

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

На диссертационную работу Доманова Сергея Константиновича «Влияние технологических факторов на радиотехнические характеристики антенн космических аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

### **Актуальность работы**

Разнообразие и важность задач спутниковых систем информационного обеспечения является толчком для развития и совершенствования антенных систем космических аппаратов (КА) и методов измерения их характеристик. Увеличивающееся число контролируемых параметров и высокий уровень требований к современным бортовым антенно-фидерным устройствам (АФУ) обуславливает сложность и многообразие применяемого измерительного оборудования. Особенности условий применения антенн КА, сложность и уникальность решаемых ими задач, тенденция на увеличение рабочих частот требуют применения различных проектных, технологических, конструктивных, и измерительных решений. Всё это обуславливает актуальность проведения исследований в выбранной диссертантом области, направленных на качественную и количественную оценку различных факторов, оказывающих влияние на результаты измерений антенн КА, а также на поиск сокращения времени процесса измерений при проведении наземной экспериментальной отработки (НЭО).

### **Соответствие диссертации представленной специальности**

Объектом исследования в диссертации Доманова С.К. являются методы обеспечения стабильности радиотехнических характеристик (РТХ) антенн КА в процессе их изготовления и эксплуатации. Автором рассматриваются различные технологии изготовления антенн космических аппаратов, методики измерения их характеристик в СВЧ диапазоне, особенности спецоборудования, применяемого для исследования свойств перспективных антенных систем. Таким образом, представленная диссертация соответствует паспорту специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии», пункты 6 и 7.

### **Содержание диссертационной работы**

В состав диссертации входят введение, 5 разделов, заключение, список литературы из 137 наименований, приложения из 10 страниц. Объем диссертации с приложениями – 144 с., в т.ч. 61 рис. и 10 таблиц.

**Цель работы** заключалась в проведении экспериментальной оценки влияния актуальных факторов производственного процесса на радиотехнические характеристики РТХ антенн КА, разработки рекомендаций по минимизации их влияния, а также выявления и выбора практических методик, позволяющих повысить точность результатов измерений РТХ.

В первом разделе (с. 13-38 диссертации) проведен обзор современных методов измерения РТХ антенн, приводятся ссылки на литературные источники, в том числе зарубежные. Описаны алгоритмы обработки результатов измерений в ближней зоне (БЗ) на плоскости. Описана методика измерений на современных комплексах дальней зоны (ДЗ), отмечена роль ведущих отечественных предприятий в области антенных измерений. Убедительно обоснована актуальность исследований в выбранной диссертантом области, сформулированы задачи исследования.

Во втором разделе (с. 39-50 диссертации) приведены расчетные и экспериментальные оценки влияния технологической панели корпуса КА и специализированного технологического стенда на итоговые результаты измерений РТХ многолучевой антенны Q-диапазона. Результаты измерений сравниваются с рассчитанными значениями посредством программной среды Grasp. Также проведены оценки влияния технологического ремонта на результаты измерений характеристик направленности офсетной антенны Q-диапазона.

Третий раздел (с. 51-72 диссертации) посвящен определению оценок влияния на результаты измерений РТХ антенн КА при использовании различных измерительных средств, к которым относятся: частотное и времяимпульсное оборудование, измерительные схемы с оптическим оборудованием и с преобразованием частоты, различные зондовые антенны (ЗА). Полученные результаты позволили автору сделать выводы о степени взаимозаменяемости различных средств измерений.

В четвертом разделе (с. 73-100 диссертации) рассматриваются особенности различных методик измерений РТХ антенн КА. Автор диссертации исследована зависимость результатов ближнепольных измерений от расстояния. Проведены измерения отклонения электрической оси исследуемой антенны (ИА) с эллиптической поляризацией при отклонении оси ЗА от нормали к плоскости сканирования. Исследованы особенности измерения коэффициента эллиптичности при использовании автоматизированного измерительного комплекса ДЗ.

Пятый раздел (с. 101-113 диссертации) автор посвятил вопросам рассмотрения возможных способов сокращения времени процесса измерения РТХ антенн КА. К ним автор отнес одновременное использование нескольких приемников векторных анализаторов цепей (ВАЦ) при измерении РТХ исследуемых многолучевых антенн, позволяющее сократить время измерений до 1,6 раза, а в отдельных случаях и до двух раз. В работе

показано, что увеличение шага ближнепольного сканирования позволяет для некоторых приложений сократить время измерений в нескольких раз.

### **Новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Новизна полученных автором результатов обосновывается уникальностью решаемых задач на предприятии АО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнёва» (далее АО «ИСС») в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн. На основе предложенных и детально разработанных подходов обеспечено эффективное использование современного специализированного оборудования при НЭО антенн КА в виде горизонтального сканера ближнего поля, способного реализовывать все основные типы поверхностей сканирования и возможностью отклонения ЗА в угломестной плоскости, и многопортового ВАЦ.

