

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Комнатнова Максима Евгеньевича

**«Анализ эффективности экранирования
бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата
и создание устройств для испытаний на электромагнитную
совместимость»**,

представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальностям:
05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии;
05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы диссертации

Выбранная автором тема актуальна в связи с неуклонным ростом быстродействия средств вычислительной техники и рабочих частот аналоговой техники, что предъявляет всё более жёсткие требования к электромагнитной совместимости (ЭМС), для обеспечения которой зачастую используют экранирование пластиной или корпусом. Таким образом, необходимо совершенствование как самих методов анализа эффективности экранирования, так и устройств, позволяющих выполнить оценку помехоэмиссий и помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры. Совершенствование испытаний, приближая работу испытуемого устройства к условиям эксплуатации, при которых каждый работающий блок или узел изделия создаёт вокруг себя не только электромагнитные, но и тепловые поля, которые влияют на работу устройства в целом, позволит выявить наиболее чувствительные компоненты и осуществить оценку их электромагнитной стойкости.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений и выводов диссертационной работы подтверждается тем, что для получения результатов и их пояснения эффективно использованы аналитические оценки, имитационное моделирование разными численными методами в различных программных продуктах и натурный эксперимент. Для подтверждения первого научного положения автором использованы известные методики и аналитические оценки, приведенные во многих журнальных статьях мирового уровня и стандарте Европейского авиакосмического агентства. Для подтверждения второго положения эффективно использованы программы, одна из которых включает вычисление с использованием численных методов. Для подтверждения третьего положения автор применил известную аналитическую оценку, также эффективно применил подход к электродинамическому моделированию при помощи двух разных численных методов в известном и востребованном на мировом уровне программном продукте, а также выполнил натурный эксперимент. Для подтверждения четвертого положения автор привел логичное описание разработки, методик

испытаний, конструкцию и провел ряд натурных экспериментов. Таким образом, основные положения и выводы подтверждаются соответствующими результатами анализа, компьютерного моделирования и измерений. В конце каждой главы диссертационной работы представлены основные выводы по результатам исследований.

Достоверность результатов

Достоверность результатов подтверждена следующим:

- совпадением результатов, полученных при помощи выражений в замкнутой форме, с результатами численных методов;
- согласованностью результатов моделирования разными численными методами в нескольких программных продуктах;
- совпадением результатов моделирования и натурального эксперимента;
- обсуждением на научных конференциях международного и всероссийского уровней и публикациями в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК.

Научная новизна

Научная новизна работы определяется комплексом полученных автором результатов:

- разработана методика анализа ЭЭ бортовой РЭА КА, отличающаяся использованием аналитического, квазистатического и электродинамического подходов;
- выявлены особенности частотных зависимостей ЭЭ: металлической пластины; корпуса соединителя; унифицированного электронного модуля, корпуса блока системы автономной навигации;
- предложена методика оптимизации геометрических размеров ТЕМ-камеры, отличающаяся совместным использованием аналитического, квазистатического и электродинамического подходов;
- разработаны ТЕМ-камеры для испытаний на ЭМС и биомедицинских исследований с возможностью климатических воздействий на объект.

Автором создана ТЕМ-камера и разработаны ГТЕМ-камера и полосковая линия, а также представлена разработка новой климатической экранированной камеры, позволяющей получить новые знания.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость результатов определяется следующим:

Во-первых, получено в замкнутом виде выражение для связи апертуры с корпусом в аналитической модели для эффективности экранирования корпусом с апертурой.

Во-вторых, применительно к оптимизации структуры и геометрических размеров ТЕМ-камеры результативно использован комплекс численных методов.

В-третьих, показано, что нанесение мюметалла на внутренние боковые стенки ТЕМ-камеры позволяет снизить коэффициент отражения и расширить рабочий диапазон частот.

Практическая значимость работы определяется следующими факторами.

Во-первых, разработкой программных модулей для быстрого вычисления ЭЭ различных геометрических размеров корпуса с апертурой и материалов для разных полей, которые позволили выполнить оценку и дать рекомендации по повышению ЭЭ реальной бортовой РЭА КА для ОАО «ИСС».

Во-вторых, результатами проведенного анализа ЭЭ радиотехнического блока и блока системы автономной навигации КА с предложенными рекомендациями по повышению ЭЭ.

В-третьих, разработкой методики расчета ТЕМ-камер для вычисления оптимальных геометрических размеров, на основе которых может быть изготовлена ТЕМ-камера для высоты испытываемого объекта (ИО) от 5 мм до 40 мм.

В-четвертых, разработкой конструкции ТЕМ-камеры, которая превышает характеристики существующих камер по диапазону частот (до 2 ГГц) и высоте испытываемого объекта (до 20 мм).

