

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор НГТУ
по научной работе,
Заслуженный деятель науки,
д.т.н., профессор
А.Г. Вострецов
2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования

«Новосибирский Государственный Технический Университет»

на диссертационную работу

Мухина Александра Васильевича

«Исследование радиотехнических характеристик зеркальных антенн
космических аппаратов», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 05.12.07 –
«Антенны, СВЧ устройства и их технологии»

Актуальность диссертационной работы

Проектирование и производство устойчиво работающих на земной орбите антенных систем космических аппаратов является важнейшим этапом в развёртывании новых и модернизации существующих спутниковых навигационных, телекоммуникационных и коммерческих систем регионального и глобального форматов. В проектировании таких систем существенной особенностью является локализация выходной радиочастотной мощности бортовой электроники в зоне покрытия/обслуживания земной поверхности и всемерная минимизация той части мощности полезного спутникового сигнала, которая попадает на сопредельные с зоной покрытия территории. Поэтому системный подход к обоснованию, выбору и совершенствованию элементов спутниковой антенной системы на всех уровнях её иерархической структуры имеет существенное значение.

Немаловажно также обеспечить необходимый уровень производственной и эксплуатационной технологичности проектируемых спутниковых антенных систем, так как себестоимость запуска ракеты-носителя не позволяет заниматься, так сказать,

2

экспериментальной отработкой антенн на земной орбите методом проб и ошибок. Последнее возможно только на Земле, да и то не всегда. В обеспечении требуемого уровня технологичности существенную роль играют метрологические алгоритмы и процедуры, которые должны быть адекватными всё возрастающим критериям точности, полноты и автоматизации, а также требованиям минимизации материальных и временных затрат. Последнее невозможно без непрерывного совершенствования методов и средств измерения радиотехнических характеристик антенных систем космического базирования. Поэтому цель диссертационной работы и выбор задач для её достижения актуальны.

Соответствие темы диссертационной работы научным специальностям

В диссертационной работе А.В. Мухина получен ряд результатов по совершенствованию спутниковых антенн, включающих: полномасштабное моделирование зеркальных многолучевых антенн с оценкой искажений диаграмм направленности их лучей; выработку процедур измерений радиотехнических характеристик бортовых контурных антенн и антенн-зондов Российского производства; интегральное оценивание ремонтпригодности проектируемых спутниковых антенн в процессе их технологической доводки; системное исследование поляризационных особенностей космических зеркальных многолучевых антенн.

Кроме того, проанализированы особенности влияния технологических факторов и неточностей юстировки технологической оснастки при изготовлении зеркальных рефлекторов спутниковых антенн, проработаны алгоритмы и выявлены особенности использования частотного и временного методов измерения их ключевых радиотехнических характеристик по данным мониторинга электромагнитного поля в ближней зоне применительно к семейству отечественных космических аппаратов, оценены предельно достижимые показатели качества технологической доводки зеркальных рефлекторов спутниковых антенн при использовании контрольно-измерительных машин и сканеров ближнего поля.

Таким образом, тема диссертационной работы Мухина Александра Васильевича соответствует по техническим наукам специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии» в областях исследования «Исследование характеристик антенн и СВЧ устройств для их оптимизации и модернизации, что позволяет осваивать новые частотные диапазоны, обеспечивать электромагнитную совместимость, создавать высокоэффективную технологию и т.д.» (п. 2 паспорта), «Исследование и разработка новых антенных систем, активных и пассивных устройств СВЧ, в том числе

3

управляющих, фазирующих, экранирующих и других, с существенно улучшенными параметрами» (п. 3 паспорта).

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав и заключения, содержит список используемых источников из 75 наименований, 85 рисунков, 6 таблиц и одно приложение на 7-ми страницах. Общий объем диссертационной работы – 140 страниц.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследований, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, а также их апробация.

В главе 1 выполнен обзор методов измерений радиотехнических характеристик спутниковых антенн, в том числе метод измерения в дальней зоне и амплифазометрический. Охарактеризована также методика измерений параметров антенн с использованием мониторинга поля в ближней зоне, осуществляемого на сертифицированном оборудовании АО «ИСС». На основе системного анализа степени влияния различных факторов технологического процесса АО «ИСС» и процедур контроля параметров на различных его стадиях обоснована необходимость использования сверхширокополосных автоматизированных измерительно-вычислительных комплексов и разработки новых методик измерений характеристик антенн космического базирования.

В главе 2 на основе системного подхода выполнен сравнительный анализ нескольких типов зеркальных антенн, обеспечивающих требуемое покрытие территории Российской Федерации с учётом её границ. В процессе анализа оценены ключевые показатели антенн с точки зрения их электромагнитной совместимости, в том числе: коэффициент усиления, уровень боковых лепестков и кросс-поляризационная развязка. По результатам анализа сделан вывод о целесообразности применения двузеркальной антенны Кассегрена с верхней запиткой по схеме Драгонэ. Такой подход обобщён на стадию эскизного проектирования с целью поиска наилучшей архитектуры зеркальной антенны космического базирования, предназначенной для покрытия произвольно заданной территории земного шара.

