

На правах рукописи



Газизов Тимур Тальгатович

**Методология, алгоритмы и программное обеспечение
для комплексной оптимизации
элементов радиоэлектронных устройств**

Специальность 05.13.18

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Томск – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР)

Научный консультант – **Ходашинский Илья Александрович**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Дмитренко Анатолий Григорьевич**,
доктор физико-математических наук, профессор
(Национальный исследовательский Томский
государственный университет, профессор
кафедры исследования операций)

Горбачев Анатолий Петрович,
доктор технических наук, доцент
(Новосибирский государственный технический
университет, профессор кафедры
радиоприемных и радиопередающих устройств)

Надеев Адель Фирадович,
доктор физико-математических наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А. Н. Туполева,
директор Института радиоэлектроники и
телекоммуникаций)

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт проблем
управления им. В.А. Трапезникова Российской
академии наук, г. Москва

Защита состоится 7 декабря 2017 года в 15:15 на заседании
диссертационного совета Д 212.268.02 Томского государственного
университета систем управления и радиоэлектроники по адресу: 634050,
г. Томск, ул. Ленина, 40, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте ТУСУРа
https://storage.tusur.ru/files/63023/Dissertaciya_Gazizov_Timur.pdf и в библиотеке
по адресу: 634045, г. Томск, ул. Красноармейская, 146.

Автореферат разослан _____ 2017 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Зайченко Татьяна Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последнее время большое внимание уделяется математическому моделированию различных задач прикладной электродинамики, решение которых необходимо для проектирования радиоэлектронных устройств (РЭУ), основой которого является их компьютерное математическое моделирование, в частности оптимизация. При этом исследование методов улучшения характеристик РЭУ весьма актуально. Большой вклад в исследование этого вопроса внесли Б. Аршамбо, К. Баум, М. Гэри, Ж. Маутз, А. Оуэнс, Л. Растрингин, Л. Фогель, Д. Джонсон, Р. Харрингтон и др. Наиболее популярным среди исследователей сегодня является решение задачи направленного синтеза на основе различных подходов, среди которых есть как стохастические, так и детерминированные методы оптимизации. В такой задаче требуется найти оптимальный набор или размещение элементов из некоторого заданного множества. Как правило, такие задачи сводятся к задачам перебора. При этом с помощью полиномиальной сводимости от NP-полной задачи (например, задачи РАЗБИЕНИЕ) легко доказывается их NP-сложность. В этом случае, подобный класс задач приемлемо решать различными методами оптимизации. Однако, проведенный анализ существующих методов позволил отдать предпочтение эволюционным алгоритмам. Большой вклад в исследование применимости эволюционных алгоритмов для решения прикладных задач внесли З. Альтман, Е. Альтшулер, Л. Гладков, А. Еремеев, И. Рахмат-Сами, К. Сотирис, К. Кростос, В. Курейчик, Р. Митра, Т. Панченко, К.Г. Христовулу и др.

Между тем ряд задач по оптимизации параметров элементов РЭУ на основе эволюционных алгоритмов не решен. В частности, в большей части работ, посвященных этому вопросу, уделяется внимание сравнению различных эволюционных методов между собой, но их программная реализация не освещается, либо используется встроенная реализация в известных программных продуктах, при этом недостаточно внимания уделяется настройке параметров этих методов. С другой стороны, часто предлагается модифицированный метод и доказывается его успешность, однако круг задач, на котором происходит сравнение нового метода с существующими, обычно оказывается крайне узким. Более того, авторы часто не указывают насколько сложно адаптировать исходную задачу, чтобы применение нового метода стало возможным. Это препятствует эффективному применению новых эволюционных методов для прикладных задач. Наконец, мало работ, в которых приведен успешный опыт создания единого программного комплекса для моделирования РЭУ и их ключевых узлов с возможностью комплексной оптимизации. Однако, учитывая, что в 2017 году завершён пилотный проект Минкомсвязи России по переходу госкорпораций, федеральных органов исполнительной власти и государственных внебюджетных фондов на использование отечественного программного обеспечения, решение такой задачи актуально. Таким образом, актуальность диссертационной работы обусловлена необходимостью разработки методологии, математических

моделей, алгоритмического и программного обеспечения для комплексной оптимизации элементов РЭУ, позволяющих исследовать задачи структурного и параметрического синтеза и совершенствования характеристик узлов РЭУ на основе эволюционных алгоритмов.

Цель работы – создание методологии, алгоритмов и программного обеспечения для моделирования элементов РЭУ с возможностью структурно-параметрической оптимизации.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести обзор существующих методов и подходов в области моделирования и оптимизации элементов РЭУ, обосновать выбор методов оптимизации для улучшения характеристик РЭУ.
2. Создать методологию комплексной оптимизации элементов РЭУ и их узлов, разработать методику их моделирования.
3. Разработать алгоритмическое и программное обеспечение для моделирования элементов РЭУ.
4. Выполнить моделирование конкретных элементов РЭУ и их узлов для различных приложений.
5. Подтвердить достоверность созданной методологии, выполнив комплексную оптимизацию элементов и узлов РЭУ, и натурный полевой эксперимент.

Научная новизна работы состоит в результатах, полученных впервые

1. Предложена и апробирована новая методология комплексной оптимизации элементов РЭУ, отличающаяся возможностью структурной оптимизации.
2. Выполнено математическое моделирование новых элементов РЭУ и их узлов, включая печатные платы с резервированием, модальные фильтры, меандровые микрополосковые линии.
3. Предложен комбинированный численный метод, основанный на объединении метода моментов, генетических алгоритмов (ГА) и трех математических моделей учета сосредоточенных нагрузок, позволивший провести оптимизацию элементов РЭУ.
4. Разработана оригинальная модульная структура комплекса программ, реализующих новые алгоритмы электродинамического анализа численным методом моментов проводных антенн с сосредоточенными нагрузками.
5. Предложены оригинальные алгоритмы: взаимодействия данных в модуле оптимизации, визуализации исходной структуры, настройки, запуска и работы генетических алгоритмов, на основе которых создан комплекс программ, отличающийся возможностью синтеза проводных антенн с улучшенными характеристиками.
6. Выполнена комплексная структурно-параметрическая оптимизация сосредоточенных нагрузок проводных антенн на основе разработанного комплекса программ, позволившая значительно расширить их рабочий диапазон частот.

Теоретическая значимость

1. Предложенная методология комплексной оптимизации РЭУ позволяет создавать новые методики моделирования элементов РЭУ.
2. Детально раскрыты, классифицированы, проанализированы глобальные методы оптимизации и обосновано их использование для моделирования элементов РЭУ.
3. Предложена новая классификация методов глобальной оптимизации, расширяющая представления о количестве и разнообразии таких методов.
4. Выполнен анализ использования эволюционных алгоритмов и предложены новые алгоритмы в задачах проектирования РЭУ.
5. Применительно к проблематике диссертации результативно использованы численный метод моментов и генетические алгоритмы, что позволило получить новые элементы РЭУ с улучшенными характеристиками.

Практическая значимость

1. На основе предложенной методологии комплексной оптимизации РЭУ созданы методики моделирования элементов РЭУ.
2. Определены области практического использования разработанного алгоритмического и программного обеспечения для комплексной оптимизации элементов РЭУ и их узлов.
3. Применение созданных алгоритмов для оптимизации проводных антенн апробировано при поиске оптимальных значений параметров параллельных *RLC*-нагрузок и позволило впервые провести структурную оптимизацию сосредоточенных нагрузок проводных антенн.
4. Получены оптимальные геометрические параметры ТЕМ-камеры.
5. Определены параметры трехпроводного модального фильтра, при которых получено минимальное значение амплитуды напряжения на его выходе.
6. На основе использования разработанного программного обеспечения для комплексной оптимизации РЭУ получены результаты по оптимизации параметров ряда новых РЭУ.
7. Определена длительность воздействующего сверхкороткого импульса, приводящего к максимальному пиковому значению напряжения в шине печатной платы радиопередающего устройства системы автономной навигации бортовой аппаратуры космического аппарата.
8. На основе предложенной методологии выполнена комплексная оптимизация проводных антенн, что позволило изготовить и испытать антенну в сеансах связи на частотах 1,8; 3,5; 7; 14; 21; 28 МГц в полевых натуральных условиях.
9. Представлены практические рекомендации по технологическому исполнению четырехпроводной комбинированной антенны и предложения по изготовлению и сборке сосредоточенных нагрузок в ее структуре.
10. Предложены практические рекомендации по использованию созданных алгоритмов для поиска оптимальных параметров широкого ряда тестовых

функций, включающие описание функций, параметры запуска, исходный код программ, представленный в приложении.

11. Алгоритмическое и программное обеспечение использованы в учебном процессе Томского государственного университета, Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, Томского государственного педагогического университета.

Методология и методы исследования. В работе применялись глобальные методы оптимизации, в частности ГА, компьютерное моделирование, квазистатический и электродинамический анализ, теория антенн, объектно-ориентированное программирование, натурный эксперимент.

Положения, выносимые на защиту с указанием области исследований, в которых были получены оригинальные результаты в соответствии с паспортом специальности 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

1. Методология комплексной оптимизации элементов радиоэлектронных устройств позволяет разработать алгоритмическое и программное обеспечение, отличающееся от существующих возможностью выполнения структурной и параметрической оптимизации широкого класса радиоэлектронных устройств. (Область исследований п. 5. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента).

2. Разработанный комплекс программ позволяет выполнять математическое моделирование новых радиоэлектронных устройств и их элементов, включая печатные платы с резервированием, модальные фильтры, меандровые микрополосковые линии. (Область исследований п. 8. Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования).

3. Комбинированный численный метод оптимизации элементов радиоэлектронных устройств, основанный на объединении метода моментов, генетических алгоритмов и трех математических моделей учета сосредоточенных нагрузок, позволяет получить оптимальные параметры двухпроводной линии передачи, выполнить оптимизацию параметров трехпроводного модального фильтра, найти оптимальные значения параметров воздушной меандровой линии, определить максимальное пиковое значение напряжения сверхкороткого импульса в шине печатной платы, снизить коэффициент стоячей волны проводной антенны. (Область исследований п. 3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий).

4. Алгоритмическое обеспечение учета нагрузок в виде последовательных и параллельных RLC -контуров расширяет возможности созданного программного комплекса и позволяет проводить математическое моделирование проводных антенн с такими нагрузками. (Область исследований п. 4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента).

5. Программное обеспечение, за счет применения созданных алгоритмов, дает возможность синтеза проводных антенн с улучшенными характеристиками, а также новых антенных структур. (Область исследований п. 8. Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования).

6. Методика снижения коэффициента стоячей волны антенны за счет использования сосредоточенных нагрузок позволяет создавать проводные антенны, обеспечивающие связь в диапазоне 1–28 МГц в натуральных полевых условиях. (Область исследований п. 5. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента).

Соответствие паспорту специальности. Полученные результаты диссертационной работы являются оригинальными и соответствуют пп. 3, 4, 5, 8 области исследований паспорта специальности 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Достоверность результатов. Достоверность полученных результатов подтверждена их сравнением с теоретическими результатами, с результатами, полученными другими авторами, в других программных продуктах и экспериментом, а также внедрением результатов моделирования в практическую работу.

Использование результатов исследований

1. Получены 4 патента на полезную модель и 3 патента на изобретение, 10 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

2. Программная реализация квазистатических моделей для вычисления матриц параметров и электродинамической модели для вычисления токов в проводных структурах в составе комплексной оптимизации с помощью ГА применена в НИР "Исследование научно–технических принципов и изыскание инженерно–технических решений по созданию широкодиапазонных быстроразворачиваемых антенн ДКМВ диапазона", отчёт по НИР, тема "Крюшон–Т", хоздоговор 1402, Томск, 2003.

3. Разработанные модели и алгоритмы использованы для выполнения проекта «Разработка системы компьютерного моделирования электромагнитной совместимости», акт №31315 ввода в эксплуатацию по мероприятию 3.1.3а инновационной программы ТУСУР, 2006 г. и свидетельство об отраслевой регистрации разработки №8376.

4. Выполненный анализ генераторов преднамеренных электромагнитных силовых воздействий, методов и средств защиты от их деструктивного воздействия, устойчивости элементов электронной инфраструктуры объектов использован при разработке национального стандарта в СПбФ ФГУП «НТЦ «Атлас», аналитическая справка 2007 г.