В-пятых, разработкой технических требований, облика, методов применения для такого нового устройства как климатическая экранированная камера, предназначенная для испытаний компонентов и небольших устройств на помехозащищенность и помехоустойчивость с одновременным климатическим воздействием на испытываемый объект, а также для биомедицинских исследований.

Практическая значимость полученных результатов подтверждается их внедрением в производство и учебный процесс нескольких университетов.

Анализ содержания диссертации

В состав диссертации входят: введение, 3 главы, заключение, список литературы из 260 наименований, список сокращений и условных обозначений, приложение на 30 с. Объем диссертации с приложением – 216 с., в т.ч., 107 рисунков и 15 таблиц.

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 50 работ (3 работы без соавторов), 8 статей в рецензируемых журналах (из них – 6 в журналах из перечня ВАК), 1 патент на изобретение, 8 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 3 доклада на зарубежных конференциях, 30 тезисов и докладов на отечественных конференциях.

Автореферат диссертации написан и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ и в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

В первой главе диссертации автор достаточно широко обосновал актуальность работы со ссылками на патенты, действующие стандарты и текущие исследования методов вычисления ЭЭ, а также устройств на основе линий передачи и их применения для конкретных задач; привёл структурированный обзор источников по методам быстрого вычисления ЭЭ корпуса с апертурой; представил необходимость исследований и испытаний на совместные климатические и электромагнитные воздействия.

Во второй главе автором описана разработанная методика анализа ЭЭ корпуса с апертурой, применяя полученное им упрощенное аналитическое выражение для коэффициента связи апертуры с корпусом. Также, одним из основных отличий методики является применение комплекса разнообразных программных продуктов, позволяющих оценивать ЭЭ с учетом неточностей, возникающих при изготовлении экранов. Выполнено вычисление ЭЭ и приведены рекомендации по её повышению для разных реальных устройств и блоков бортовой РЭА КА, изготавливаемых известным предприятием АО «ИСС».

В третьей главе на основе разработанной автором методики, разработаны и созданы различные устройства на основе линий передачи (ТЕМ/GТЕМ-камеры, полосковая линия). Приведена ТЕМ-камера, которая имеет характеристики, выше, чем у зарубежных аналогов и пригодна для исследований и испытаний согласно стандартам на помехозащиту и помехоустойчивость ИС, небольшой РЭА, а также БО, представляющих собой клетки и ткани живых организмов и растений. Представлены облик, технические требования, приведены технические характеристики, и разработаны методы применения новой климатической экранированной камеры для совместных климатических и электромагнитных испытаний на ЭМС.

В заключении подведены итоги работы и сформулированы основные результаты, полученные соискателем.

В приложении представлены акты о внедрении результатов диссертационной работы в производство и учебный процесс нескольких университетов, показывающие высокую значимость результатов работы и квалификацию автора, а также копии патента, свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, дипломы и грамоты.

Замечания

1. Не понятно, учитывалась ли при анализе электромагнитного экранирования корпусов предложенными аналитическими моделями (стр. 21 и 64) наполненность их функциональными узлами и блоками, возможно ли это и насколько это может повлиять на результаты.

2. Сравнение различных методов анализа электромагнитного экранирования корпусов радиоэлектронных средств, например на стр. 70, указывает на определенные расхождения (до 20–35 дБ). Хотелось бы получить некую интерпретацию причин их возникновения.

3. Вызывает сомнения, была ли острая необходимость в рассмотрении в рамках данной работы неких биологических задач (стр. 118–120). Хотя, сама по себе возможность использования предложенных инструментов для задач в разной сфере, несомненно, является положительным фактом.

4. В работе имеется большое количество сокращений, цифровых данных в тексте, цифровых и буквенных обозначений, слишком детальное описание отдельных задач, что усложняет ее восприятие.

Однако указанные замечания не умаляют достоинств диссертационной работы и носят рекомендательный характер. Диссертация написана в хорошем стиле, грамотным языком, оформлена в соответствии с установленными требованиями и обладает научно-практической значимостью.

Заключение

Диссертация М.Е. Комнатнова является завершённой квалификационной работой, выполненной автором на хорошем научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Считаю, что рассматриваемая диссертация полностью удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 30.07.2014), а её автор, Максим Евгеньевич Комнатнов, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальностям: 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии и 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук, доцент,
Казанского национального
исследовательского технического
университета им. А.Н. Туполева-КАИ



/З.М. Гизатуллин/

Гизатуллин Зиннур Марселевич, к.т.н., доцент
кафедры «Системы автоматизированного проектирования»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10
e-mail.com: gzm_zinnur@mail.ru,
тел. раб. 8(843) 231-00-81



Подпись Гизатуллина З.М. заверяю: