

ОТЗЫВ

Официального оппонента д.т.н. Климова К. Н.

на диссертационную работу Полянского Ивана Сергеевича

«Математическое моделирование и структурно-параметрический синтез

адаптивных многолучевых зеркальных антенн»,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Целью диссертационной работы Полянского И. С. является разработка методов математического моделирования, анализа, эффективного решения задач синтеза и управления адаптивными многолучевыми зеркальными антеннами (АМЛЗА) во взаимосвязи внешней и внутренней задач электродинамики с учетом эффектов дифракции и переотражения. Ее **актуальность** следует рассматривать с позиции разработки инвариантных к воздействию преднамеренных и непреднамеренных помех адаптивных антенных систем. Анализируя **степень разработанности** темы исследования при учете технических решений, применяемых в адаптивной оптики, Иван Сергеевич определяет предпочтительность применения в качестве указанных инвариантных адаптивных антенн – адаптивные многолучевые зеркальные антенны. При том, что зависимость свойств АМЛЗА от особенностей конструкции, взаимного размещения облучающих элементов и формы деформируемого рефлектора приводит к выявлению дополнительных возможностей антенны при реализации методов пространственно-временной обработки сигналов. Для эффективного решения указанной проблемы Полянским И. С. предполагается разработка математической теории АМЛЗА, связанная с решением следующих основных задач: 1) формализация проблемы управления адаптивной многолучевой зеркальной антенной;

2) разработка новых численных методов решения задач электродинамики для снижения вычислительных затрат при достижении приемлемого уровня адекватности; 3) модификация существующих аналитических методов для увеличения точности оценки показателей эффективности адаптивной антенны зеркального типа при учете эффектов дифракции и переотражения. Решение указанных задач позволяет разрабатывать адекватные математические модели для анализа, синтеза и управления АМЛЗА при совместном решении внешней и внутренней электродинамических задач теории антенн и формировать на их основе эффективные алгоритмы управления.

Текст диссертации включает введение, пять глав, заключение, список литературы и приложения.

Во введении приведены описание современного состояния проблемы, обоснована актуальность и научная новизна работы, определены цель, задачи и методы исследования. Изложены теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, сведения об апробации работы и основных публикациях.

В первой главе проведен анализ ретроспективы объекта и предмета исследования, определяющий предпосылки существования научной проблемы при структуризации проблем теории и практики. Выделены основные критерии (максимум отношения правдоподобия) и показатели (отношение мощности сигнала к мощности совокупности помехи и шума, коэффициент выигрыша адаптации и время адаптации) эффективности управления адаптивными антеннами зеркального типа. На основе результатов ретроспективного анализа сформулирована концепция диссертационного исследования. Разработана физико-математическая модель управления АМЛЗА при взаимоувязанном решении внешней и внутренней задач электродинамики теории антенн и сведения стохастического дифференциального уравнения состояния в смысле Ито к краевой задаче в раскрывах излучателей по распределению нормированного значения

плотности потока энергии. Выполнена оценка предельного числа подавления помех АМЛЗА. Определена необходимость разработки эффективных численных методов для разрешения задач вычислительной электродинамики относительно формируемой математической теории АМЛЗА. В диссертационной работе задачи вычислительной электродинамики разделены на два типа: 1) отыскание решения уравнений Максвелла или соответствующих им волновых уравнений в ограниченной расчетной области с заданными граничными условиями; 2) решение неоднородных волновых уравнений в неограниченной расчетной области анализа с учетом условий излучения на бесконечности.

Вторая глава посвящена разработке численного метода решения задач вычислительной электродинамики I типа – барицентрического метода. Основное допущение метода связано с тем, что область анализа Ω представляется односвязной замкнутой областью с кусочно-линейной границей в R^2 или R^3 . Определены методы задания гармонических барицентрических координат для Ω . Заданные методы базируются на решении задач прямого и обратного конформных отображений Ω на каноническую область. Изложена суть барицентрического метода, применяемого для решения как скалярных, так и векторных однородных и неоднородных уравнений Гельмгольца. Также определена реализация барицентрического метода при решении волновых уравнений во временной области при управлении электромагнитным полем.

В третьей главе на основе теории функции комплексного переменного разработан модифицированный метод последовательных конформных отображений, позволяющий выполнить строгое решение задачи обратного конформного отображения многоугольника на единичный круг (для задач в R^2). Сформированы методы прямого и обратного конформных отображений многогранника на единичный шар (для задач в R^3). Для алгебраического описания изометрий в R^3 использована алгебра кватернионов. С целью строгого решения прямой и обратной задач конформного отображения определены конформные отобра-

жения в R^3 : шара на верхнее полупространство, верхнего полупространства с выброшенным сегментом шара на двухгранный угол, двухгранного угла на верхнее полупространство, многогранного угла на верхнее полупространство. Формирование простейших конформных отображений в R^3 основано на разработанных в третьей главе методах разложения регулярных кватернион-функций в обобщенные степенные ряды.

В четвертой главе для решения задач вычислительной электродинамики II типа в формируемой математической теории АМЛЗА выполнена модификация токового метода, позволяющего учесть эффекты дифракции и переотражения для различных поляризационных составляющих электромагнитного поля. Для эффективного анализа многоэлементных АМЛЗА в приближении барицентрического метода разработано вариационное решение сингулярных интегральных уравнений электрического и магнитного полей в теории зеркальных антенн. Далее в соответствии с логикой выполняемой работы с применением барицентрического метода и принципа максимума Понтрягина сформирована постановка задачи управления формой рефлектора при определении способа параметризации деформируемой отражающей поверхности АМЛЗА. Проведено обоснование достоверности получаемых результатов на основе разработанных аналитических и численных методов математического моделирования АМЛЗА, сформированы рекомендации по предпочтительности выбора конкретного метода в зависимости от числа и вида элементов в конструкции анализируемой антенны зеркального типа.

В пятой главе с целью наиболее эффективного синтеза и управления адаптивной многолучевой зеркальной антенной разработана модификация гибридного генетического метода для решения задач глобальной оптимизации многоэкстремальных функций, в общем случае содержащей точки разрыва первого и второго рода. Разработаны алгоритмы структурно-параметрического синтеза и управления адаптивной многолучевой зеркальной антенной. Проведено

на оценка их эффективности. На основе полученных в рамках диссертации результатов разработан проблемно-ориентированный программный комплекс автоматизированного решения класса задач по моделированию, анализу, синтезу и управлению адаптивными многолучевыми зеркальными антеннами. С применением разработанного программного комплекса проведены вычислительные эксперименты при оценке эффективности разработанных в рамках исследования алгоритмов синтеза и адаптации АМЛЗА с исследование зависимостей отношение мощности сигнала к мощности совокупности помехи и шума, коэффициент выигрыша адаптации и время адаптации от различных конструктивных особенностей антенной системы и сигнально помеховых обстановок.

В заключении подведены итоги исследования на предмет достижения цели, поставленной в рамках решенной научной проблемы.

По теме диссертации опубликовано 64 работы. Из них 33 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России, в том числе в журналах, входящих в системы цитирования Scopus и Web of Science. По результатам исследования изданы 3 монографии (в соавторстве и единолично), 1 учебное пособие (в соавторстве), получено 3 патента на изобретение и 14 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Результаты диссертационной работы рекомендуются использовать при разработке алгоритмического и специального программного обеспечения в виде проблемно-ориентированного программного комплекса для интеллектуальной поддержки при проектировании и управлении адаптивными антенными системами зеркального типа.

Практическую значимость определяют конструктивные предложения по реализации полученных в исследовании теоретических результатов с учетом выполненных экспериментальных исследований с применением разработанного проблемно-ориентированного программного комплекса. Разработанный барицентрический метод использован в расчетах рационального места установки

дополнительного облучателя при расширении оперативно-технических возможностей станции космической связи «Ребус-Ц» в в/ч 61608.

Теоретическая значимость проведенного исследования заключается: 1) в разработке и развитии математической теории адаптивных многолучевых зеркальных антенн в частности и теории математического моделирования, анализа и синтеза зеркальных антенн, их излучающих и отражающих элементов в целом при совершенствовании вариационных методов решения краевых задач математической физики – барицентрического метода; 2) разработке эффективных методов прямого и обратного конформных отображений односвязных областей с кусочно-линейной границей в R^2 и R^3 на основе теории функции комплексного переменного и дополненной теории кватернионного анализа в части разложения кватернион-функций в обобщенные степенные ряды.

Обособленность и достоверность основных результатов проведенного Полянским И. С. исследования подтверждается сопоставительным анализом между уже существующими и разработанными математическими моделями и методами, результатами многочисленных численных экспериментов по верификации решений, а также сравнением результатов расчетов с численными результатами других авторов и выходными данными современных и широко используемых систем автоматизированного проектирования антенн и устройств СВЧ.

В качестве замечания следует отметить, что в работе не уделено должного внимания оценке зависимости показателей качества адаптации (отношение мощности полезного сигнала к мощности совокупности шума и помехи, коэффициента выигрыша и др.) от частоты дискретизации интервала управления АМЛЗА при учете характеристик (вид модуляции, информационная скорость и пр.) принимаемого полезного сигнала, конструктивных особенностей АМЛЗА и условий сигнально-помеховой обстановки. Исследование указанной зависимости необходимо, например, для формулирования рекомендаций по допустимости и учету влияния на эффективность адаптации временной задержки при

формировании механической системой приводов требуемой формы деформируемого рефлектора при непосредственном техническом проектировании АМЛЗА.

Отмеченное замечание носит рекомендательный характер и не снижает теоретическую и практическую ценность полученных Иваном Сергеевичем результатов.

Считаю, что диссертация И. С. Полянского «Математическое моделирование и структурно-параметрический синтез адаптивных многолучевых зеркальных антенн» соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. (ред. от 28.08.2017 г.) № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ОКБ ОАО «Лианозовский электротехнический завод»

27 апреля 2018 г.



/К.Н.Климов/

Личную подпись Климова Константина Николаевича заверяю:
начальник отдела кадров АО НПО ЛЭМЗ

27 апреля 2018 г.



/П.С.Суворов/



Рабочий адрес:

127411, г. Москва, Дмитровское шоссе, 110, ЛЭМЗ

АО «НПО «ЛЭМЗ»

Рабочий телефон: +7 (495) 627-11-89

Мобильный телефон: +7 (926) 529-33-70

Адрес электронной почты: const0@mail.ru