5. Программная реализация электродинамической модели и программная система компьютерного моделирования использованы в ходе выполнения составной части ОКР «Разработка и поставка аппаратно–программного комплекса для проведения анализа взаимовлияний электрических сигналов бортовой аппаратуры», хоздоговор 28/08 от 14.04.2008, шифр «АПК–ТУСУР».

6. Исследования по модальной фильтрации использованы при подготовке и написании нормативного документа и двух национальных стандартов, на её основе изготовлено и поставлено 8 макетов модальных фильтров для защиты сети Fast Ethernet от сверхкоротких импульсов, хоздоговор НИИЦ/НИР/10–01 от 15.01.2010 с ФГУП «ЦентрИнформ», г. Санкт–Петербург.

7. Обзор методов глобальной оптимизации использован в ОКР по Постановлению №218 правительства РФ «Разработка комплекса программных и технических средств для контроля информационных магистралей, обеспечения электромагнитной совместимости и исследования надежности унифицированного ряда электронных модулей на основе технологии «система–на–кристалле» для систем управления и электропитания космических аппаратов связи, навигации и дистанционного зондирования Земли с длительным сроком активного существования», 2010–2012 гг., хоздоговор №4216 от 24.11.2010 между ТУСУР и ТГУ для АО «ИСС», г. Железногорск.

8. Разработанное программное обеспечение и методики оптимизации представлены в технических отчётах по ОКР «Разработка принципов построения и элементов системы автономной навигации с применением отечественной специализированной элементной базы на основе наногетероструктурной технологии для космических аппаратов всех типов орбит» ТУСУРа для АО «ИСС» в рамках реализации Постановления №218 Правительства РФ, тема «САН», хоздоговор 96/12 от 16.11.2012 в 2013–2015 гг.

9. Результаты работы, связанные с оптимизацией РЭУ на основе созданных алгоритмов, использованы в ОКР по Постановлению №218 правительства РФ «Разработка и внедрение технологических основ системного проектирования и производства аналогово-цифровой СВЧ аппаратуры для телекоммуникаций, радиолокации и приборостроения на основе собственной GaAs элементной базы» (2010–2012 гг.) для АО НПФ «Микран».

10. Материалы исследований в области синтеза новых антенных структур за счет применения ГА использованы в рамках ОКР по Постановлению №218 правительства РФ «Разработка и организация высокотехнологичного производства твердотельных радаров миллиметрового диапазона с применением электронной компонентной базы собственной разработки и создание на этой основе комплексированных систем мониторинга выделенных пространственных зон» (2013–2015 гг.) для АО НПФ «Микран».

11. Устройства, использующие модальные явления, использованы в ОКР по Постановлению №218 правительства РФ «Разработка бортового энергопреобразующего комплекса с цифровым резервированным управлением для высоковольтных систем электропитания космических аппаратов с применением российской импортозамещающей электронной компонентной базы» (2016–2018 гг.) для АО «ИСС», г. Железногорск.

12. Результаты оптимизации на основе ГА использованы в НИР «Исследование новых модальных явлений в структурах многопроводных линий передачи с неоднородным диэлектрическим заполнением», грант РФФИ 06-08-01242, 2006 г.

13. Модуль оптимизации использован при моделировании РЭУ в НИР «Комплекс фундаментальных исследований по математическому моделированию, ориентированных на электромагнитную совместимость бортовой аппаратуры перспективных космических аппаратов», грант РФФИ 13-07-98017, 2013–2014 гг.

14. Алгоритмическое и программное обеспечение для комплексной оптимизации элементов РЭУ использовано в НИР «Комплексные исследования по разработке алгоритмов, математического обеспечения и средств проектирования для создания новых элементов защиты и контроля вычислительных систем на основе модальных явлений», грант РФФИ 14-29-09254, 2014–2016 гг.

15. Результаты по модальной фильтрации и программная реализация модуля оптимизации использованы в НИР «Комплексное обоснование возможностей создания модальной технологии помехозащиты критичной радиоэлектронной аппаратуры и совершенствования существующих и разработки новых помехозащитных устройств на её основе», грант РФФИ 14-19-01232, 2014–2016 гг.

16. Алгоритмическое и программное обеспечения для моделирования элементов РЭУ использовано в НИР «Разработка новых программных и аппаратных средств для моделирования и обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры» в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности 8.1802.2014/К, 2014–2016 гг.

17. Результаты работы в области оптимизации элементов РЭУ использованы в учебном процессе НИ ТГУ: целевая подготовка магистрантов физико-технического факультета по программе «Космические промышленные системы» для предприятия «Газпром космические системы», г. Королев, 2016–2017 гг.

18. Материалы работы использовались при подготовке лекционных, практических и лабораторных занятий для студентов ТГПУ, обучающихся по направлению «Информационные системы и технологии», 2014–2017 гг.

19. Результаты использованы в учебном процессе ТУСУР при подготовке студентов, проходящих групповое проектное обучение по специальностям «Сервис», «Бытовая радиоэлектронная аппаратура», «Аудиовизуальная техника», 2006–2007 гг.

20. Результаты использованы в учебном процессе ТУСУР при подготовке магистрантов по дисциплине «Научная работа в семестре» магистерской программы «Электромагнитная совместимость радиоэлектронной аппаратуры», 2016–2017 гг.

Использование результатов подтверждено 14 документами.

Апробация результатов работы

Результаты исследований автора позволили подготовить заявки, победившие в конкурсах:

1. Система компьютерного моделирования сложных структур проводников и диэлектриков – конкурс грантов ТУСУР, 2001–2002 гг.
2. Система компьютерного моделирования сложных структур проводников и диэлектриков с графическим интерфейсом пользователя – конкурс грантов ТУСУР, 2003 г.
3. Автоматизированное проектирование оптимальных широкополосных антенн с сосредоточенными нагрузками – конкурс грантов ТУСУР, 2005 г.
4. Исследование новых модальных явлений в структурах многопроводных линий передачи с неоднородным диэлектрическим заполнением – конкурс грантов РФФИ 2006 г., проект 06–08–01242.
5. Комплексные исследования по разработке алгоритмов, математического обеспечения и средств проектирования для создания новых элементов защиты и контроля вычислительных систем на основе модальных явлений – конкурс грантов РФФИ 2014–2016 гг., проект 14-29-09254.
6. Комплексное обоснование возможностей создания модальной технологии помехозащиты критичной радиоэлектронной аппаратуры и совершенствования существующих и разработки новых помехозащитных устройств на её основе – конкурс грантов РФФИ 2014 г., проект 14-19-01232.
7. Разработка новых программных и аппаратных средств для моделирования и обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры – проектная часть государственного задания в сфере научной деятельности 8.1802.2014/К, 2014–2016 гг.
8. Выявление новых подходов к совершенствованию обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры и моделирования систем активного зрения роботов – конкурсный отбор 2016 г. по базовой части государственного задания Минобрнауки РФ, проект 8.9562.2017/БЧ.

Результаты работы докладывались и обсуждались на Научно-техн. конф. «Научная сессия ТУСУР» 2003, 2004, 2008, 2013, 2016 и 2017 г. (Томск), Всеросс. научно-практ. конф. «Проблемы информационной безопасности государства, общества и личности» 2004, 2005, 2008 г. (Томск-Красноярск), Межд. научно-практ. конф. «Электронные средства и системы управления» 2004, 2005, 2015, 2016 г. (Томск), Межд. молодежной научной конф. «Туполевские чтения» 2003, 2004, 2008 г. (Казань), Всеросс. научно-практ. конф. молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» 2004 и 2016 г. (Красноярск), Научно-техн. конф. молодых специалистов «Электронные и электромеханические системы и устройства» 2008 г. (Томск), Межд. симп. по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии 2005, 2007 г. (Санкт-Петербург), Межд. конф. EUROEM 2008 (Лозанна, Швейцария), Межд. IEEE Сибирская конф. по управлению и связи SIBCON, 2016 – Москва (Россия), 2017 – Астана (Казахстан), Межд. конф. молодых специалистов по микро/нанотехнологиям и электронным приборам 2016, 2017 г. (Алтай, Эрлагол), Сибирском симп. «Наука о данных и инженерия данных» 2017 г. (Новосибирск).

Публикации. Опубликовано 70 научных работ, в т.ч. 3 монографии, 12 статей в журналах из перечня ВАК, 7 патентов, 9 публикаций, индексируемых WoS и Scopus, 29 тезисов и докладов в трудах симпозиумов и конференций, 10 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ. Без соавторов опубликовано 10 работ, в т.ч. 1 научная монография, 2 статьи в журналах из перечня ВАК, 7 тезисов и докладов в трудах симпозиумов и конференций.

Структура и объём диссертации. В состав диссертации входят введение, 5 глав, заключение, список литературы из 242 наим. и приложение. Объём диссертации составляет 316 с., в т.ч. 153 рис. и 31 табл.

Личный вклад. Автору принадлежит определяющая роль в основных результатах, полученных в работе. Все результаты работы получены автором лично или при непосредственном его участии. Часть результатов получена совместно с соавторами публикаций: *Мелкозеровым А.О., Куксенко С.П., Газизовым Р.Р., Белоусовым А.О., Комнатновым М.Е.*

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы цель и основные задачи исследования, приведена общая характеристика работы.

В главе 1 выполнен обзор применения эволюционных алгоритмов при моделировании элементов РЭУ. Рассмотрены основные методы глобальной оптимизации, представлено их сравнение, описана оптимизация с помощью ГА прикладных задач электродинамики, приведены преимущества и недостатки ГА, подробно рассмотрена задача проектирования антенн, как ключевых узлов РЭУ. Обоснована актуальность развития эволюционных алгоритмов при оптимизации проводных антенн. Подробно описаны методики учета сосредоточенных нагрузок в структуре антенн. Сформулированы задачи исследования.

В главе 2 рассмотрена предложенная автором методология комплексной оптимизации элементов РЭУ. Под методологией в работе понимается совокупность методов, способов и средств их реализации, которая представлена в виде последовательности этапов их применения, для достижения основной цели данной работы: разработка методологии, алгоритмов и программного обеспечения для моделирования элементов радиоэлектронных устройств, с возможностью структурно-параметрической оптимизации.

1. НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП. На данном этапе ключевым является выбор математического аппарата. Основой успешной оптимизации является корректное математическое моделирование. Поэтому важно уделить особое внимание анализу, выбору и реализации соответствующих математических моделей элементов РЭУ. Не менее важным является формирование и анализ целевой функции. Предполагается использование метода моментов для решения дифференциальных и интегральных уравнений; моделей Харрингтона, Альтмана и Боаг для учета сосредоточенных нагрузок при моделировании проводных структур, генетических алгоритмов для оптимизации.

2. ЭТАП МОДЕЛИРОВАНИЯ. На основе выбранных математических моделей и численных методов необходимо создание соответствующего алгоритмического, информационного и программного обеспечения (ПО). Выбор метода оптимизации или их совокупности должен производиться на основе оценки сложности решаемой задачи, важно иметь возможность использования методов локальной и глобальной оптимизации. Выбор структуры, библиотек, средств ввода и отображения информации пользователем напрямую влияет на качество моделирования и успешность оптимизации устройства. Важно обеспечить универсальность разрабатываемого математического, алгоритмического и программного обеспечения для выполнения структурно-параметрическую оптимизацию.

3. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП. Настройка параметров запуска процесса оптимизации, анализ вычислений целевой функции, сравнение результатов с результатами, полученными другими программными продуктами, с результатами, полученными другими авторами и экспериментом. Анализ полученных результатов, экспериментальная доводка.

Исходя из данного представления и обзора других методов и подходов, выполненных в главе 2, можно кратко сформулировать методику моделирования элементов РЭУ на основе предложенной методологии и представить ее в виде блок-схемы (рисунок 1). Методика представляет собой алгоритм или процедуру для проведения каких-либо нацеленных действий. Методика отличается от методологии конкретизацией приёмов и задач.



Рисунок 1 – Методика моделирования элементов РЭУ

Таким образом, в главе 2 предложена оригинальная методология, позволившая значительно расширить границы применимости разрабатываемого ПО для моделирования РЭУ, отличающаяся от существующих подходов возможностью структурно-параметрической оптимизации. Также сформулирована методика моделирования элементов РЭУ на основе предложенной методологии.

В главе 3 представлены результаты разработки алгоритмического и программного обеспечения для моделирования элементов РЭУ. Представлен

алгоритм работы созданного программного комплекса для комплексной оптимизации элементов РЭУ (рисунок 2).



Рисунок 2 – Алгоритм работы ПО для комплексной оптимизации элементов РЭУ

На основе предложенных методик учета сосредоточенных нагрузок в главе 1 создан алгоритм их учета при моделировании элементов РЭУ на примере проводных антенн (рисунок 3).

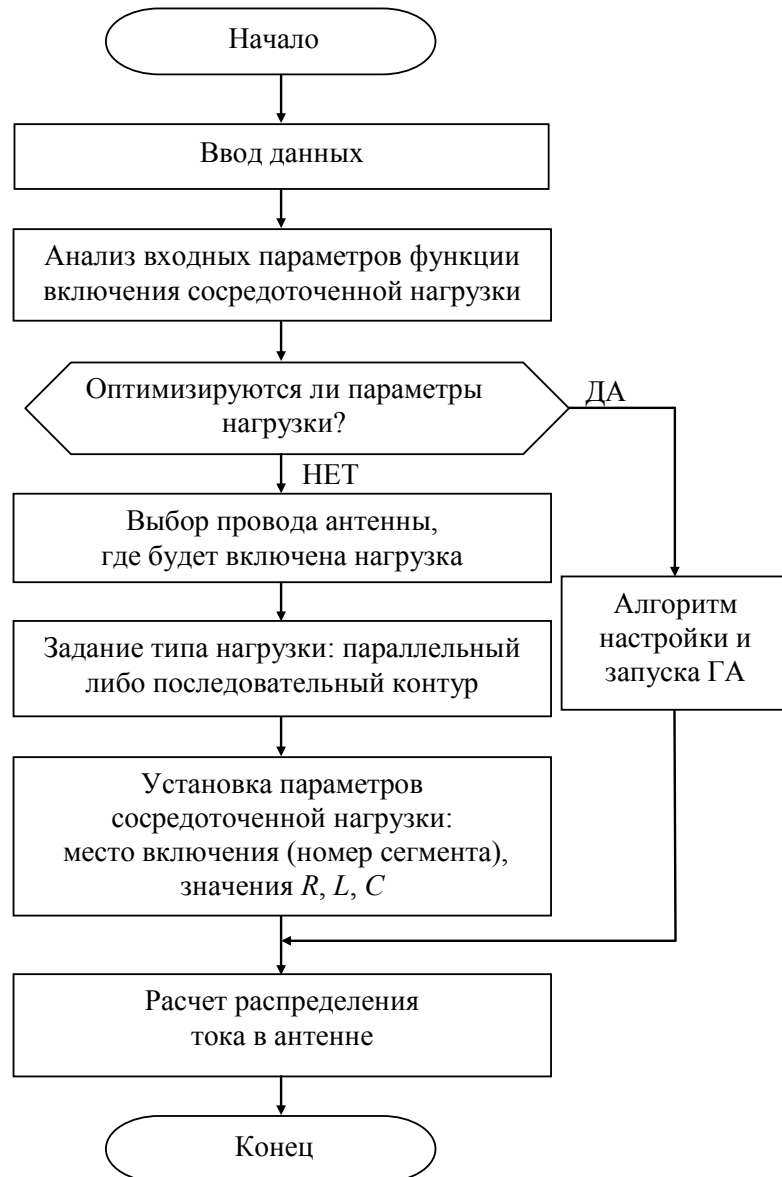


Рисунок 3 – Алгоритм включения сосредоточенной нагрузки в структуру антенны

Приведено алгоритмическое обеспечение работы ГА в программном комплексе для моделирования РЭУ с возможностью их оптимизации. Представлена работа ГА с технической точки зрения. Приведен алгоритм работы ГА. Исследованы возможности библиотеки GAlib и изучена возможность реализации ГА с помощью средств GAlib. Реализовано графическое отображение исследуемых структур на примере проводной антенны с нагрузками. Создан интерфейс ПО на базе использования DHTML диалогов и приведены примеры их использования. Тестирование ПО для комплексной оптимизации РЭУ показало корректность программной реализации. Описаны структура, функции и реализация ПО для моделирования элементов РЭУ (рисунок 4).



Рисунок 4 – Структура программного комплекса для моделирования элементов РЭУ

Таким образом, в главе 3 созданы и реализованы следующие новые алгоритмы: алгоритм работы ПО для комплексной оптимизации элементов РЭУ, алгоритм включения сосредоточенной нагрузки в структуру антенны, алгоритм взаимодействия данных в модуле оптимизации, алгоритм работы ГА в программном комплексе для моделирования РЭУ с возможностью их оптимизации, алгоритм настройки и запуска ГА в системе для комплексной оптимизации элементов РЭУ, алгоритм построения графического отображения исходной структуры.

В главе 4 представлены результаты моделирования характеристик элементов РЭУ на примере компоновки многослойных печатных плат, модальных фильтров (МФ), микрополосковой меандровой линии. Новый способ компоновки многослойных печатных плат проиллюстрирован на примере квазистатического анализа структуры связанных линий. Модель поперечного сечения структуры приведена на рисунок 5а.

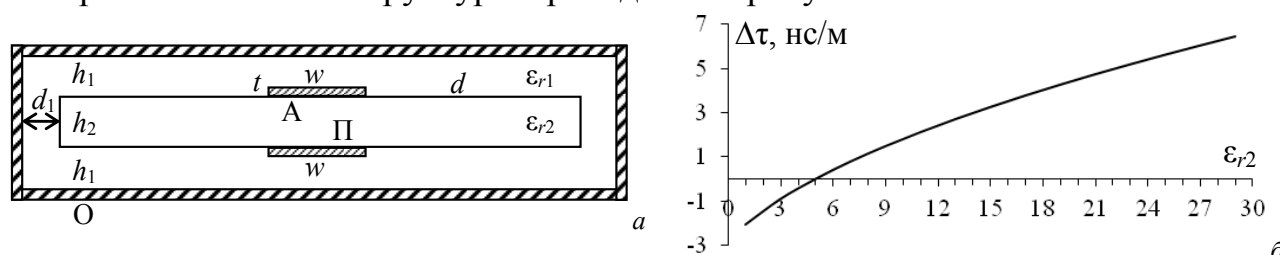


Рисунок 5 – Модель поперечного сечения платы в системе моделирования РЭУ (а) и зависимость разности погонных задержек четной и нечетной мод от ϵ_{r2} (б)

В общем случае структура рассматривается как связанная линия передачи с неоднородным диэлектрическим заполнением в поперечном сечении. Следовательно, в данной структуре могут распространяться четная и нечетная моды. Для анализа вычислены матрицы погонных коэффициентов электростатической (С) и электромагнитной (L) индукций при $w = 300$ мкм, $t = 65$ мкм, $d = 3w$, $d_1 = 4w$, $h_2 = 100$ мкм, $h_1 = 200$ мкм, $\epsilon_{r1} = 5$. Из матриц вычислены погонные задержки мод, их разность ($\Delta\tau$) и волновые

сопротивления четной и нечетной мод (Z_e и Z_o). Зависимость Δt от ϵ_{r2} приведена на рисунке 5б.

При вычислении форм сигнала в структуре длиной 1 м использовалась схема из рисунка 6а. Сопротивления R на концах линии задавались из условия $R=(Z_o Z_e)^{0,5}$. Импульсная помеха с ЭДС 2 В и длительностями фронта, плоской вершины и спада по 100 пс подавалась между резервируемым активным (А) и опорным (О) проводниками. Функцию пассивного (П) проводника выполняет резервная трасса. Формы сигналов в начале ($V1$) и конце ($V3$) резервируемого проводника при $\epsilon_{r2}=29$ представлены на рисунок 6б, из которого видно, что к концу линии приходят два импульса амплитудой 0,43 В. Разложение импульсной помехи на два импульса меньшей амплитуды (и, как следствие, уменьшение восприимчивости резервируемой цепи к внешним кондуктивным эмиссиям) обусловлено разностью задержек четной и нечетной мод в структуре, образованной данным способом компоновки печатных плат. В случае подачи импульсной помехи между резервирующим и опорным проводниками, будет наблюдаться аналогичный временной отклик.

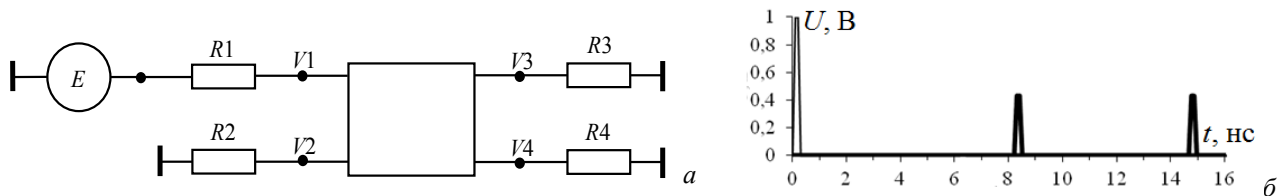


Рисунок 6 – Принципиальная схема для моделирования (а), формы сигнала в начале (—) и конце (—) активного проводника (б)

Проведено моделирование трехпроводной микрополосковой линии (как основы печатного МФ) при следующих параметрах: толщина проводников $t=105$ мкм, толщина диэлектрика $h=190$ мкм (стандартный материал), относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r=5$ (рисунки 7, 8). Сначала оптимизировалось значение ширины проводников w для обеспечения волнового сопротивления одиночной линии 50 Ом.

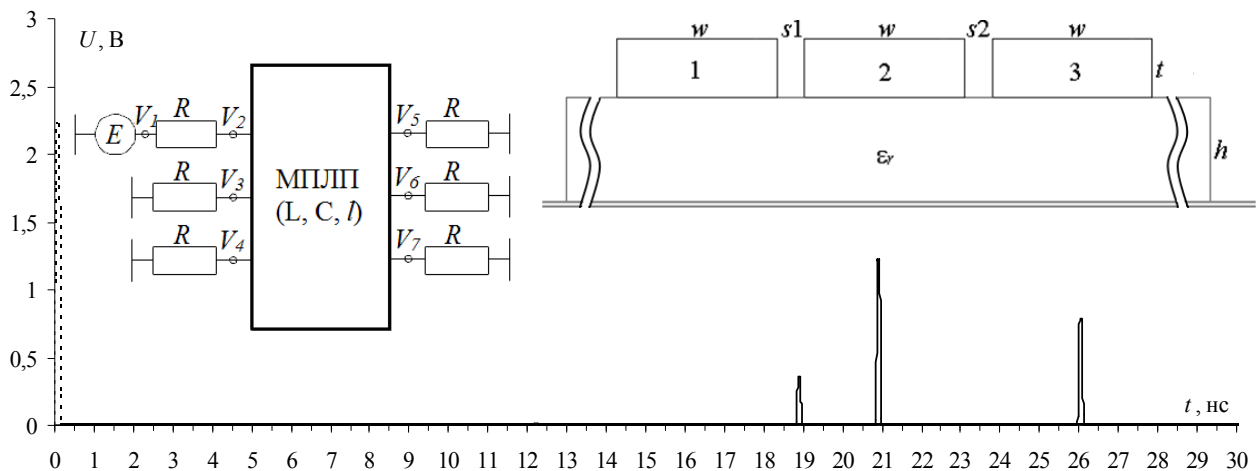


Рисунок 7 – Поперечное сечение, схема и формы сигнала в начале (---) и конце (—) проводника 1 при $s1=s2=50$ мкм

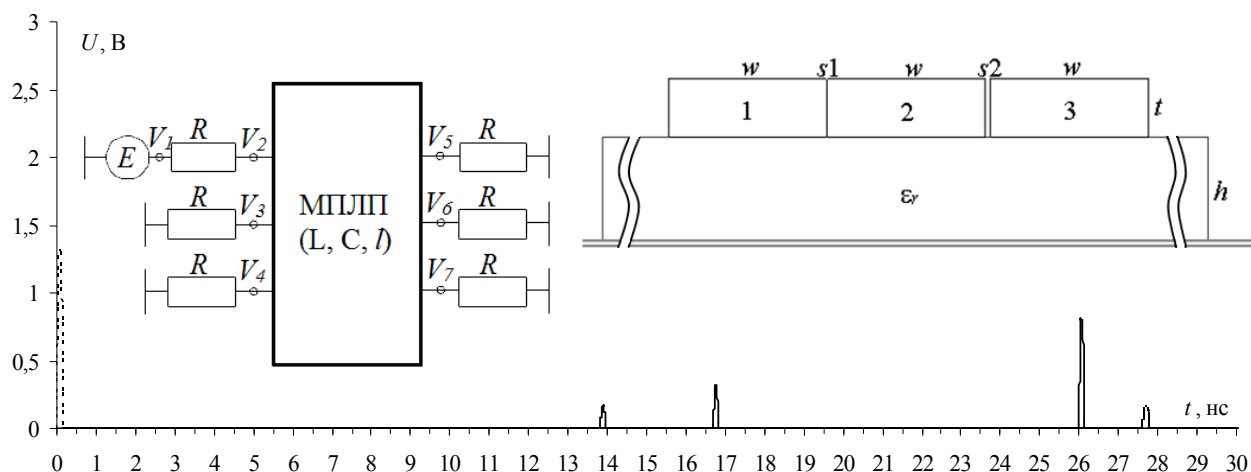


Рисунок 8 – Поперечное сечение, схема и формы сигнала в начале (---) и конце (—) проводника 1 при $s_1=1$ мкм и $s_2=10$ мкм (импульс 4 на отклике – отражение самой быстрой моды от конца проводника)

Оптимизация параметров при моделировании трехпроводного МФ показала, что улучшение одного параметра (рост разности задержек) может ухудшать другой (увеличивать максимальную амплитуду импульсов). Так, при переходе от минимизации $\max(U(t))$ к максимизации $(t_{\max}-t_{\min})$ значение $\max(U(t))$ возрастает от 0,842 В до 1,22 В (в 1,45 раза). Однако при уменьшении s значение $\max(U(t))$ уменьшается до 0,8 В, давая наилучший результат.

Выполнено моделирование способа защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкороткого импульса (СКИ) за счет свойств витка меандровой линии. Эта защита не требует введения дополнительных устройств и компонентов в состав печатного узла. Она основана на использовании искажений сигнала в меандровых линиях, которые являются традиционными элементами печатных плат и используются для задержки сигнала при синхронизации сигналов. Защита достигается за счет ослабления СКИ путем его разложения на последовательность импульсов с меньшей (относительно исходной) амплитудой на выходе линии. Поперечное сечение витка и схема линии представлены на рисунке 9. Параметры выбраны следующими: ширина и толщина сигнального проводника $w=300$ мкм, $t=105$ мкм соответственно, расстояние между проводниками $s=23$ мкм, расстояние от слоя земли до сигнального проводника $h=510$ мкм. Линия состоит из двух параллельных проводников длиной $l=45$ мм, соединенных между собой на одном конце. Один из проводников линии соединен с источником импульсных сигналов, представленным на схеме идеальным источником ЭДС E и внутренним сопротивлением R_1 . Другой проводник линии соединен с приёмным устройством, представленным на схеме сопротивлением R_2 . Для уменьшения отражений сигнала на концах проводников линии, значения R_1 и R_2 приняты равными среднему геометрическому волновых сопротивлений четной и нечетной мод линии $(86,2 \cdot 14,82)^{0,5}=35,74$ Ом. Воздействие: импульс в виде трапеции, с ЭДС 1 В, длительностью плоской вершины 100 пс, а фронта и спада – по 50 пс.

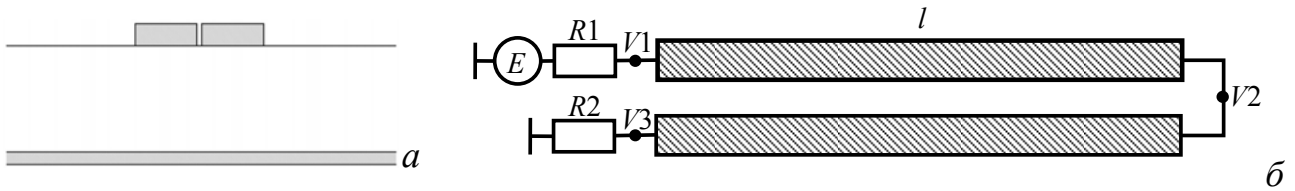


Рисунок 9 – Поперечное сечение (а) и схема соединений (б) витка микрополосковой меандровой линии

Моделирование линии выполнено при следующих условиях: по исходным параметрам поперечного сечения линии построена его геометрическая модель и вычислены матрицы \mathbf{L} , \mathbf{C} и погонных проводимостей (\mathbf{G}) для $\epsilon_r=10$, $\text{tg}\delta=10^{-4}$ и $f=1$ ГГц:

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 390,34 & 309,03 \\ 309,03 & 390,34 \end{bmatrix} \text{ нГн/м}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 232,06 & -138,12 \\ -138,12 & 232,06 \end{bmatrix} \text{ пФ/м}, \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} 108,1 & -54,2 \\ -54,2 & 108,1 \end{bmatrix} \text{ мкСм/м}.$$

Формы сигнала в конце линии без учета и с учетом потерь в диэлектрике приведены на рисунке 10. Они показали малое влияние потерь в диэлектрике.

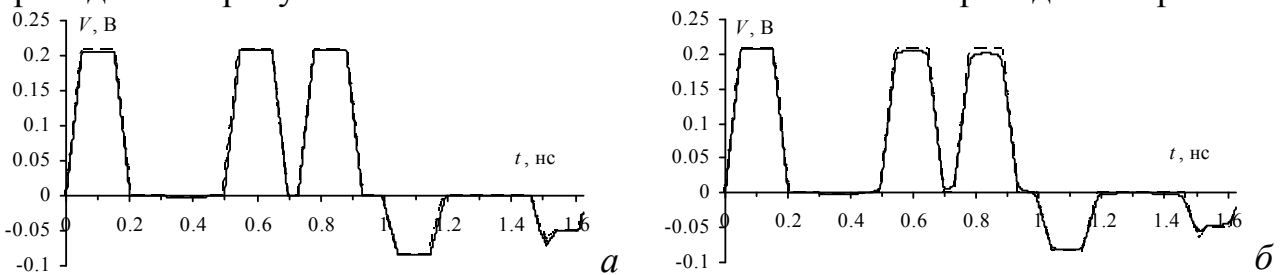


Рисунок 10 – Формы сигнала в конце меандровой линии без учета (---) и с учетом (—) потерь в диэлектрике при $\text{tg}\delta=10^{-4}$ (а), 10^{-2} (б)

Таким образом, в четвертой главе представлены результаты математического моделирования характеристик различных радиоэлектронных устройств и их ключевых узлов, включающие: взаимное влияние пары проводников, модальный фильтр, меандровую микрополосковую линию.

В главе 5 представлены результаты моделирования по комплексной оптимизации элементов РЭУ за счет использования предложенного автором комбинированного численного метода, основанного на объединении метода моментов, ГА и трех математических моделей учета сосредоточенных нагрузок. Приведены результаты его использования для различных задач. Тестирование разработанного комплекса выполнено на примере оптимизации тестовых функций.

Оптимизировались параметры МФ с торцевой связью, треугольного, с лицевой связью (рисунок 11). Изменялись значения ширины проводников (w) и расстояния между ними (s). Критерием оптимизации при заданных толщине проводников и параметрах диэлектрика являлась максимальная разность погонных задержек четной и нечетной мод. Задача сформулирована как $\Delta\tau = f(s,w) \rightarrow \max$, при $0,1 \text{ мм} \leq s \leq 6 \text{ мм}$, $0,1 \text{ мм} \leq w \leq 9 \text{ мм}$. Это дает минимальную длину l МФ, обеспечивающего полное подавление сигнала на заданной частоте. Результаты оптимизации параметров МФ с торцевой связью, показавшего максимальное значение $\Delta\tau$, представлены на рисунке 12.

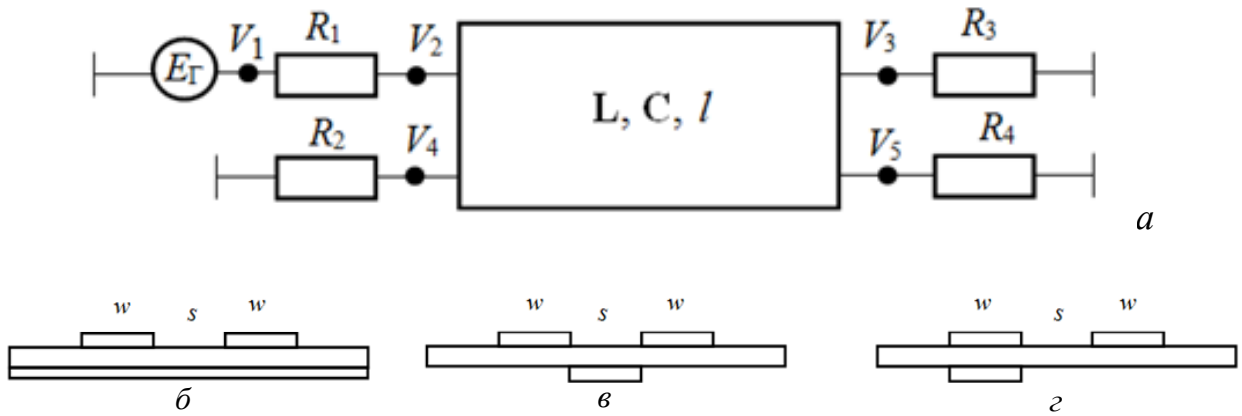


Рисунок 11 – Принципиальная схема (а) и поперечные сечения МФ с торцевой связью (б), треугольного (в), с лицевой связью (з)

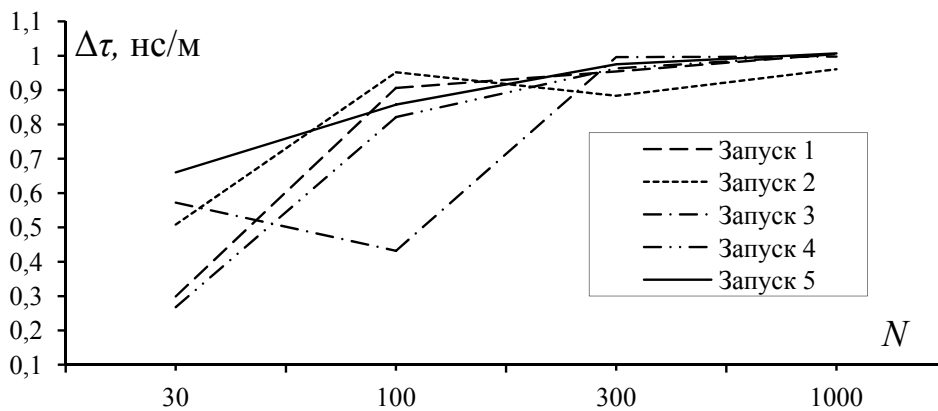


Рисунок 12 – Значения целевой функции для 5 запусков ГА в зависимости от N (число особей*число поколений)

Оптимизированы расстояния между проводниками (s_1 и s_2) трехпроводного микрополоскового МФ. Решалась задача минимизации максимального напряжения на выходе МФ при воздействии СКИ: $\max(U) = f(s_1, s_2) \rightarrow \min$, при $200 \text{ мкм} \leq s_1 \leq 400 \text{ мкм}$, $200 \text{ мкм} \leq s_2 \leq 400 \text{ мкм}$.

Сначала с помощью ГА оптимизировались только значения s_1 , поскольку в процессе эвристического поиска выявлено, что выходной сигнал сильно влияет s_1 . Результаты для 5 запусков оптимизации приведены в таблице 1, а графики для $\max(U)$ – на рисунке 13.

Таблица 1 – Результаты работы ГА при оптимизации s_1

N	Число особей, число поколений							
	3, 10		10, 10		10, 30		10, 100	
	s_1	$\max(U), \text{В}$	s_1	$\max(U), \text{В}$	s_1	$\max(U), \text{В}$	s_1	$\max(U), \text{В}$
1	366	0,0373535	333	0,0364478	323	0,0366652	329	0,0364521
2	264	0,0387915	332	0,0364339	325	0,0365686	330	0,0364266
3	273	0,0384555	328	0,0364779	327	0,0364996	329	0,0364521
4	345	0,0364985	325	0,0365686	327	0,0364996	330	0,0364266
5	319	0,0368421	326	0,0365231	324	0,0366183	330	0,0364266

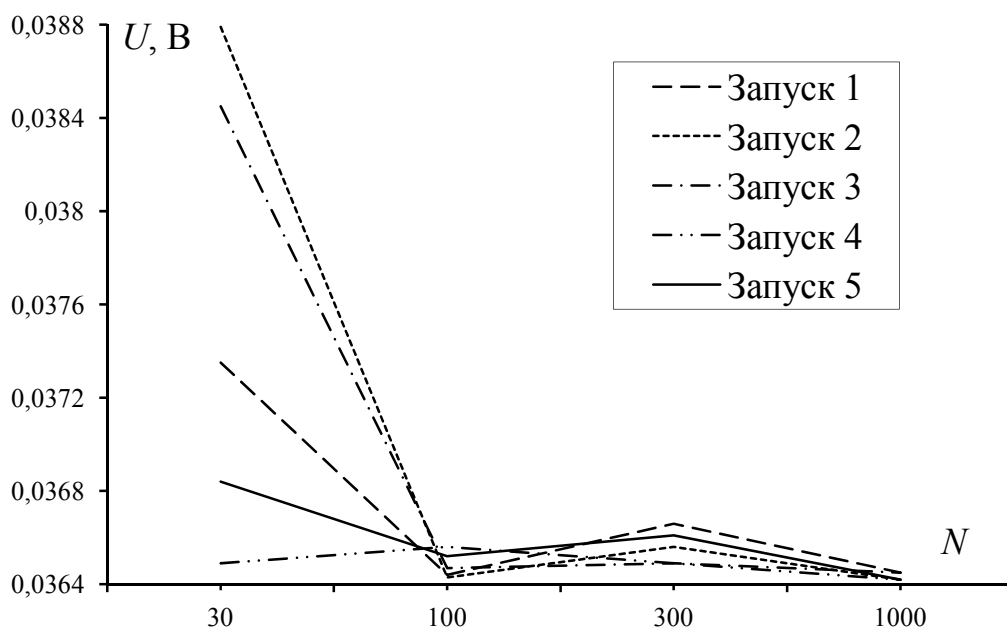


Рисунок 13 – Результаты оптимизации $s1$ трехпроводного МФ с помощью ГА по критерию минимизации амплитуды на выходе МФ, при количестве особей и поколений: 3 и 10; 10 и 10; 10 и 30; 10 и 100

Проведено моделирование и выполнена оптимизация параметров воздушной меандровой линии (рисунок 14). Использовался ГА для поиска таких значений w , t , h и s , при которых среднее геометрическое волновых сопротивлений четной и нечетной мод линии будет равно 50 Ом. Задача оптимизации представлена как $Z = f(w, t, h, s) \rightarrow 50$, при $10 \text{ мкм} \leq w \leq 100 \text{ мкм}$, $10 \text{ мкм} \leq t \leq 500 \text{ мкм}$, $10 \text{ мкм} \leq h \leq 500 \text{ мкм}$, $1 \text{ мкм} \leq s \leq 100 \text{ мкм}$. Полученные значения Z при количестве поколений 10 и 100 и представлены на рисунке 14б.

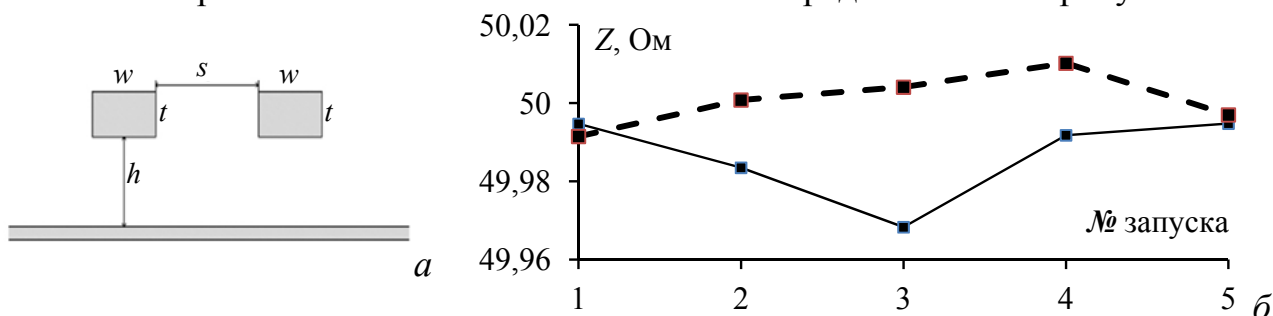


Рисунок 14 – Поперечное сечение линии (а) и зависимости целевой функции от номера запуска ГА с числом поколений 10 (—) и 100 (- - -) (б)

В качестве еще одного элемента РЭУ выбрана шина печатной платы (ПП) радиопередающего устройства (РПУ) системы автономной навигации (САН) космического аппарата. Фрагмент и принципиальная схема платы изображены на рисунке 14. На концах каждого проводника шины полагались сопротивления 50 Ом. Изгиб проводника моделировался параллельной емкостью 1 пФ, а переходное отверстие – последовательной индуктивностью 1 нГн. Согласно параметрам стека печатной платы построены поперечные сечения каждого отрезка линий передачи. Цель оптимизации – определить

длительность фронта (t_r) трапецевидного СКИ, при которой пиковое значение напряжения в узле V34 (указан стрелками на рисунке 15) максимально. Задача оптимизации сформулирована как $U_{34}=f(t) \rightarrow \max$, при $30 \text{ пс} \leq t \leq 3 \text{ нс}$.

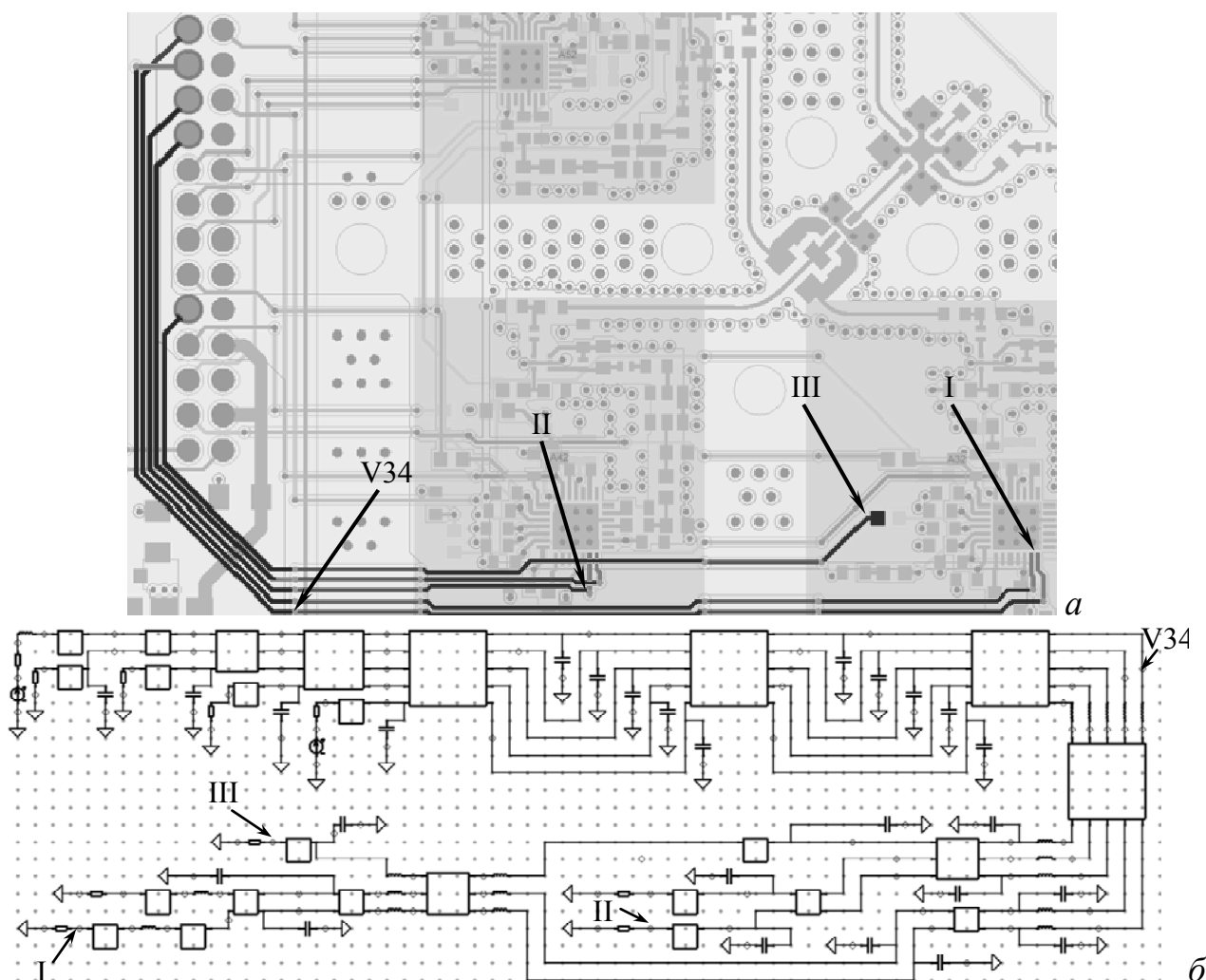


Рисунок 15 – Фрагмент (а) и принципиальная схема (б) шины ПП РПУ САН (с двумя генераторами в системе моделирования РЭУ)

Результаты работы ГА при разном числе поколений ($N_{\text{п}}$) по определению значения длительности t_r СКИ, при которой напряжение в узле V34 максимально, приведены в таблице 2. Формы сигнала для $N_{\text{п}}=50$ с наибольшим значением максимума напряжения (0,58 В) показаны на рисунке 16, где U_b – форма напряжения на входе линии, а U_{max} – форма с максимальным значением.

Таблица 2 – Результаты работы ГА

$N_{\text{п}}$	t_r , нс	U_{max} , В
5	1,936584	0,530
25	1,913967	0,537
50	0,128297	0,580

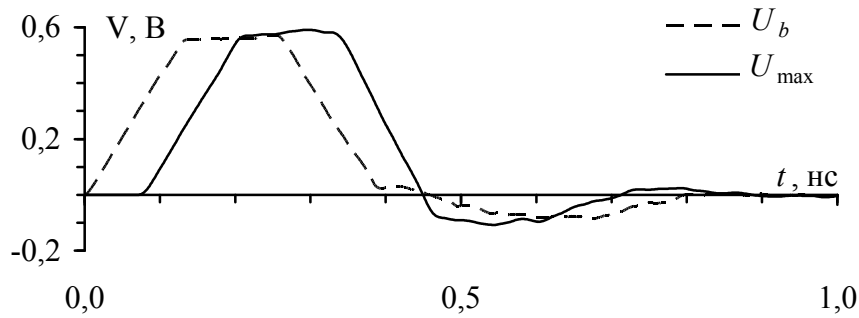


Рисунок 16 – Формы сигнала в начале линии (---) и в узле V34 (—) для $N_{\text{п}}=50$ из таблицы 2

С помощью ГА снижался коэффициент стоячей волны (КСВ) проводной антенны на двух фиксированных частотах в диапазоне 1–10 МГц. Антенна типа Inverted-V (рисунок 17) имеет длину лучей 16 м с углом между ними 65° .

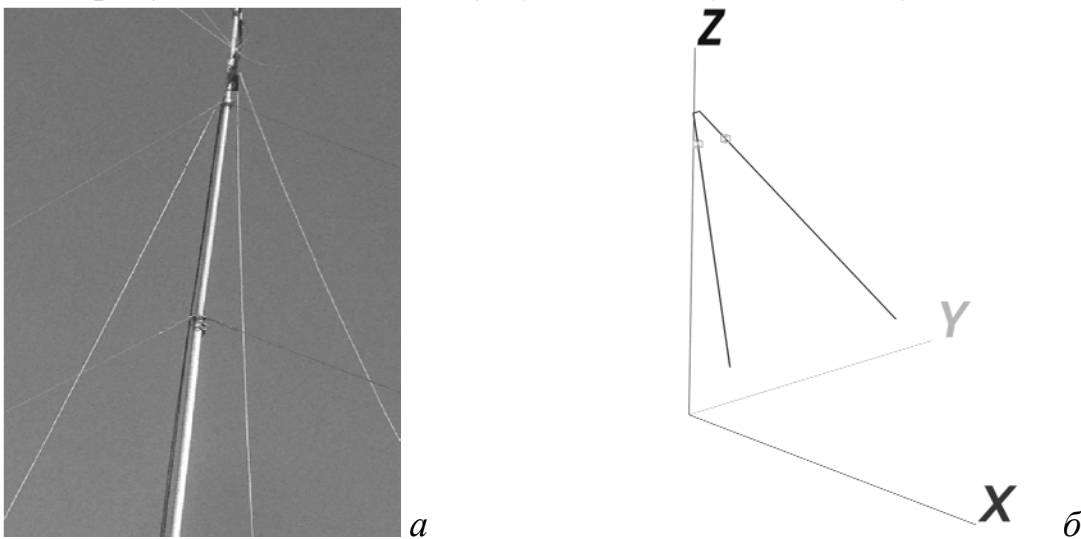


Рисунок 17 – Фото антенны типа Inverted-V (а) и её модель в системе моделирования элементов РЭУ (б)

Вначале построена модель исходной структуры (рисунок 16б) и вычислена частотная зависимость КСВ. Корректность разработанного программного обеспечения подтверждена результатами представленными на рисунке 18.