В главе 3, которая по объёму составляет почти треть работы, проведен подробный анализ возможностей использования имеющихся методик измерения радиотехнических характеристик применительно к разным типам спутниковых зеркальных антенн. В ходе анализа выявлен ряд особенностей и недостатков тех или иных методов измерений, которые проявляются в неодинаковой мере. Степень этой неодинаковости зависит от типа обследуемой антенны: у одних антенн недостатки методик проявляются слабо, у других

эти же недостатки становятся доминирующими. Такой подход подкреплён статистическими результатами, полученными в АО «ИСС» на сертифицированном оборудовании. При этом упомянутые методики обобщены на технологический процесс АО «ИСС» и имеющуюся там технологическую оснастку, стоимость которой заметна, так что вопросы совершенствования методов измерения параметров антенн в условиях стоимостных ограничений становятся весьма актуальными. В ходе исследований в главе предложены алгоритмы метрологических процедур с многофакторным использованием имеющихся автоматизированных комплексов, включая волоконно-оптические линии связи. Это позволило дать рекомендации по контролю технологического процесса создания зеркального рефлектора и его технологической доводки на различных стадиях, включая межоперационный ремонт дефектов поверхности зеркала с целью 100-процентного исключения брака, так как стоимость готового зеркала весьма высока. Здесь же проработаны вопросы минимизации влияния корпуса спутника на антенну и предложена методика наведения/прицеливания зеркальной антенны с орбиты спутника на заданную зону обслуживания/покрытия поверхности с учётом влияния эллиптичности поляризации её излучения. Степень расхождения полученных и требуемых характеристик спутниковых антенн характеризуется долями децибела и градуса, что свидетельствует о тщательности выполненных в главе 3 исследований и их адекватности современным воззрениям на архитектуру орбитальных антенн.

В главе 4 представлена единая методика измерений радиотехнических характеристик спутниковых антенн на базе различных видов сертифицированного в АО «ИСС» измерительного оборудования. Выявлены ключевые особенности процедур измерения, даны практические рекомендации по их использованию. Завершается глава формулировками рекомендаций по организации рабочих мест при работе с различными типами спутниковых антенн и визуализации полученных результатов с целью оформления Актов выполненных работ для Заказчиков или рекламных кампаний.

Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций

В работе получены следующие новые научные результаты:

1. На базе проведенного моделирования выявлены особенности формирования зеркальными многолучевыми антеннами требуемого покрытия земной поверхности набором лучей с учетом искажений их диаграмм направленности, обусловленных выносом облучателя из фокуса зеркала.

2. Разработана методика измерений и показана согласованность характеристик зеркальных контурных антенн в ближней зоне при изменении расстояния до антенно-зонда.

3. На электродинамическом уровне дана оценка влияния процедуры восстановления профиля зеркала в процессе технологической доводки на итоговые радиотехнические характеристики антенны с учётом юстировки технологической оснастки в АО «ИСС».

4. Предложены алгоритмы оценивания влияния эллиптичности электромагнитного поля облучателя офсетной антенны на форму её диаграммы направленности.

Значимость результатов работы для науки и практики

Теоретическая значимость работы характеризуется следующими обстоятельствами.

1. В работе показано, что в Q-диапазоне частот для оценки качества проведенного технологического ремонта недостаточно применять контрольно-измерительные машины и целесообразно использовать сканеры ближнего поля. Этот факт важен для освоения более высокочастотных диапазонов, в части использования соответствующей экспериментальной базы, её развития, поддержания её метрологических характеристик и направления на это соответствующих ресурсов. Фактически, сделан значимый шаг к научному обоснованию целесообразности замены старого подхода принципиально новым, что имеет большое значение для выбора направления развития антенных измерений.

2. Изученные особенности влияния технологического ремонта рефлектора и технологической оснастки на радиотехнические характеристики антенн, несомненно, помогут выявлению скрытых причин различных эффектов и закономерностей, лежащих в их основе, а значит, созданию теоретических основ соответствующего совершенствования измерений антенн космических аппаратов.

3. Разработанная автором методика воплотила в себе накопленный опыт измерения радиотехнических характеристик антенн, что важно для систематизации, обобщения и последующего непрерывного развития алгоритмов и методик таких измерений.

Практическая значимость работы весьма убедительна, детально сформулирована автором в 7-ми пунктах, каждый из которых тесно связан с плановой работой АО «ИСС» - крупнейшего Российского предприятия по созданию космических аппаратов для околоземной, средней круговой и геостационарной спутниковых орбит. Кроме того,

представляется важным отметить, не подчеркнутую автором, но проходящую красной нитью по всей работе, значимость её результатов именно для практического обеспечения электромагнитной совместимости. Эта значимость подтверждается всей работой, в том числе, особым вниманием автора к таким характеристикам антенн как кросс-поляризационная развязка и уровень боковых лепестков, а также к оценке влияния различных факторов на эти характеристики.

