля рассеянного от вращающегося цилиндрического объекта, зависящих от времени. В контексте автоматизации и минимизации ошибок при постановке целевого эксперимента был разработан и описан функциональный цикл распределенного мультифизического моделирования.

**Научная новизна** проведенных в диссертации исследований заключается в разработанной пространственно-временной декомпозиции системы вращающегося рассеивателя сложной осесимметричной формы, для учета всех эффектов распространения электромагнитных волн в неинерциальных системах

отсчета, а также в рекомендациях по экспериментальному исследованию релятивистских эффектов электродинамики и по их практическому применению.

**Достоверность** результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается корректным использованием аналитических методов для получения строгих выражений и систем автоматизированного проектирования, корректностью подходов к планированию и проведению экспериментальных исследований и подтверждается результатами стандартизированных протоколов валидации и данными полученными другими авторами и опубликованными в открытых источниках научной информации.

**Научная и практическая ценность** работы состоит в том, что автором были получены алгоритмы стратификации объекта и его численного электродинамического моделирования с контролируемой точностью. Эти алгоритмы были апробированы на других актуальных задачах радиофизики, например, излучение антенны на основе линзы Лüneберга и доказали свою эффективность.

Основные результаты диссертационной работы обсуждены на международных научно-технических конференциях и опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня, рекомендованного ВАК. Автореферат достаточно полно отражает материалы диссертации и соответствует ее содержанию.

Однако необходимо отметить ряд **недостатков** диссертационной работы:

1. В диссертации не объяснено, почему для получения материальных уравнений движущейся среды и вывода времени существования тока, создаваемого центробежными силами, была использована электронная теория Лоренца и модель проводимости Друде, а не более современные представления по затронутой проблеме.
2. Автор, по тексту диссертации, неоднократно указывает тот факт, что решений дифракционных задач для вращающихся тел, в которых бы учитывались эффекты неинерциальности системы отсчета, в открытых источниках им найдены не были. Тем не менее, он проводит сравнение полученных им результатов с результатами других исследователей без введения каких-либо дополнительных допущений.
3. Автору рекомендуется дать более полное описание используемого им метода валидации данных FSV и доказать, что полученные результаты сверки являются приемлемыми и достаточными.
4. В работе имеет место ряд стилистических и редакционных недостатков, однако не влияющих, в свою очередь, на восприятие и понимание текста. Необходимо отметить, что указанные недостатки **не снижают** общего

положительного впечатления от работы, ее научного, теоретического и практического значения. Диссертация Зейде Кирилла Михайловича «Дифракция электромагнитных волн на вращающихся осесимметричных телах» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК, ее содержание соответствует специальности 01.04.03 – Радиофизика, а Зейде Кирилл Михайлович заслуживает присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

**Табакон Дмитрий Петрович**

доктор физико-математических наук,

профессор кафедры радиоэлектронных систем ФГБОУ ВО "Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики"

Почтовый адрес: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23.

Телефон: 8-987-945-9003

E-mail: illuminator84@yandex.ru

15

мая 2019 г.

Подпись официального оппонента

Табакон Дмитрий Петровича заверяю

Секретарь Ученого совета ПГУТИ



Витевская О.В.