

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Ахмедова Ильзара Альбертовича «Исследование плоских электромагнитных полей в слоистых диэлектрических системах для решения оптимизационных задач просветления», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности – 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы. Задачи синтеза различных физических систем привлекают в последнее время все большее внимание исследователей. К этому же классу относится задача о синтезе оптических систем с заданными характеристиками (энергетическими коэффициентами пропускания и отражения). Такие системы могут быть получены путем создания многослойных покрытий, наносимых в виде тонких пленок на поверхность «подложки». Достаточно полно были исследованы свойства систем с небольшим числом слоев равной оптической толщины (произведение показателя преломления на толщину слоя). Однако задача синтеза многослойных покрытий требует дальнейшего как теоретического изучения, так и разработки эффективных алгоритмов решения, реализуемых на компьютерах. Настоящая диссертация посвящена именно этим вопросам, рассматриваемым на примере систем с однородными, изотропными, непоглощающими диэлектрическими слоями при нормальном падении световой волны.

Совершенствование способов передачи информации в оптических системах, обеспечение электромагнитной совместимости и устойчивости функционирования оптоэлектронных устройств связано с развитием принципов и технологий построения многослойных структур. Исследование таких структур предполагает разработку и совершенствование методов анализа их строгих электродинамических моделей и синтеза структур с заданными электродинамическими свойствами. Строгий подход позволяет не только достичь высокой точности расчета электродинамических характеристик устройств, но и выявить факторы, влияющие на эти характеристики.

Таким образом, тема диссертации, посвященной совершенствованию методов электродинамического анализа и синтеза слоистых диэлектрических систем (СДС), является актуальной.

Содержание работы, раскрывающее суть полученных соискателем результатов и сформулированных на их основе выводов и рекомендаций, изложено во введении, четырех главах и приложениях.

В первой главе диссертационной работы рассматривается прямая задача дифракции плоскополяризованной монохроматической гармонической электромагнитной волны, нормально падающей на слоистую систему из N изотропных однородных диэлектрических слоев, а также постановки оптимизационных задач.

В §1.3 изучено решение прямой задачи для СДС при помощи матриц передачи. Сформулированы условия для единственности решения прямой задачи дифракции. Важным результатом исследования основной системы уравнений является установленная в §1.4 связь между модулями амплитуд прямой и обратной волн, вытекающая из закона сохранения энергии для диэлектрической системы. В §1.5 введены профилирующие функции СДС и получена точная их оценка, откуда вытекает точная оценка для энергетического коэффициента отражения СДС. Установлено, что классом функций, связанным с оптическими задачами СДС, является класс почти-периодических функций частоты ω и его подкласс в виде тригонометрических полиномов. В §1.6 введено определение просветления на заданной частоте границы двух полупространств с импедансами веществ p^- слева и p^+ справа от их границы.

Приведены исходные математические постановки двух оптимизационных задач просветления, где функционал качества системы — дробно-рациональная функция: классическая (на фиксированной частоте), и в смысле Чебышева (для заданного интервала частот). Кроме того, даны постановки «ослабленной» задачи (когда варьируются только толщины слоев) и задачи просветления в среднем — для всех частот (интегральном среднем за период).

Во второй главе проводится исследование и аналитическое решение оптимизационных задач просветления для случая однослойной СДС. Доказывается, что «ослабленная» классическая задача просветления для заданной частоты однослойной системы имеет счетное число решений. Наилучшее просветление однослойной системой в среднем по всем частотам имеет единственное решение. В §2.4 доказано существование единственного глобального минимума в смысле минимизации максимального значения энергетического коэффициента отражения на заданном интервале $[\Omega_1, \Omega_2]$. Для решения ослабленной задачи просветления в смысле Чебышева используется метод подвижного отрезка. Устанавливается, что глобальный минимум в ослабленной задаче просветления в смысле Чебышева, всегда существует и достигается в нулевом окне просветления. Далее, доказывается, что общая задача просветления в смысле Чебышева имеет K локальных точек минимума.

Третья глава посвящена аналитическому исследованию двухслойной СДС. Приводится анализ структуры пространства параметров $\mathcal{P}_2$, в результате которого были обнаружены характерные области изменения параметров p_1, p_2 . При переходе из одной такой области в другую такую область происходят качественные изменения поведения профилирующей функции. Упомянутые выше области образуются при пересечении характерных линий, а именно: линий вырождения системы в однослойную систему, линий, на которых обращаются в нуль вычислительные параметры $\alpha_i = 0$, или линий на которых попарно совпадают между собой величины модулей вычислительных параметров $|\alpha_i| = |\alpha_j|$. С помощью введения

вспомогательных параметров s_1, s_2 , графически анализируется пространство параметров $\mathcal{P}_2$ двухслойной СДС. Устанавливается важное свойство о том, что классы двухслойных СДС, отвечающие внутренним точкам (s_1, s_2) каждой из областей, обладают свойством устойчивости, т.е. воспроизводимости свойств соответствующих СДС при малых вариациях параметров (s_1, s_2) внутри этой области.

В §3.3 изучаются нули и экстремумы профилирующей функции. Приводится необходимое и достаточное условие для существования нетривиальных решений системы уравнений, определяющей нули энергетического коэффициента отражения. Описываются границы расположения нулей, соответствующих областям, полученным для пространства параметров $\mathcal{P}_2$. В §3.4 приводится решение "классической" (для заданной частоты) задачи просветления двумя слоями. При помощи вычислительных параметров СДС описаны все возможные ситуации с существованием нулей у энергетических коэффициентов отражения произвольных двухслойных СДС. Вводится понятие области просветления для СДС и анализируются области просветления, их границы и вершины. Получена формула для всех решений классической ослабленной задачи. В §3.5 приводится решение задачи просветления в среднем.