Достоверность результатов работы

Достоверность основана на корректном использовании результатов моделирования и аналитических методов теории антенн, а также на согласованности итогов моделирования и экспериментов при высокой повторяемости их результатов от антенны к антенне, полученных на современном сертифицированном оборудовании, используемом в АО «ИСС».

Публикации и апробация результатов работы

Результаты диссертационной работы, опубликованные в 12 работах, известны специалистам в области антенной техники сверхвысоких частот. В журналах Перечня ВАК опубликовано 3 статьи («Научноёмкие технологии», «Инфокоммуникационные технологии», «Доклады ТУСУР»). Имеются 9 докладов на Всероссийских научно-технических конференциях.

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в направлениях, характеризующихся нижеследующим.

1. Обоснование возможности применения частотного и временного методов измерения радиотехнических характеристик антенн в ближней зоне, выполненное для космических аппаратов «Луч», «Енисей», «Благовест» и показанная согласованность радиотехнических характеристик антенн, измеренных в ближней и дальней зонах, частотным методом и с использованием широкополосной волоконно-оптической линии передачи, а также коэффициента усиления частотным и импульсным методами, позволяют рекомендовать совместное использование альтернативных методов для повышения достоверности измерений, или их гибкую взаимозамену для уменьшения сроков измерений, при испытаниях аналогичных антенн перспективных космических аппаратов указанных или им подобных.

2. Экспериментально подтвержденная неэффективность технологического ремонта рефлекторов антенн, работающих в Q-диапазоне частот, позволяет рекомендовать

7

отказ от планирования и проведения такого ремонта для экономии затрат на оборудование, инструменты, материалы и оплату труда, причём не только в АО «ИСС», но и в других предприятиях, где возникнет подобная задача. При этом естественна рекомендация направить ресурсы на совершенствование изготовления рефлекторов, повышающее выход годных изделий.

3. Показанная согласованность измерений радиотехнических характеристик антенны с использованием антенн-зондов различных производителей, в том числе АО «ИСС», является достойной иллюстрацией успешного импортозамещения во все более наукоемких областях и позволяет рекомендовать использовать антенны-зонды разработки АО «ИСС» не только на этом предприятии, но и в других предприятиях, использующих подобные зонды.

4. На основе представленных Актов о внедрении в учебный процесс, результаты работы могут быть использованы в курсах лекций, лабораторных и практических занятиях, а также в курсовом и дипломном проектировании университетов по радиоэлектронным и инфокоммуникационным направлениям.

Замечания по диссертационной работе

1. Известно, что важной составляющей метрологических процедур является оценка погрешностей проведенных измерений. Такие оценки позволяют выявить обстоятельства, формирующие наибольший вклад в итоговую погрешность. Между тем, в работе не полно отражена информация об оценке погрешности проведенных измерений.

2. Известно, что радиус круглого волновода с доминантной волной TE_{11} составляет примерно $1/3$ от длины центральной волны рабочего диапазона. На частоте 8.5 ГГц (длина волны в воздухе примерно 35 мм) это даёт значение радиуса волновода примерно 11 мм (диаметр 22 мм). Между тем, диаметр раскрыва конического рупора, используемого в качестве облучателя, указан равным 14 мм (стр. 36 работы). В результате получается, что диаметр раскрыва рупора меньше диаметра круглого волновода, но соответствующие разъяснения такому выбору рупора в разделе 2 не приведены.

3. Представляется не вполне удачным использование слова «кополярный» (стр. 66 работы; стр. 12, рис. 3.5 автореферата) для обозначения понятий «основная поляризация» или «плоскость основной поляризации».

4. В работе на странице 29 в предпоследнем предложении 3-го абзаца замечен пропуск нескольких слов.

Однако, перечисленные замечания носят всё-таки локальный характер и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы в целом.

Выводы

8

Диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, выполненной по актуальной тематике и отвечающей критериям научной новизны и практической значимости. Основные результаты, раскрывающие сформулированные автором цель и задачи работы, в достаточной степени опубликованы в периодической печати. Автореферат диссертации адекватно отражает ее основное содержание и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ и ГОСТ 7.0.11–2011.

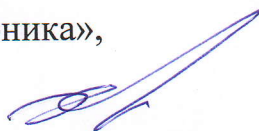
Заключение

Диссертационная работа Мухина Александра Васильевича является научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача разработки и совершенствования методик измерений радиотехнических характеристик зеркальных многолучевых антенн космических аппаратов, начиная с заводской стадии доводки зеркального рефлектора и заканчивая всей антенной с учётом корпуса её носителя на орбите искусственного спутника, имеющая важное хозяйственное значение для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры, что соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённым постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 30.07.2014), а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

Отзыв на диссертационную работу обсужден на заседании межкафедрального научно-технического семинара факультета «Радиотехника и электроника» Новосибирского государственного технического университета 26 октября 2016 г., протокол № 5.

Председатель семинара, декан
факультета «Радиотехника и электроника»,

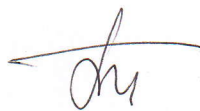
д.т.н., профессор



В.А.Хрусталев

Секретарь семинара

д.т.н., профессор



А.П.Горбачев