

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный технический
университет», д.т.н., доцент



С.В. Брованов

2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственных технический университет» на диссертационную работу Иванова Антона Андреевича «Методы, программы и устройство для оценки эффективности экранирования типовых экранирующих конструкций радиоэлектронных средств», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Актуальность работы

Поступательное развитие радиоэлектронных средств (РЭС) профессионального/специального и широкого применения, а также повышение плотности интеграции электронных компонентов при сборке блоков, комплексов и систем радиодиапазона волн выдвигают на передний план необходимость решения задач электромагнитной совместимости. Среди этих задач ключевую позицию занимает электромагнитное экранирование РЭС, поскольку их устойчивость к воздействию внешних электромагнитных помех напрямую зависит от параметров и электрических характеристик экранирующей конструкции. Создание новых и совершенствование существующих аналитических и численных методов, а также разработка новых подходов к испытаниям экранирующих конструкций способствуют сокращению времени проектирования и повышению надежности функционирования радиоэлектронного оборудования во всех сферах его использования. Поэтому выбранная тема диссертационного исследования является актуальной.

Соответствие диссертации научной специальности

Диссертационная работа посвящена разработке методов, программного обеспечения и устройства для определения эффективности экранирования

типовых экранирующих конструкций РЭС. Предложены новые аналитические методы для моделирования цилиндрических и прямоугольных экранирующих конструкций, а также многослойных экранов из полимерных композитов, являющихся одними из наиболее перспективных материалов, применяющихся для изготовления электромагнитных экранов радиоэлектронных узлов и блоков, имеющих неустраняемую склонность (в какой-то мере, крайне нежелательную/паразитную) улавливать весьма малые высокочастотные наводки. На основе предложенных методов разработаны компьютерные программы для моделирования экранирующих конструкций, результативно использованные при разработке корпусов помехозащитных фильтров силовой шины электропитания космического аппарата, устройства эквивалента сети и блока питания и управления климатической экранированной камеры. Разработан и программно реализован алгоритм для электродинамического моделирования экранирующих конструкций численным методом матрицы линий передачи, с помощью которого детально исследована эффективность экранирования многоуровневой экранирующей конструкции, состоящей из двух прямоугольных корпусов. Разработаны устройство и оснастка, позволяющие выполнять испытания прямоугольных и цилиндрических экранов на эффективность экранирования без внесения в них тестовой антенны-пробника или датчика поля. Таким образом, диссертационная работа Иванова А.А. соответствуют специальности «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» в областях исследования: «Исследование явлений прохождения электромагнитных волн различных диапазонов через среды, их рассеяния и отражения» (п. 2 паспорта), «Создание теории синтеза и анализа, а также методов моделирования радиоэлектронных устройств» (п. 8 паспорта), «Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания и сертификации радиотехнических устройств» (п. 9 паспорта).

Содержание работы

В состав диссертационной работы входят введение, 4 раздела, список принятых сокращений и условных обозначений, список литературы из 227 наименований, а также 2 приложения. Объем диссертации с приложениями составляет 182 страницы.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи работы, описаны научная новизна, теоретическая и практическая значимости диссертации. Также сформулированы научные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об использовании, апробации и публикации результатов исследования, а также о личном вкладе автора.

В первом разделе представлен обзор устройств и методов оценки эффективности экранирования типовых экранирующих конструкций РЭС. Рассмотрены основные подходы к измерению эффективности экранирования, а также существующие численные и аналитические методы для моделирования

экранирующих конструкций и материалов, применяющихся при их изготовлении.

Во втором разделе представлены разработанные аналитические методы для расчета эффективности экранирования металлических экранирующих конструкций и многослойных композитных экранов. Приведено сравнение частотных зависимостей эффективности экранирования, полученных разработанными аналитическими методами, электродинамическим моделированием, а также с помощью измерений.

Третий раздел посвящен разработке вычислительных алгоритмов и программного обеспечения современного уровня взаимодействия с пользователями для моделирования типовых экранирующих конструкций РЭС на основе аналитических и численных методов.

В четвертом разделе представлены результаты разработки устройств для косвенных измерений эффективности экранирования металлических экранирующих конструкций РЭС. Разработана программная часть устройства для расчета эффективности экранирования, предложены 4 варианта измерительной оснастки, созданы структурная схема и внешний облик устройства.

Заключение содержит выводы диссертационного исследования по итогам решения сформулированных научных задач, представлены рекомендации по использованию этих результатов, а также охарактеризованы перспективы дальнейшей разработки вышеупомянутой тематики.

В приложениях приведены копии документов, подтверждающих внедрение результатов исследования, а также основные индивидуальные достижения/индикаторы автора.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы, включая цель и задачи, решаемые в диссертации, где также перечислены основные результаты и выводы. Структура автореферата соответствует установленной стандартом ГОСТ Р 7.0.11 – 2011.

Научная новизна

В рамках диссертационного исследования получены следующие новые научные результаты:

1. Предложены усовершенствованные методы моделирования эффективности экранирования, отличающиеся учетом заполнения экранирующих конструкций проводящими пластинами и структурами из диэлектриков и радиопоглощающих материалов.

2. Предложена модификация аналитического метода расчета эффективности экранирования многослойного экрана, отличающаяся способом вычисления характеристического сопротивления его материалов на частотах радиодиапазона.

3. Разработано устройство для испытания экранирующих конструкций на эффективность экранирования, отличающееся использованием измерительной оснастки на основе микрополосковых линий с квази-Т волной или камеры с

поперечной электромагнитной волной применительно к цилиндрическим экранам с возможностью трехмерной визуализации результатов измерений.

Значимость результатов работы для науки и практики

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

1. Изложены теоретические основы усовершенствованных методов моделирования эффективности экранирования, предназначенных для экранирующих конструкций, заполненных проводящими пластинами, а также структурами из диэлектриков и радиопоглощающих материалов.

2. Произведена модернизация аналитических методов моделирования электромагнитных процессов в области прямоугольной апертуры и массива круглых апертур при их произвольном расположении на стенке экранирующей конструкции.

3. Применительно к анализу эффективности экранирования многослойных электромагнитных экранов из полимерных композитных материалов результативно использованы разработанный аналитический метод и экспериментальная методика измерений с применением коаксиальной камеры.

4. Изучены частотные зависимости эффективности экранирования металлических экранирующих конструкций РЭС при расположении в них проводящих пластин, а также структур из диэлектриков и радиопоглощающих материалов.

Практическая значимость диссертационного исследования подтверждена тремя актами внедрения и состоит в следующем:

1. Аналитические методы, основанные на них алгоритмы и программное обеспечение разработаны и внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «ТУСУР» (г. Томск), а также в АО «ИСС» им. М.Ф. Решетнёва (г. Железногорск) в рамках создания экранирующих конструкций элементов силовой шины электропитания космического аппарата и устройств, входящих в состав аппаратно-программного комплекса для её испытаний.

2. Алгоритм для моделирования экранирующих конструкций РЭС на основе метода матрицы линий передачи разработан и внедрен в ООО «НПК «ТЕСАРТ» (г. Томск) в рамках создания программного модуля для электродинамического анализа антенных элементов.

3. Определены частотные зависимости эффективности экранирования многослойных экранов, выполненных на основе полимерных композитных материалов с наполнителями из частиц меди и углерода, в рамках выполнения работ по хоздоговору с ООО «ТехЭкра».

4. Выработаны практические рекомендации по применению аналитических методов при проектировании электромагнитных экранов, а также методика оптимизации многоуровневых экранирующих конструкций РЭС.

5. Создан лабораторный макет устройства для косвенных измерений эффективности экранирования металлических экранирующих конструкций РЭС и определены его преимущества, а также охарактеризованы направления

дальнейшей модернизации предложенных в работе вариантов измерительной оснастки.

Достоверность результатов работы и положений, выносимых на защиту

Достоверность и обоснованность основных результатов работы и научных положений, выносимых на защиту, подтверждаются согласованностью результатов вычислений предложенными методами с электродинамическим моделированием и экспериментальными исследованиями, а также корректным применением теории линий передачи с распределёнными по длине параметрами и теории линейных электрических цепей. Реализуемость предложенных устройств для косвенных измерений эффективности экранирования подтверждается как моделированием, так и экспериментально.

Апробация результатов работы и публикации

Основные результаты диссертационной работы докладывались и представлялись в материалах следующих конференций:

1. Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР», г. Томск, 2016, 2018, 2019 и 2020 гг.

2. Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 2018 и 2020 гг.

3. Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», г. Томск, 2019 и 2020 гг.

4. Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии», г. Томск, 2020 г.

5. Региональная научно-практическая конференция «Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения», г. Томск, 2020 г.

6. Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем», г. Москва, 2020 г.

7. IEEE International conference of young professionals in electron devices and materials, Республика Алтай, 2020 и 2021 гг.

Результаты работы опубликованы в 27 работах (5 без соавторов), в том числе 4 статьи в изданиях из перечня ВАК, 1 статья в журнале из первого квартиля (Q1) Scopus, 5 статей в изданиях, индексируемых в Web of Science и (или) Scopus, 10 докладов в трудах международных конференций, 1 доклад на региональной конференции, 4 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ и 2 патента.

Рекомендации по использованию результатов работы

Разработанные аналитические методы и программное обеспечение целесообразно применять для оперативной оценки эффективности экранирования на этапах эскизного проектирования экранирующей

6
конструкции РЭС. Для подтверждения результатов этой оценки, а также для
детального анализа эффективности экранирования разработанной
конструкции, перед её изготовлением и проведением испытаний можно
использовать алгоритм на основе метода матрицы линий передачи. Созданное
устройство для косвенных измерений целесообразно применять на
завершающих этапах проектирования экранирующей конструкции до
проведения измерений эффективности экранирования с помощью
сертифицированной экспериментальной установки. Предложенные в
диссертационной работе подходы к моделированию и измерению
эффективности экранирования также могут использоваться в образовательном
процессе высших технических учебных заведений по направлениям
радиотехники и электроники.

Замечания по диссертационной работе

В процессе обсуждения выявлен ряд замечаний, в том числе:

1. Неодинаковая глубина проработки вопросов. Например, оценивание погрешностей измерений модуля коэффициента отражения разработанного устройства, проведенное в 4-м разделе диссертационной работы, выполнено без привлечения статистических методов расчёта доверительных интервалов.

2. В пункте 2.3.3 диссертации приведены результаты вычислений эффективности экранирования многослойных экранов из полимерных композитов на основе полипропилена с частицами меди и углерода. При этом не указаны значения диэлектрической и магнитной проницаемостей этих материалов, которые использовались при вычислениях.

3. Как правило, в разработанных программах результат вычислений эффективности экранирования отображается в виде частотных зависимостей. Между тем, на практике востребованы и другие формы представления результатов расчета эффективности экранирования. Например, во временной области в случаях, когда в качестве воздействия рассматриваются импульсные сигналы радиодиапазона.

Отмеченные недостатки не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Выводы

1. Диссертационная работа А.А. Иванова является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

2. Основные результаты диссертации являются новыми и отвечают критериям научной и практической значимостей. В работе решена задача совершенствования методов моделирования и измерений экранирующих конструкций РЭС.

3. Результаты работы апробированы на международных и отечественных конференциях, опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных научных изданиях и известны специалистам радиотехнического профиля.

Заключение

Считаем, что диссертационная работа «Методы, программы и устройство для оценки эффективности экранирования типовых экранирующих конструкций радиоэлектронных средств» соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 28.08.2017), а её автор, Иванов Антон Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв на диссертационную работу и её автореферат после доклада соискателя обсуждён и одобрен на заседании кафедры «Радиоприёмные и радиопередающие устройства» (РПиРПУ) ФГБОУ ВО «НГТУ», состоявшемся 15 ноября 2021 года, протокол № 10.

Заведующий кафедрой «РПиРПУ»,
д.т.н., доцент



М. А. Степанов

Секретарь,
к.т.н., доцент



И. С. Савиных

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

630073, г. Новосибирск, Проспект Карла Маркса, 20.

Телефон: (383) 346-50-01, E-mail: rector@nstu.ru, <http://www.ntsru.ru>