В четвертой главе представлен алгоритм решения задачи о наилучшем просветлении в смысле Чебышева в двухслойной СДС. В §4.1 описываются области просветления двухслойных СДС, их локализация и классификация. В §4.2 представлен численный алгоритм отыскания наилучшего просветления для ослабленной задачи в смысле Чебышева, а также программа, реализующая вычислительный алгоритм. Описываются особенности реализации алгоритма для различных классов областей просветления. Приведены блок-схема алгоритма поиска наилучшего просветления и блок-схема алгоритма для локального класса областей просветления.

В Приложении А представлено Свидетельство о регистрации программного комплекса.

В Приложении Б представлены графические материалы различных классификаций областей просветления, отвечающих соответствующим зонам в пространстве $\mathcal{P}_2$.

В Заключение сформулированы основные результаты и выводы работы.

Тематика диссертации Ахмедова И.А. соответствует предметной области, определенной пунктами 2,3,4 раздела «Области исследований» паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ:

2. Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей.
3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий.

4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

К числу наиболее значимых научных результатов работы, на мой взгляд, относятся следующие:

1. Введены новые понятия порождающих функций СДС и профилирующих функций СДС, а также вычислительных параметров СДС, важных при постановке и решении оптимизационных задач просветления. Получены неулучшаемые оценки профилирующих функций СДС, из которых вытекают неулучшаемые оценки энергетических коэффициентов отражения и пропускания СДС. Впервые введено фундаментальное неравенство, определяющее понятие просветления заданной системы на заданной частоте или интервале частот.
2. Подробно изучено пространство импедансов 2-слойной СДС. Показано, что классы СДС, отвечающие внутренним точкам области, обладают важным для практики свойством устойчивости основных характеристик СДС по отношению к малым возмущениям их импедансов, не выводящим из соответствующего класса СДС. Получено решение ослабленной и полной классической задачи просветления оптики для 2-слойных СДС.
3. Разработан и протестирован программно-вычислительный комплекс, численно решающий ослабленную задачу просветления в смысле Чебышева.

Степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Достоверность результатов и выводов диссертационной работы обеспечивается строгими математическими доказательствами теоретических результатов, полученных в диссертационном исследовании, математическим обоснованием разработанных алгоритмов и численных методов решения рассмотренных задач, тестированием программного комплекса, сравнением численных результатов с аналитическими решениями.

Новизна научных результатов, выводов и рекомендаций. Научная новизна диссертационной работы, научных результатов, выводов и рекомендаций определяется тем, что предложенный в диссертации новый подход к анализу и решению ряда задач синтеза слоистых диэлектрических систем, позволил решить математические задачи просветления в разных постановках, и разработать эффективные численные методы их решения, в частности, задачи просветления для двух произвольных слоев.

Теоретическая значимость диссертации состоит в усовершенствовании методов строгого электродинамического анализа применительно к СДС, а

также в возможности использования при дальнейшем развитии теории и практическом решении задач просветления в различных постановках для произвольных СДС.

Практическую ценность несут полученные в диссертации численные результаты по решению ряда задач просветления и программно-вычислительный комплекс, позволяющий решать задачи просветления для двух произвольных слоев.

Замечания и недостатки:

1. Обзор литературных источников не является достаточно полным. Например, классическая работа в этой области В.Б. Гласко, А.Н. Тихонов, А. В. Тихонравов, «О синтезе многослойных покрытий», Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 1974, том 14, номер 1, 135–144, не упомянута.
2. Нет сравнения результатов, полученных с помощью предложенного численного метода, с результатами, полученными другими численными методами. Отсутствуют также значения времени решения задач на компьютере.
3. Нормировка к 1 амплитуды прошедшей волны выглядит неестественно: обычно нормируют амплитуду падающей волны, так как она известна.
4. Не всегда используются общеупотребительные в данной области термины, например, «пришедшая» и «вышедшая» волны (вместо «прямая» и «обратная»).
5. На с.64 и с.69 в диссертации после слов «Доказательство» само доказательство не приведено.

Вместе с тем, отмеченные недостатки, непосредственно не охватывающие основные научные результаты и положения, выдвигаемые для защиты, не снижают общего позитивного впечатления от работы и не ставят под сомнение ее положительную оценку.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. В нем в лаконичной форме ясно и четко изложены основные результаты и выводы по работе, показан определяющий вклад соискателя в проведенные исследования, отражены степень новизны и практическая значимость результатов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

На основе анализа диссертации Ахмедова И.А. «Исследование плоских электромагнитных полей в слоистых диэлектрических системах для решения оптимизационных задач просветления» можно сделать выводы:

1. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены новые научные

результаты в области оптимизационных задач просветления СДС, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области математического моделирования в электродинамике и оптике. Ее тематика соответствует пунктам 2,3,4 раздела «Области исследований» паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки).

2. Диссертация является завершенной научной работой, обладающей внутренним единством, содержит новые научные результаты, нашедшие практическое применение, и свидетельствующие о личном вкладе автора в науку.

3. Работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ахмедов И.А. достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки).

Официальный оппонент, д.ф.-м.н., профессор,
заведующий кафедрой «Математика и суперкомпьютерное моделирование»
Пензенского государственного университета

Начальник управления кадров
Пензенского государственного университета

 Ю.Г. Смирнов

 В.И. Проскурина

Заведующий кафедрой "Математика и суперкомпьютерное моделирование"
Пензенского государственного университета, д.ф.-м.н., профессор

Смирнов Юрий Геннадьевич

адрес: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40

тел. (8412)368096, 89674407544

e-mail: mmm@pnzgu.ru