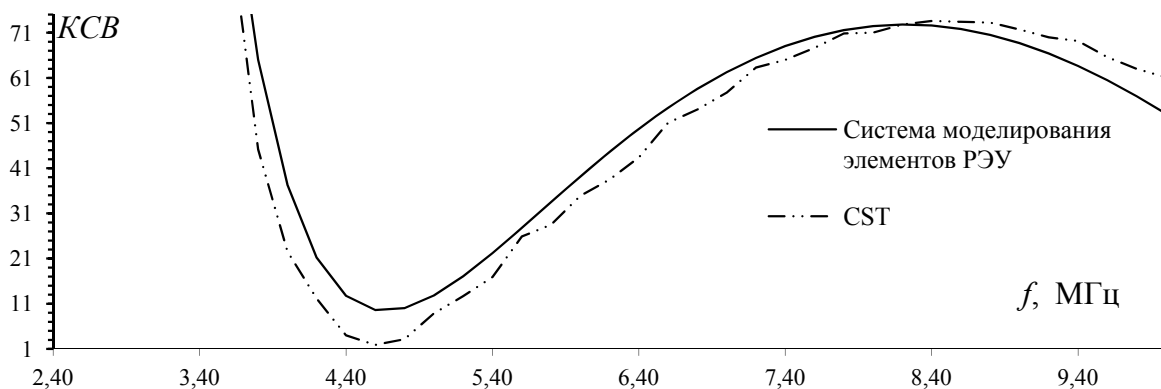


Рисунок 18 – Частотные зависимости КСВ исходной структуры антенны, полученные в разработанном программном комплексе и CST MWS

Как видно из рисунка 18, антенна не согласована во всем исследуемом диапазоне. На первом этапе оптимизации включены два полосозапирающих фильтра (ПЗФ) в структуру антенны (по одному в каждый луч) и оптимизировались емкости C и места включения Len при $R=820$ Ом и $L=3,9$ мкГн. В качестве целевой функции выбран минимум КСВ на частотах (3,5 и 6 МГц). Задача оптимизации сформулирована как $SWR=f(Len, C) \rightarrow \min$ при $0,2 \text{ м} \leq Len \leq 15 \text{ м}$, $1 \text{ пФ} \leq C \leq 10 \text{ нФ}$. Результаты до и после оптимизации представлены на рисунке 19.

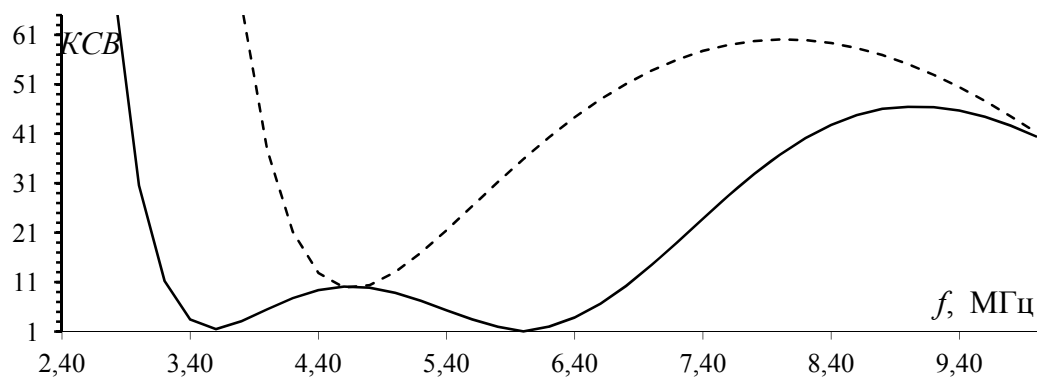


Рисунок 19 – Сравнение частотных зависимостей КСВ до (---) и после (—) оптимизации антенны с двумя ПЗФ

Автором решалась задача моделирования, оптимизации и создания широкополосной антенны с $КСВ < 5$ в диапазоне частот от 1,5 до 30 МГц, не изменяя исходных размеров и геометрии антенны включением ПЗФ в структуру антенны. Таким образом, задача сводилась к оптимизации расположения и параметров ПЗФ. По результатам моделирования была построена реальная антенна и измерен её КСВ. Расчетный КСВ исходной антенны без ПЗФ показан на рисунке 20а. Как видно, $КСВ < 5$ в диапазоне от 13 до 30 МГц. Расчетный и экспериментальный КСВ антенны с ПЗФ показаны на рисунке 19б. Как видно, $КСВ < 5$ в диапазоне от 1,5 до 30 МГц, что соответствует исходным требованиям (рисунок 20б). Показано, что включение и оптимизация ПЗФ позволяют значительно (в 1,6 раза) расширить диапазон частот при заданном КСВ, не меняя её структуры и геометрических размеров. На рисунке 20 представлено сравнение расчетных и экспериментальных данных. Абсолютная погрешность составляет 0,77, что соответствует требованиям технического задания.

Одной из особенностей разработанного алгоритмического и программного обеспечения является возможность структурной оптимизации. В работе представлены результаты моделирования структурной оптимизации широкодиапазонной быстроразворачиваемой модифицированной вибраторной антенны. Минимизирован КСВ в диапазоне частот от 3 до 30 МГц. Допускалось наличие либо отсутствие фильтров в структуре антенны. Параметры ГА: 10 особей, 10 поколений, коэффициент мутации 0,06, коэффициент кроссовера 0,6. Результат моделирования представлен на рисунке 21. Как видно, максимальный КСВ без ПЗФ был довольно большим и составлял 17. Включение 10 ПЗФ с параметрами и местами включения, выбранными из

эмпирических и аналитических соображений, уменьшило максимальный КСВ до девяти.

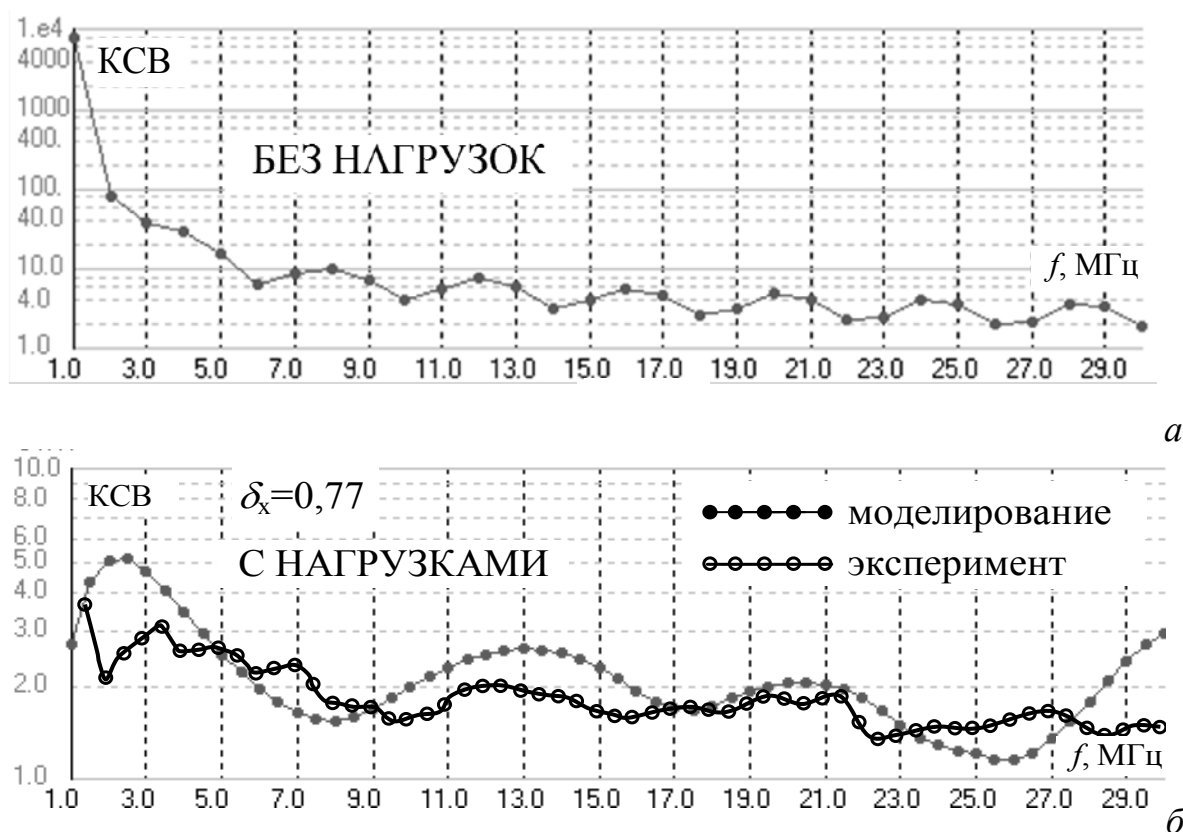


Рисунок 20 – Частотные зависимости КСВ исходной антенны (а) и антенны с ПЗФ при моделировании и эксперименте (б)

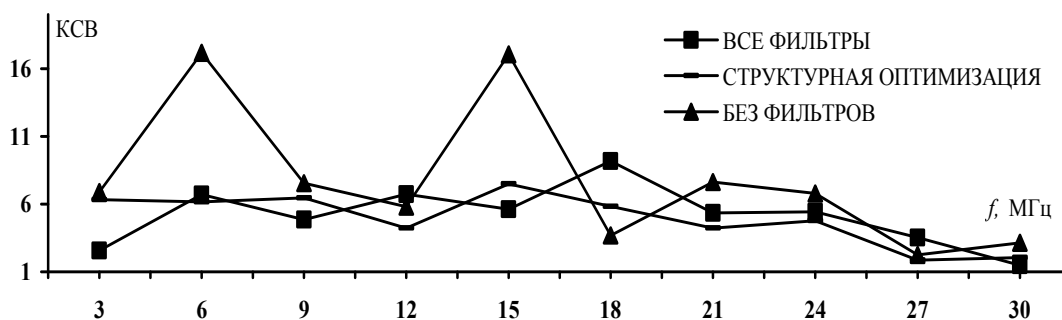


Рисунок 21 – Частотные зависимости КСВ проводной антенны: без нагрузок; с 10 нагрузками до структурной оптимизации; с 3 нагрузками после неё

Структурная оптимизация уменьшила максимальный КСВ до 8, причем оставив лишь 3 ПЗФ из 10. Таким образом, структурная оптимизация в системе моделирования элементов РЭУ позволяет получить новый класс проводных антенн с сосредоточенным нагрузками.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

В Приложении приведены листинги программ, акты внедрения результатов работы, копии свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и патентов на полезные модели и изобретения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования решена научная проблема создания методологии, алгоритмического и программного обеспечения для моделирования и оптимизации элементов РЭУ, имеющая важное значение для применения математического моделирования, численных методов и комплексов программ для решения технических задач, определяющих развитие страны. Таким образом, цель работы достигнута, что подтверждается следующими результатами.

Создана методология комплексной оптимизации элементов РЭУ, сформулирована методика их моделирования, а также методика снижения КСВ антенны, за счет использования сосредоточенных нагрузок. Предложенная оригинальная методология, отличающаяся от существующих возможностью структурно-параметрической оптимизации, значительно расширила границы применимости разработанного алгоритмического ПО для моделирования элементов широкого класса РЭУ.

