

## Отзыв официального оппонента

на диссертацию 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 (специальность 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ)

**Актуальность работы** Квасникова А.А. не вызывает сомнения и определяется широким применением моделирования с использованием численных и аналитических методов, реализованных в комплексе программ с элементами экспертных систем (ЭС) для вычислительно эффективного решения задач проектирования элементов радиоэлектронных средств (РЭС) – антенн и СВЧ-устройств. С ростом требований к эффективности и надежности РЭС возникает необходимость в более точных и вычислительно эффективных инструментах для их анализа и синтеза. Кроме того, использование технологий ЭС предоставляет новые возможности для автоматизации и оптимизации процессов моделирования РЭС. Экспертные системы способны анализировать данные, выделять ключевые параметры и предлагать оптимальные решения, что ускоряет процесс принятия решений и снижает вероятность человеческих ошибок.

**Объем и содержание работы.** Диссертационная работа Квасникова А.А. изложена на 241 страницах и включает приложение объемом 21 страницы, список литературы из 323 наименований, а также 161 рисунок и 35 таблиц.

Автореферат, изложенный на 19 страницах, адекватно и полно отражает содержание диссертации.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и 2 приложений.

Во введении изложена актуальность исследования, сформулированы цель и задачи работы, описаны научная новизна теоретическая и практическая значимости диссертации. Сформулированы научные положения, выносимые на защиту. Представлены сведения об использовании, апробации и публикации результатов исследования, а также описан личный вклад автора.

Первая глава посвящена обзору методов и инструментальных средств моделирования РЭС. Описаны специализированные ЭС ЭМС РЭС, а также известные средства разработки программного обеспечения.

Во второй главе представлены разработанные в ходе выполнения диссертационного исследования алгоритмы для проверки корректности

вычисления матриц погонных параметров многопроводных линий передачи (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, модель и метод для вычисления характеристик антенн с использованием совокупности тонких проводов.

В третьей главе описаны результаты разработки комплекса программ для моделирования МПЛП. Приведены структурные и поведенческие UML-диаграммы и блок-схемы, описывающие архитектуру и функционал систем и модулей в составе комплекса. Представлены результаты разработки элементов ЭС по ЭМС.

В четвертой главе приведены результаты валидации и апробации разработанного комплекса программ.

В заключении обобщены результаты диссертационного исследования, приведены рекомендации по использованию этих результатов, а также перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

В приложения вынесены документы, подтверждающие внедрение результатов исследования, а также основные индивидуальные достижения соискателя.

Структура диссертационной работы адекватна и соответствует стандарту ГОСТ Р 7.0.11 – 2011.

**Научная новизна** работы заключается в следующих пунктах:

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** исследования 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** исследования состоит в следующих пунктах:

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.** 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.** Результаты диссертационного исследования опубликованы в 8 работах в изданиях из перечня ВАК, в 4 статьях в журналах, индексируемых WoS/Scopus (Q1, Q2), в 6 докладах в трудах конференций, индексируемых WoS и (или) Scopus и в 20 докладах в трудах международных конференций. Получено 8 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на изобретение.

#### **Общие замечания**

1. В систематизированном виде отсутствуют математические постановки исследуемых дифракционных задач. Примеры соответствующих формализаций приведены, например, в работах [Ильинский, А. С. Дифракция электромагнитных волн на проводящих тонких экранах (Псевдодифференциальные операторы в задачах дифракции) / А.С. Ильинский, Ю.Г. Смирнов. – М.: ИПРЖР, 1996. – 176 с.; Smirnov, Yu.G. Diffraction of Acoustic and Electromagnetic Waves by Screens and Inhomogeneous Solids: Mathematical Theory : monography / Yu.G. Smirnov, A.A. Tsupak. – Moscow : RU0SCIENCE, 2016. – 214 p.].

2. Отсутствуют результаты исследования издержек (вычислительные и емкостные затраты) применения сформированных моделей вычисления матрицы погонных сопротивлений многопроводных линий передачи в широком диапазоне частот и распределения плотности заряда на сегментах при анализе многопроводных линий передачи.

3. Не выделены и не обоснованы вычислительно эффективные особенности выбираемого правила регуляризации численного решения

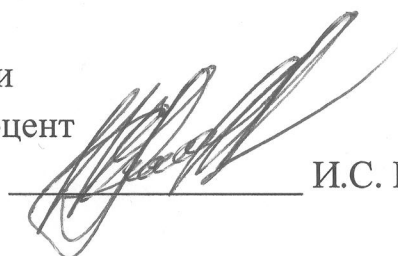
интегро-дифференциальных уравнений вида (1.60), (1.61), взаимоувязанные с обоснованием применяемых базисных и тестовых функций.

Приведенные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Квасникова А.А.

Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Квасникова А.А. «Модели, алгоритмы и комплекс программ для моделирования многопроводных линий передачи, антенн и экранов с использованием численных и аналитических методов» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу и соответствует требованиям ВАК, а ее автор достоин присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,  
профессор кафедры Системы радиосвязи  
доктор физико-математических наук, доцент

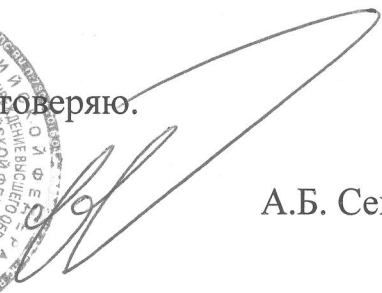


И.С. Полянский

Докторская диссертация Полянского И.С. защищена по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки).

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», 302015, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д.35, тел. +79536187100, e-mail: [van341@mail.ru](mailto:van341@mail.ru)

Подпись Полянского Ивана Сергеевича удостоверяю.  
Руководитель кадрового аппарата



А.Б. Семибратов

«10» ноября 2023 г.