

ОТЗЫВ

официального оппонента, профессора, доктора физико-математических наук Самохина Александра Борисовича на диссертационную работу Фетисов Сергея Николаевича «Метод снесения граничного условия в задаче рассеяния электромагнитных волн на идеально проводящих объектах малой толщины», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы исследования. Диссертация посвящена развитию методов численного решения задач дифракции монохроматических электромагнитных волн на идеально проводящих объектах.

В настоящее время методы математического моделирования в задачах рассеяния электромагнитных волн широко применяются при разработке сложных технических устройств и систем. Для внешних задач электродинамики популярными являются методы граничных интегральных уравнений в виду ряда преимуществ перед другими методами: отсутствие необходимости построения сеточного представления области вне исследуемого объекта; автоматическое выполнение условий излучения на бесконечности и др. В рамках этого метода определенные трудности возникают при решении задач рассеяния на телах малой, но конечной толщины, когда нельзя полностью пренебречь толщиной тела и заменить его экраном. Здесь возникает необходимость очень подробного сеточного описания таких геометрических особенностей исследуемых объектов как скругления малого радиуса, острые клиновидные кромки.

Целью диссертационной работы является разработка подхода к решению вышеуказанной задачи на основе снесения граничного условия на срединную поверхность.

Рассматриваемый подход ориентирован на разработку в рамках метода граничных интегральных уравнений алгоритма, не требующего сгущения расчетной сетки и сохраняющего устойчивость при уменьшении толщины тела. Такое исследование представляет собой большой интерес с точки зрения развития методов граничных интегральных уравнений и является актуальным.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении автор дает обоснование актуальности исследования; представляет обзор литературы по направлению исследования; описывает особенности применения методов граничных интегральных уравнений; формализуется цель и основные задачи работы; характеризуется степень новизны полученных результатов.

В первой главе автор рассматривает метод решения задачи рассеяния электромагнитных волн на идеально проводящих объектах в общем случае. Ставится краевая задача для уравнений Максвелла, в которой полное электромагнитное поле представляется суммой первичного (возбуждающего) и вторичного (рассеянного) полей, а на поверхности исследуемого объекта ставится граничное условие равенства нулю касательной компоненты полного поля. Далее описывается известный метод решения задачи, в котором неизвестная напряженность вторичного поля выражается в интегральном виде через поверхностные токи, что позволяет свести задачу к решению граничного интегрального уравнения. Описан известный метод численного решения этого уравнения на основе кусочно-постоянной аппроксимацией неизвестных функций и принципа коллокации.

Во второй главе автор описывает предлагаемый метод, заключающийся в решении новой краевой задачи. В новой задаче электромагнитное поле ищется вне срединной поверхности исследуемого объекта, которая представляет собой тонкий экран. Для учёта исходной формы исследуемого объекта рассматривается граничное условие, использующее информацию об ортах нормали, снесенных на срединную поверхность с обеих сторон исходной поверхности объекта. При этом возникает краевая задача на экране с двусторонними граничными условиями. Эта задача сводится автором к системе граничных интегро-дифференциальных уравнений на срединной поверхности. Далее для этих уравнений построена численная схема на основе метода коллокации с применением кусочно-постоянных аппроксимации. При аппроксимации интегральных операторов вычисление слабо сингулярных интегралов производится с применением сглаживающих множителей и дополнительного разбиения ячеек. Так же здесь получена формула для аппроксимации возникшей в уравнении поверхностной дивергенции от векторной функции. Далее автор выписывает систему уравнений и выражения для вычисления коэффициентов матрицы.

В третьей главе дана информация о разработанном комплексе программ, форматах ввода и вывода данных. Представлена информация об использованных программных средствах разработки.

В четвертой главе приводятся результаты численного решения тестовой задачи и анализ полученных результатов. Рассматривается задача рассеяния на крыле конечного размаха с варьируемой максимальной толщины профиля. Приводится сравнение сеточной сходимости в задаче определения диаграммы обратного рассеяния, причем сравниваются результаты, полученные по предложенной модели и при решении стандартными методами. Так же описываются результаты верификации численных решений сравнением с результатами физического эксперимента. В конце главы приводится анализ погрешности в задаче определения прямой (двухпозиционной) диаграммы рассеяния.

В заключении приводятся основные результаты работы.

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в разработке нового подхода к решению задачи рассеяния электромагнитных волн на идеально проводящих объектах малой толщины, способного преодолеть недостатки, присущие методу граничных интегральных уравнений для таких задач. Здесь ставится новая краевая задача на серединной поверхности, с записью граничных условия на обеих сторонах. Задача сведена к системе интегро-дифференциальных уравнений на этой поверхности, построена численная схема решения такой задачи и проведено тестирование, показавшее работоспособность предложенного подхода в целом.

Практическая и научная ценность работы. Практическая ценность работы заключается в разработке метода, позволяющего на практике сократить количество требуемых вычислительных ресурсов для решения задачи рассеяния на объектах малой толщины, относительно исходного метода. Научная ценность работы состоит в том, что показана на принципиальном уровне применимость подхода со снесением граничного условия в задачах рассеяния электромагнитных волн.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов. При решении поставленной краевой задачи использован строгий математический аппарат: система интегральных уравнений выписана на основе известных свойств краевых значений интегральных операторов. Обоснованность и достоверность предложенного подхода в целом подтверждается проведением верификации на результатах физического эксперимента, а также сравнением с результатами, получаемыми известным численным методом для точной формы тела.

Замечания по работе:

1. Представляет интерес анализ поведения краевых значений электрического и магнитного поля, получаемых в предложенной новой задаче и сравнение их с краевыми значениями этих полей на исходной поверхности в исходной задаче. По сути это есть вопрос о возможности восстановления поверхностных токов, возникающих на реальной поверхности тела, на основе решения задачи со снесенными граничными условиями.
2. В диссертации тестирование проводилось только для прямоугольного крыла. Интересно было бы посмотреть на работоспособность данного подхода на телах различной формы и при различных направлениях облучения и поляризации.
3. Автором приводятся данные по улучшению сеточной сходимости решения предложенным методом относительно исходного метода, но не приводятся данные по сокращению времени решения.
4. При решении реальных задач обычно задается сеточная модель поверхности в виде набора значений координат вершин ячеек разбиения. Как в этом случае строить серединную поверхность (сеточную модель серединной поверхности)? Обязательно ли нужно использовать именно серединную поверхность, или можно использовать какую-то поверхность, лежащую между поверхностями, ограничивающими тело малой толщины?

Общая оценка работы. Стоит отметить, что вышеуказанные замечания не снижают общей положительной оценки работы в целом и не уменьшают ценности основных теоретических и практических результатов исследования. Работа выполнена на высоком научном уровне, а ее результаты представляют научную ценность.

Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Результаты работы докладывались и обсуждались на научных конференциях (в том числе международных) и научных семинарах.

Результаты диссертации опубликованы в 7 печатных изданиях, 3 из которых входят в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертации на соискание учёной степени кандидата наук, в том числе 2 работы входят в систему цитирования Web of Science или Scopus.

Считаю, что диссертация отвечает всем квалификационным требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор **Фетисов Сергей Николаевич** заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,

профессор, доктор физико-математических наук (специальность 01.01.07 – Вычислительная математика), профессор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

А. Самохин Самохин Александр Борисович

« 13 » 06 2023 г.

Подпись руки Самохина А.Б.
удостоверяю Заместитель начальника
Управления кадров