Разработано алгоритмическое обеспечение для моделирования проводных антенн с сосредоточенными нагрузками. Определены требования к ПО. В соответствии с требованиями создана структура и информационное обеспечение ПО. Реализовано графическое отображение исследуемой проводной антенны с нагрузками. Создан интерфейс ПО на базе использования DHTML диалогов и приведены примеры их использования. Выполнено тестирование ПО для моделирования проводных антенн с нагрузками, показывающее корректность программной реализации.

Разработан программный комплекс, позволяющий проводить моделирование широкого класса РЭУ на основе квазистатических и электродинамических математических моделей. Представлено тестирование разработанного программного комплекса на примере ряда тестовых функций, а также на примере моделирования проводных антенн с сосредоточенными нагрузками и их оптимизации. Программный комплекс может работать автономно, совместно с другими программными продуктами, а также вместе с другими языками программирования высокого уровня.

Выполнено моделирование трассировки печатных проводников цепей с резервированием, позволившее уменьшить восприимчивость резервируемой цепи к внешним кондуктивным эмиссиям и уменьшить уровень кондуктивных эмиссий, генерируемых резервируемой цепью. Представлены результаты оптимизации многопроводных МФ по трем разным критериям. Проведено моделирование влияния потерь на разложение СКИ в витке меандровой МПЛ. Выполнено сравнение существующих аналогов и разработанной ТЕМ-камеры, подтвердившее, эффективность предложенной методики оптимизации её геометрических размеров. Проведено сравнение результатов моделирования и эксперимента, сравнение с опубликованными данными, с другими программными продуктами, а также внедрение результатов моделирования в практику работ предприятий, подтвердивших корректность и достоверность созданного алгоритмического и программного обеспечения.

Предложен комбинированный численный метод, основанный на объединении метода моментов, генетических алгоритмов и трех математических моделей учета сосредоточенных нагрузок, позволивший провести оптимизацию элементов РЭУ. Разработанное алгоритмическое ПО апробировано для комплексной оптимизации на примере ряда тестовых функций. Выполнена оптимизация в задачах моделирования элементов РЭУ: оптимизация параметров двухпроводной линии передачи, оптимизация параметров трехпроводного МФ, оптимизация параметров воздушной меандровой линии, поиск максимального пикового значения СКИ в шине ПП РПУ САН, снижение КСВ проводной антенны. Приведены примеры успешного применения алгоритмического обеспечения для уменьшения КСВ конкретных антенных структур. Апробирована предложенная методика уменьшения КСВ антенн за счет включения сосредоточенных нагрузок. Впервые выполнено моделирование широкодиапазонной модифицированной вибраторной антенны с оптимизацией сосредоточенных нагрузок. Представлена параметрическая и структурная оптимизация антенн с ПЗФ. Оптимизация расположения и параметров ПЗФ позволила значительно (в 1,6 раза) улучшить КСВ антенны, не меняя её структуры и геометрических размеров.

В результате экспериментального исследования получена конструкция комбинированной четырехпроводной антенны. Антенна изготовлена и испытана в сеансах связи на диапазонах 1,8; 3,5; 7; 14; 21; 28 МГц в полевых условиях. В зависимости от условий прохождения на трассе дальней связи удавалось установить связь с корреспондентами Европы на одном или даже на нескольких из указанных диапазонов.

Результаты диссертации внедрены на предприятиях ФГНУ ГНТЦ «Наука», г. Москва; филиал ФГУП «НТЦ «Атлас», г. Санкт-Петербург, АО «Информационные спутниковые системы им. ак. М.Ф. Решетнева», г. Железногорск, АО НПФ «Микран» г. Томск, а также использованы в учебном процессе ТУСУР, НИ ТГУ, ТГПУ, о чем свидетельствуют акты о внедрении.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Интеллектуальные навигационно-телекоммуникационные системы управления подвижными объектами с применением технологии облачных вычислений / Н. Г. Марков, Д. М. Сонькин, А. С. Фадеев, А. О. Шемяков, Т. Т. Газизов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2011. – 158 с.
2. Информационная безопасность в автоматизированных навигационно-телекоммуникационных системах / Н. Г. Марков, А. О. Шемяков, Д. М. Сонькин, Т. Т. Газизов, А. С. Фадеев. – Томск: В-Спектр, 2012. – 104 с.
3. Газизов Т. Т. Синтез оптимальных проводных антенн / Т. Т. Газизов. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 120 с.

Список публикаций в журналах из перечня ВАК

1. Газизов Т. Р. Компьютерное моделирование сложных структур проводников при проектировании телевизионно-вычислительных систем. / Т. Р. Газизов, А. О. Мелкозеров, Т. Т. Газизов, С. П. Куксенко, А. М. Заболоцкий // Известия вузов. Приборостроение. – 2005. – № 11. – Т. 48. – С. 64–67.
2. Урбанович П. В. Анализ генераторов шума для нейтрализации побочных электромагнитных излучений и наводок / П. В. Урбанович, Т. Т. Газизов, А. А. Шелупанов // Безопасность информационных технологий. – 2007. – № 4. – С. 81–82.
3. Газизов Т. Т. Классификация методов глобальной оптимизации для решения задач безопасности / Т. Т. Газизов // Доклады ТУСУРа. – 2008. – № 2 (18). – Ч. 1. – С. 130–131.
4. Марков Н. Г. Комбинированный алгоритм прогнозирования дорожной обстановки на основе методов нечеткого поиска в региональной навигационно-информационной системе мониторинга и управления транспортом / Н. Г. Марков, Д. М. Сонькин, Т. Т. Газизов, Ю. В. Лещик, А. С. Фадеев, А. О. Шемяков // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 4 (30). – С. 182–187.
5. Газизов Р. Р. Исследование распространения сверхкороткого импульса в микрополосковой С-секции при изменении зазора между связанными проводниками / Р. Р. Газизов, А. М. Заболоцкий, Т. Т. Газизов // Доклады ТУСУРа. – 2016. – Т. 19. – № 1. – С. 79–82.
6. Газизов Р. Р. Локализация максимумов напряжения в шине печатной платы системы автономной навигации космического аппарата / Р. Р. Газизов, А. М. Заболоцкий, А. О. Белоусов, Т. Т. Газизов // Труды МАИ. – Вып. 89: [Электронный ресурс] URL: https://www.mai.ru/upload/iblock/9db/gazizov_zabolotskiy_belousov_gazizov_rus.pdf (дата обращения: 10.10.2016).
7. Газизов Р. Р. Исследование максимума напряжения сверхкороткого импульса в микрополосковой меандровой линии при изменении ее геометрических параметров / Р. Р. Газизов, А. М. Заболоцкий, Т. Т. Газизов // Технологии ЭМС. – 2016. – № 3 (58). – С. 11–17.
8. Газизов Т. Т. Эволюционное моделирование приемопередающих антенных систем связи / Т. Т. Газизов // Информатика и системы управления. – 2016. – № 4 (50) – С. 3–10.
9. Комнатнов М. Е. Оптимизация геометрических параметров ТЕМ-камеры / М. Е. Комнатнов, Т. Т. Газизов // Технологии ЭМС. – 2016. – № 4 (59). – С. 7–17.
10. Куксенко С. П. Оценка уровня излучаемой электромагнитной эмиссии семикаскадного модального фильтра для сети Ethernet 100Base-T / С. П. Куксенко, Р. Р. Хажibeков, Т. Т. Газизов // Технологии ЭМС. – 2017. – № 1 (60). – С. 13–20.

11. Газизов Р. Р. Исследование локализации пиковых значений сигнала в печатной плате системы автономной навигации / Р. Р. Газизов, Т. Т. Газизов // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. – № 2. – С. 10–12.
12. Носов А. В. Параметрическая оптимизация защитного витка меандровой линии с лицевой связью / А. В. Носов, Р. С. Суровцев, Т. Т. Газизов // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. – № 3. – С. 21–23.

Патенты на изобретения и полезные модели

1. Патент РФ на полезную модель № 66613. Малютин Н. Д., Газизов Т. Т., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Р., Лошилов А. Г., Семенов Э. В., Рыбин А. П. Широкополосная антенная система для работы в декаметровом диапазоне. Заявка № 2007114313. Приоритет полезной модели 16.04.2007 г. Зарегистрировано 10.09.2007.
2. Патент РФ на полезную модель № 79213. Газизов Т. Р., Заболоцкий А. М., Бевзенко И. Г., Самотин И. Е., Орлов П. Е., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Костарев И. С. Устройство воздействия на аппаратуру. Заявка № 2008127574/22(033831). Приоритет полезной модели 07.07.2008. Опубликовано 20.12.2008. Бюл. № 35.
3. Патент РФ на полезную модель № 79355. Газизов Т. Р., Заболоцкий А. М., Бевзенко И. Г., Самотин И. Е., Орлов П. Е., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Костарев И. С. Модальный фильтр. Заявка № 2008127527/22(033781). Приоритет полезной модели 07.07.2008. Опубликовано 27.12.2008. Бюл. № 36.
4. Патент РФ на полезную модель № 800100. Газизов Т. Р., Заболоцкий А. М., Бевзенко И. Г., Самотин И. Е., Орлов П. Е., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Костарев И. С. Устройство модального зондирования. Заявка № 2008127580/22(033837). Приоритет полезной модели 07.07.2008. Опубликовано 20.01.2009. Бюл. № 2.
5. Патент РФ на изобретение № 2386964. Газизов Т. Р., Заболоцкий А. М., Орлов П. Е., Самотин И. Е., Бевзенко И. Г., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Костарев И. С. Устройство обнаружения, идентификации и диагностики многопроводных линий передачи. Заявка № 2009108905/28(011919). Приоритет изобретения 10.03.2009. Опубликовано 20.04.2010. Бюл. № 11.
6. Патент РФ на изобретение № 2431912. Газизов Т. Р., Заболоцкий А. М., Бевзенко И. Г., Самотин И. Е., Орлов П. Е., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Костарев И. С. Устройство защиты от импульсных сигналов. Заявка № 2010108518/07(012013). Приоритет изобретения 9.03.2010. Опубликовано 20.10.2011 Бюл. № 29.
7. Патент РФ на изобретение № 2431897. Газизов Т. Р., Заболоцкий А. М., Бевзенко И. Г., Самотин И. Е., Орлов П. Е., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Костарев И. С. Устройство для нарушения работы аппаратуры за счет разложения и восстановления импульсов. Заявка № 2010108520/07(012016). Приоритет изобретения 9.03.2010. Опубликовано 20.10.2011 Бюл. № 29.

Доклады в трудах конференций, индексируемых WoS и Scopus

1. Belousov A. O. Optimization of parameters of multiconductor modal filters for protection against ultrashort pulses / A. O. Belousov, A. M. Zabolotsky, T. T. Gazizov // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (Erlagol, Altai. 30 June – 4 July). – Erlagol, 2016. – P. 67–70.
2. Gazizov A. T. Time-domain response of asymmetrical modal filter without resistors to ultrashort pulse excitation / A. T. Gazizov, A. M. Zabolotsky, T. T. Gazizov // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (Erlagol, Altai. 30 June – 4 July). – Erlagol, 2016. – P. 85–88.
3. Nosov A. V. Influence of losses on ultrashort pulse decomposition in a turn of meander microstrip line / A. V. Nosov, R. S. Surovtsev, T. T. Gazizov // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (Erlagol, Altai. 30 June – 4 July). – Erlagol, 2016. – P. 151–154.
4. Orlov P. E. Method of lay-out of multilayer PCBs for circuits with redundancy / P. E. Orlov, E. N. Buichkin, T. T. Gazizov // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (Erlagol, Altai. 30 June – 4 July). – Erlagol, 2016. – P. 155–158.
5. Gazizov R. R. Optimization of ultrashort pulse duration with usage of genetic algorithms by criteria of peak voltage maximization in PCB bus / R. R. Gazizov, T. T. Gazizov, A. O. Belousov, T. R. Gazizov // Proc. of IEEE 2017 Siberian Symposium on Data Science and Engineering (SSDSE) (Novosibirsk, Akademgorodok, Russia. 12–13 Apr.). – Novosibirsk, 2017. – P. 69–73.
6. Belousov A. O. Multicriteria optimization of multiconductor modal filters by genetic algorithms / A. O. Belousov, T. T. Gazizov, T. R. Gazizov // Proc. of IEEE 2017 Siberian Symposium on Data Science and Engineering (Novosibirsk, Russia. 12–13 Apr.). – Novosibirsk, 2017. – P. 65–68.
7. Belousov A. O. Experimental confirmation of the modal filtration in four- and five-conductor microstrip lines / A. O. Belousov, A. M. Zabolotsky, T. T. Gazizov, // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM (Altai, Russia. 29 June – 3 July). – Altai, 2017. – P. 46–49.
8. Gazizov R. R. Influence of ultrashort pulse duration on its peak values localization in PCB of spacecraft autonomous navigation system / R. R. Gazizov, A. M. Zabolotsky, T. T. Gazizov, A. O. Belousov // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (Erlagol, Altai. 29 June – 3 July). – Erlagol, 2017. – P. 31–34.
9. Belousov A. O. Optimization of three-conductor microstrip line modal filter by heuristic search and genetic algorithms / A. O. Belousov, T. T. Gazizov, T. R. Gazizov // Proceedings of International Siberian conference on control and communications (SIBCON–2017) (Astana, The Republic of Kazakhstan. 29–30 June). – Astana, 2017. – P. 1–4.

Тезисы и доклады в трудах симпозиумов и конференций

1. Gazizov T. T. Broadband antenna SWR improvement using parallel RLC loads / T. T. Gazizov, T. R. Gazizov // Book of abstracts EUROEM (Lausanne, Switzerland. 21–25 July). – Lausanne, 2008. – P. 240.
2. Газизов Т. Т. Точность решения СЛАУ методом Гаусса / Т. Т. Газизов // Международная молодежная научная конференция «XI Туполевские чтения» (8–10 октября 2003 г.). – Казань, 2003. – С. 98.
3. Газизов Т. Т. . Параметрическая оптимизация антенны генетическими алгоритмами / Т. Т. Газизов // Международная молодежная научная конференция «XII Туполевские чтения» (8–10 октября 2003 г.). – Казань, 2004. – С. 153–154.
4. Газизов Т. Т. Использование генетических алгоритмов для проектирования антенн / Т. Т. Газизов // Научно-техническая конференция молодых специалистов «Электронные и электромеханические системы и устройства» (10–11 апр. 2008 г.). – Томск: ОАО «НПЦ «Полюс», 2008. – С. 174–175.
5. Газизов Т. Т. Сравнение методов глобальной оптимизации / Т. Т. Газизов // Международная молодежная научная конференция «XVI Туполевские чтения» (28–29 мая 2008 г.). – Казань, 2008. – С. 219–221.
6. Демаков А. В. Оценка влияния оттяжек мачтового устройства на характеристики V-вибратора / А. В. Демаков, О. С. Каймонов, Т. Т. Газизов. // III Всероссийская научно-техническая конференция «Системы связи и радионавигации» (22–23 сентября 2016 г.). – Красноярск, 2016. – С. 73–76.
7. Газизов Т. Т. Исследование точности решения СЛАУ методом Гаусса / Т. Т. Газизов // Научная сессия ТУСУР – 2003: Материалы докладов Всероссийской научно–технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (13–15 мая 2003 г.). – Томск, 2003. – С. 95–98.
8. Газизов Т. Т. Параметрическая оптимизация антенны генетическими алгоритмами / Т. Т. Газизов // Научная сессия ТУСУР – 2004: Материалы докладов Всероссийской научно–технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (18–20 мая 2004 г.). – Томск, 2004. – С. 108–110.
9. Газизов Т. Т. Параметрическая оптимизация генетическими алгоритмами в программных системах электромагнитного моделирования для решения задач безопасности/ Т. Т. Газизов, Т. Р. Газизов // VI Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы информационной безопасности государства, общества и личности» (2–4 июня 2004 г.). – Томск, 2004. – С. 110–112.
10. Газизов Т. Т. Использование генетического алгоритма при оптимизации антенн / Т. Т. Газизов, Т. Р. Газизов // VI Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» (6–7 мая 2004 г.). – Красноярск, 2004. – С. 296–298.
11. Малютин Н. Д. Широкодиапазонные приемопередающие комбинированные антенны. Принципы построения. Решение внутренней

- задачи / Н. Д. Малютин, Л. Я. Серебренников, Г. Г. Гошин, А. П. Рыбин, А. Г. Лоцилов, Т. Р. Газизов, Т. Т. Газизов, А. О. Мелкозеров, Э. В. Семенов, А. В. Семенов // Материалы Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (6–8 октября 2004 г.). – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2004. – С. 107–111.
12. Рыбин А. П. Экспериментальные характеристики комбинированных широкополосных антенн ДКМВ-диапазона / А. П. Рыбин, Н. Д. Малютин В. В. Бабатьев, Т. Т. Газизов // Материалы Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (6–8 октября 2004 г.). – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2004. – С. 88–90.
 13. Газизов Т. Т. Электродинамическое моделирование произвольных проводных структур / Т. Т. Газизов, А. О. Мелкозеров, Т. Р. Газизов // VII Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы информационной безопасности государства, общества и личности» (16–18 февраля 2005 г.). – Томск, 2005. – С. 47–51.
 14. Газизов Т. Т. Улучшение КСВ антенны включением полосозапирающих фильтров / Т. Т. Газизов, Т. Р. Газизов // VII Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы информационной безопасности государства, общества и личности» (16–18 февраля 2005 г.). – Томск, 2005. – С. 51–54.
 15. Газизов Т. Т. Автоматизированное проектирование оптимальных антенн с сосредоточенными нагрузками / Т. Т. Газизов, А. О. Мелкозеров // Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления» (12–14 октября 2005 г.). – Томск, 2005. – С. 149–152.
 16. Газизов Т. Р. Комплексная оптимизация генетическими алгоритмами для обеспечения ЭМС / Т. Р. Газизов, А. О. Мелкозеров, С. П. Куксенко, А. М. Заболоцкий, Т. Т. Газизов // VI Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии (21–24 июня 2005 г.). – Санкт-Петербург, 2005. – С. 160–164.
 17. Газизов Т. Р. Возможности применения новых модальных явлений в целях электромагнитного терроризма и для защиты от него / Т. Р. Газизов, А. М. Заболоцкий, А. О. Мелкозеров, Т. Т. Газизов, С. П. Куксенко, Е. П. Горин, И. Г. Бевзенко // Труды VII Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии (26–29 июня 2007 г.). – Санкт-Петербург, 2007. – С. 266–269.
 18. Газизов Т. Т. Классификация методов глобальной оптимизации в задачах проектирования / Т. Т. Газизов // Научная сессия ТУСУР – 2008: Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (5–8 мая 2008 г.): В 5 ч. Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2008. – С. 60–63.

19. Каймонов О. С. Новый подход к обеспечению бесперебойной КВ-радиосвязи в системе МЧС России / О. С. Каймонов, Т. Т. Газизов // Электронные средства и системы управления: Материалы докладов XI Международной научно-практической конференции (25–27 ноября 2015 г.): В 2 ч. Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2015. – С. 30–34.
20. Демаков А. В. Моделирование коротковолновой антенны V-типа / А. В. Демаков, Т. Т. Газизов // Научная сессия ТУСУР – 2016: Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (25–27 мая 2016 г.). – Томск, 2016. – С. 300–304.
21. Дмитренко И. В. Анализ частотного отклика двухкаскадных модальных фильтров для подавления излучаемых эмиссий бортовой аппаратуры космического аппарата. / И. В. Дмитренко, Т. Т. Газизов // Научная сессия ТУСУР – 2016: Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (25–27 мая 2016 г.). – Томск, 2016. – С. 304–307.
22. Кропотов В. В. Конструктив блока модальных фильтров для сети Ethernet 100 Base-T / В. В. Кропотов, Т. Т. Газизов // Научная сессия ТУСУР – 2016: Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (25–27 мая 2016 г.). – Томск, 2016. – С. 310–313.
23. Самойличенко М. А. Моделирование модального фильтра с пассивным проводником в опорной плоскости / М. А. Самойличенко, Т. Т. Газизов // Научная сессия ТУСУР – 2016: Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (25–27 мая 2016 г.). – Томск, 2016. – С. 325–327.
24. Демаков А. В. Моделирование коротковолновой антенны V-типа с учетом автоматического антенного тюнера / А. В. Демаков, О. С. Каймонов, Т. Т. Газизов // Материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» (5–6 мая 2016 г.). – Красноярск, 2016. – С. 324–326.
25. Самойличенко М. А. Разложение сверхкороткого импульса в модальном фильтре с пассивным проводником в опорной плоскости / М. А. Самойличенко, Т. Т. Газизов // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (16–18 ноября 2016 г.). – Томск: В-Спектр, 2016. – Т. 1. – С. 222–224.
26. Дмитренко И. В. Оптимизация параметров поперечного сечения трехпроводных модальных фильтров генетическими алгоритмами / И. В. Дмитренко, Т. Т. Газизов // Научная сессия ТУСУР – 2017: Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа (10–12 мая 2017 г.): В 8 ч. Ч. 3. – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 56–58.
27. Кропотов В. В. Улучшенная конструкция печатной платы модуля защиты сети Ethernet 10/100 BASE-T/ В. В. Кропотов, О. М. Кузнецова-Гаджибаева, Т. Т. Газизов // Научная сессия ТУСУР – 2017: Материалы Международной

научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа (10–12 мая 2017 г.): В 8 ч. Ч. 3. – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 61–64.

28. Самойличенко М. А. Анализ влияния параметров модального фильтра с пассивным проводником в опорной плоскости на погонные задержки мод / М. А. Самойличенко. / Научная сессия ТУСУР – 2017: Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа (10–12 мая 2017 г.): В 8 ч. Ч. 3. – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 80–82.
29. Газизов Р. Р. Выявление максимумов напряжения сверхкороткого импульса вдоль микрополосковой С-секции с помощью генетических алгоритмов / Р. Р. Газизов, Т. Т. Газизов // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр.: [Электронный ресурс] / науч. ред. А. И. Громыко; отв. за вып. А. А. Левицкий. – Электрон. дан. (31,5 Мб). – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – С. 626–630. ISBN 978-5-7638-3646-2.

Свидетельства о регистрации

1. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 8376 от 24.05.2007 г. «Система компьютерного моделирования сложных структур проводников и диэлектриков TALGAT» Авторы: Газизов Т. Р., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Заболоцкий А. М., Костарев И. С.). Зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ Госкоорцентра Минобрнауки РФ с присвоением номера государственной регистрации – рег. номер ВНТИЦ 50200701103.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009614871. TALGAT 2008. Авторы: Газизов Т. Р., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Заболоцкий А. М. Заявка № 2009613644. Дата поступления 9 июля 2009 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 8 сентября 2009 г.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613497. TALGAT 2009. Авторы: Газизов Т. Р., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Заболоцкий А. М. Заявка № 2010612008. Дата поступления 13 апреля 2010 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28 мая 2010 г.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610712. TALGAT 2010. Авторы: Газизов Т. Р., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Заболоцкий А. М., Аширбакиев Р. И., Вершинин Е. А., Салов В. К., Лежнин Е. В., Орлов П. Е., Бевзенко И. Г., Калимулин И. Ф. Заявка № 2011617178. Дата поступления 26 сентября 2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13 января 2012 г.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012660373. TALGAT 2011. Авторы: Газизов Т. Р., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Заболоцкий А. М., Аширбакиев Р. И., Лежнин Ег. В., Салов В. К., Лежнин Ев. В., Орлов П. Е., Калимулин И. Ф., Суровцев Р. С., Комнатнов М. Е. Заявка № 2012618426. Дата поступления 5

октября 2012 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16 ноября 2012 г.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619615. TALGAT 2012. Авторы: Газизов Т. Р., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Заболоцкий А. М., Аширбакиев Р. И., Лежнин Ев. В., Салов В. К., Лежнин Ег. В., Орлов П. Е., Калимулин И. Ф., Суровцев Р. С., Комнатнов М. Е., Газизов Р. Р., Ахунов Р. Р. Заявка № 2013617773. Дата поступления 29 августа 2013 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11 октября 2013 г.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614365. TALGAT 2013. Авторы: Газизов Т. Р., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Заболоцкий А. М., Аширбакиев Р. И., Лежнин Ев. В., Салов В. К., Лежнин Ег. В., Орлов П. Е., Калимулин И. Ф., Суровцев Р. С., Комнатнов М. Е., Газизов Р. Р., Ахунов Р. Р., Новикова Е. А. Заявка № 2015611288. