

« УТВЕРЖДАЮ »

Проректор по науке и инновациям  
Федерального государственного  
бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего образования



«Воронежский государственный  
технический университет»  
(ФГБОУ ВО «ВГТУ»)

А.В. Башкиров

2023 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
на диссертационную работу Квасникова Алексея Андреевича  
«Модели, алгоритмы и комплекс программ для моделирования  
многопроводных линий передачи, антенн и экранов с использованием  
численных и аналитических методов»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и  
комплексы программ»

#### **Актуальность работы**

Разработка современных радиоэлектронных средств (РЭС) требует использования методов компьютерного моделирования на разных этапах проектирования, в том числе для решения задачи обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Диссертационная работа Квасникова А.А. посвящена разработке математического и программного обеспечения для моделирования элементов РЭС, такие как многопроводные линии передачи (МПЛП), антенны и экранирующие конструкции. Существующее математическое и программное обеспечение имеет ряд ограничений и недостатков в части точности, вычислительной сложности, а также ограниченного набора функциональных возможностей. Таким образом, разработка новых и совершенствование известных математических моделей, численных методов и программных средств моделирования элементов РЭС способствует сокращению времени проектирования и повышению надежности разрабатываемых изделий. Помимо этого, актуальным является внедрение элементов экспертных систем в программные комплексы, решающие задачи данной предметной области. Выбор актуальной тематики научного исследования подтверждается, в том числе и наличием статей в высокорейтинговых зарубежных и отечественных научных журналах.



## Содержание работы

В состав диссертационной работы входят введение, 4 раздела, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы из 323 наименований и 2 приложения. Объем диссертации с приложениями – 241 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 методов и инструментальных средств моделирования РЭС. Рассмотрены специализированные ЭС ЭМС РЭС, а также известные средства разработки программного обеспечения.

Во втором разделе представлены результаты разработки алгоритмов для проверки корректности вычисления матриц погонных параметров МПЛП, модели для вычисления матрицы погонных сопротивлений МПЛП в широком диапазоне частот, модели для вычисления распределения плотности заряда на сегментах при анализе МПЛП, обобщенного алгоритма многовариантного анализа МПЛП, модели оценки уязвимости электрических цепей РЭС к воздействиям кондуктивных помеховых сигналов, модели расчета эффективности экранирования экрана, модели и метода для вычисления характеристик антенн с использованием совокупности тонких проводов.

В третьем разделе представлены результаты разработки комплекса программ для моделирования МПЛП, антенн и экранов на основе моделей, метода и алгоритмов, описанных в разделе 2. Приведены структурные и поведенческие UML-диаграммы, а также блок-схемы, описывающие архитектуру и функционал систем и модулей, вошедших в состав комплекса. Представлены результаты разработки элементов ЭС по ЭМС.

В четвертом разделе представлены результаты валидации и апробации разработанного комплекса программ.

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

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



## **Новизна основных научных результатов и их значимость для науки и производства**

Основные научные результаты, полученные автором:

1. Предложена модифицированная математическая модель для вычисления погонных сопротивлений многопроводной линии передачи, отличающаяся комбинированным использованием аналитических выражений и правила дифференциальной индуктивности.

2. Предложена модифицированная математическая модель для вычисления распределения токов по поверхности антенны, отличающаяся использованием треугольной проводной сетки с тонкопроволочной аппроксимацией.

3. Предложен численный метод формирования вычислительной сетки при моделировании антенн, отличающийся перестроением уникальных ребер совокупности треугольников, удовлетворяющих критерию Делоне, в тонкие провода.

4. Разработана оригинальная модульная структура комплекса программ, реализующих новые алгоритмы для электродинамического и квазистатического анализа многопроводных линий передачи и антенн численным методом моментов, а также электродинамического анализа экранов аналитическими методами. Отличительной особенностью комплекса является реализация оригинального алгоритмического обеспечения и наличие модуля, обеспечивающего взаимодействие между его элементами с использованием интеграции библиотеки CGAL и измененного формата передаваемых данных.

Теоретическая значимость результатов заключается в следующем:

1. Применительно к квазистатическому и электродинамическому анализу многопроводных линий передачи, антенн и экранов результативно использован комплекс численных и аналитических методов.

2. Проведена модернизация математических моделей и алгоритмов для расчета параметров и характеристик многопроводных линий передачи, антенн и экранов.

3. Изложены основные идеи метода аппроксимации проводящих поверхностей моделируемого объекта тонкими проводами, объединенными в треугольники.

4. Изложены принципы создания ЭС по ЭМС РЭС на основе сочетания численных и аналитических методов, аппарата  $N$ -норм, оцифрованных помеховых сигналов, а также требований стандартов.

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

1. Результаты анализа инструментов для разработки программного обеспечения и его прототип, состоящий из базы данных кондуктивных помеховых сигналов и модулей локализации превышения допустимых уровней сигналов, поддержки принятия решений и оценки эффективности экранирования, внедрены в АО «РЕШЕТНЁВ» в рамках создания прототипа аппаратно-программного комплекса для синтеза и испытаний оптимальной сети



высоковольтного электропитания космических аппаратов.

2. Разработанное программное обеспечение «Вычисление и трехмерное отображение эффективности экранирования металлическим корпусом с апертурой» внедрено в АО «Информационные спутниковые системы» им. М.Ф. Решетнёва и использовалось для изделия 751ВМ (акт использования).

3. Разработанные математическое обеспечение и программные модули на основе проводно-сеточной аппроксимации и аппроксимации поверхности треугольниками внедрены в ООО «НПК «ТЕСАРТ» в рамках создания программного модуля для моделирования характеристик антенного элемента.

4. Результаты диссертационной работы (программное обеспечение для вычисления эффективности экранирования, база данных кондуктивных помеховых сигналов, программные модули моделирования антенн) использованы в учебном процессе радиотехнического факультета ТУСУРа.

5. Разработано математическое и программное обеспечение для моделирования многопроводных линий передачи, антенн и экранов.

#### **Достоверность результатов работы и положений, выносимых на защиту**

Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждена результатами валидации и тестирования разработанного программного и математического обеспечения, согласованностью полученных результатов с опубликованными и из коммерческого программного обеспечения, а также применением на практике.

#### **Апробация результатов работы и публикации**

Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих конференциях:

1. Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР», г. Томск, 2018–2022 гг.

2. Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 2015–2020, 2022 гг.

3. Международная научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС-26-2020», г. Томск, 2020 г.

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

4. IEEE XXII международная конференция молодых специалистов в области электронных приборов и материалов (EDM 2021), Ая, Алтайский край, Россия, 2021 г.

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

6. Международная научно-методическая конференция «Интеграция образования, науки, бизнеса и власти», г. Томск, 2022 г.



7. Региональная научно-практическая конференция «Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения», г. Томск, 2022 г.

8. Международная IEEE-Сибирская конференция по управлению и связи (SIBCON — 2022), г. Томск, 2022 г.

По результатам выполненных исследований опубликовано 8 работ в изданиях из перечня ВАК, 4 статьи в журналах индексируемых WoS и Scopus (Q1, Q2), 6 докладов в трудах конференций индексируемых WoS и Scopus, а также 20 докладов в трудах международных конференций. Получено 8 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на изобретение.

### **Рекомендации по использованию результатов работы**

Предложенные модели, численный метод, алгоритмы и комплекс программ на их основе целесообразно применять на ранних этапах проектирования РЭС, а также для оценки ЭМС их элементов. Описанные в работе подходы и отдельно взятые программные модули комплекса также могут использоваться в рамках образовательного процесса высших учебных заведений, программах переподготовки инженеров-разработчиков РЭС, при выполнении различных НИР, а также в качестве основы для дальнейших исследований.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В подразделе 3.9 диссертации приводится описание экспертной системы по ЭМС РЭС. При этом не описан механизм распределения функционала доступа к базе знаний экспертной системы между разными пользователями системы (стр. 154). Из текста, не ясно реализована ли проверка прав доступа, шифрование паролей, а также другие аспекты информационной безопасности.

2. В подразделе 3.1 приведена структура разработанного комплекса программ. Из рис. 3.1 следует, что модули баз данных многовариантного анализа и экспертных систем находятся вне системы TALGAT, однако на рис. 3.2 эти модули входят в состав системы.

3. В подразделе 4.1 диссертации приводится сравнение результатов вычисления матриц погонных сопротивлений многопроводных линий передачи, так на стр. 161 указано: «*Выполнено сравнение данных результатов из TALGAT и с использованием магнитостатического анализа и метода конечных элементов (МКЭ)*». Из текста не ясно, с помощью какого программного средства получены результаты на основе МКЭ, а также не приводится обоснование выбора данного метода, его точность и адекватность полученных результатов.

4. В подразделе 4.5 диссертации приводится сравнение результатов расчета характеристик антенн при помощи разработанных программ на основе метода моментов, с программным обеспечением EMPro (на основе метода конечных разностей во временной области), при этом отсутствует обоснование выбора данного обеспечения и метода, а также сравнение с другими программными средствами и методами.



5. Из текста диссертации не до конца ясно, позволяет ли разработанный комплекс программ проводить полный цикл моделирования, в т.ч. выполнять полноценные виртуальные испытания РЭС.

При этом стоит отметить, что указанные недостатки не снижают общую положительную оценку работы.

### Заключение

Представленная на отзыв диссертационная работа Квасникова А.А. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему, содержащую научно-обоснованные решения. Новые научные результаты, полученные диссертантом, значимы для науки и практики. Выводы и рекомендации обоснованы достаточно полно. Текст диссертации соответствует выдвинутым защищаемым положениям. Текст автореферата соответствует тексту диссертации. Личный вклад автора в выполненное исследование освещен в полной мере.

По поставленным задачам, полученным результатам исследования и в целом содержанию диссертационная работа соответствует профилю научной специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Считаем, что диссертационная работа соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 в действующей редакции, а ее автор, Квасников Алексей Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв рассмотрен, обсужден и одобрен на научно-техническом семинаре кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Протокол № 1 от 3 ноября 2023 г.

Председатель научно-технического семинара  
доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры конструирования  
и производства радиоаппаратуры



Ромашенко М.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет» ФГБОУ ВО «ВГТУ»

Адрес: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

телефон: +7 (473) 207-22-20

email: rector@cchgeu.ru

веб-сайт: <https://cchgeu.ru>