Достоверность полученных диссертантом результатов обеспечивается применением сертифицированных и поверенных автоматизированных измерительных комплексов. Результаты измерений верифицируются путем использования различных средств измерений (частотный и времяимпульсный методы измерений, использование различных ЗА при ближнепольных измерениях, проведение измерений в дальней и ближней зонах излучения ИА, сравнением однопортовых и двухпортовых измерений). Автором представлены согласующиеся результаты аналитической оценки, электродинамического моделирования и эксперимента. В диссертации приведены сведения о повторяемости результатов измерений и ссылки на метрологические характеристики, используемых измерительных комплексов. Результаты моделирования обосновываются применением сертифицированного программного обеспечения Grasp, в котором расчет поля зеркальных антенн осуществляется методами физической оптики и геометрической теории дифракции.

### **Значение для теории и практики научных результатов, выводов и положений, сформулированных в диссертации**

В целом диссертационная работа Доманова С.К. имеет практическую направленность, о чём свидетельствуют названия большинства подразделов, содержащих слова и словосочетания «эксперимент», «измерение», «сравнительный анализ результатов измерений». В качестве объектов исследования выступают реальные изделия, изготовленные с требуемой точностью из композитных материалов, используемых при производстве бортовых антенн КА. В тексте диссертации приводятся геометрические параметры ИА и их рабочий частотный диапазон.

Несомненный интерес, на мой взгляд, представляют, результаты диссертации, связанные с использованием перспективных многолучевых антенн К- и Q-диапазонов и антенн с контурной диаграммой направленности (ДН), технологии производства которых активно осваиваются в последние годы. Определенный практический интерес представляют также проведенные автором исследования по поиску повышения эффективности (уменьшения затраченного времени при приемлемой точности) процесса измерений путем уменьшения шага ближнепольного сканирования и одновременного использования нескольких приемников ВАЦ. При этом следует обратить внимание, что в большинстве литературных источников рассматриваются лишь классические измерения простейших апертурных антенн с одним портом и полуволновым шагом сканирования. Экспериментально проверена применимость теоретического выражения для определения угла отклонения ДН в плоскости, ортогональной оси симметрии, в антеннах с эллиптической поляризацией при работе ИА на левой и правой поляризации. Из этого делается вывод о высокой практической применимости данного аналитического выражения (формула 4.1). Также автором проверяются на практике и некоторые теоретические формулы, связанные с возможностью увеличения шага ближнепольного сканирования для заданного угла восстановления ДН, и делаются выводы о недостаточной приближенности для практического применения данного аналитического выражения (формула 5.2).

Важным свидетельством практической значимости проведенных диссертантом исследований являются 3 Акта о внедрении, полученных от АО «ИСС» и ООО «Научно-производственного предприятия «ТРИМ СШП измерительные системы» (предприятия, лидирующего на отечественном рынке в области производства антенных автоматизированных измерительных комплексов), приложенных к работе.

Таким образом, полученные автором диссертационной работы результаты обладают определенной научной и существенной практической значимостью.

#### **Подтверждение опубликования основных результатов диссертации**

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 15 печатных работах, из них 4 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК. Все представленные на защиту результаты получены автором лично и неоднократно обсуждались на конференциях.

Считаю, что основное содержание диссертации, ее основные научные положения и практические результаты достаточно полно отражены в публикациях и докладах автора.

### По диссертационной работе имеются замечания:

1. В работе приводятся общие сведения о погрешностях измерений в БЗ на плоскости, однако не представлены оценки погрешностей для конкретных случаев при проведении экспериментов, автор ограничивается отсылками на паспортные метрологические характеристики измерительных комплексов.
2. В подразделе 2.2 не приведена электродинамическая модель антенны, с которой сравниваются измеренные ДН.
3. Представленные графики измеренных ДН в некоторых случаях имеют разный масштаб, что затрудняет анализ полученных результатов.
4. Некоторые ссылки на литературу оформлены не в соответствии с общепринятыми правилами.

### Заключение

Несмотря на указанные замечания, не касающиеся существа работы, считаю, что диссертация Доманова Сергея Константиновича представляет собой законченную самостоятельную квалификационную работу, в которой достигнуты важные научные и практические результаты. Работа отвечает требованиям п. 9 Положения (утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 824) о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Официальный оппонент,  
д.т.н., профессор ФГБОУ ВО  
«Новосибирский государственный технический университет»,  
профессор кафедры теоретических основ радиотехники.

Разинкин Владимир Павлович

Разинкин В.П.

07.12.2018г.

630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20,

Тел. +7(383)346-08-34, e-mail: [razinkin\\_vp@mail.ru](mailto:razinkin_vp@mail.ru)

Подпись Разинкина В.П. заверяю:

Начальник ОК НГТУ



Пустовалова О.К.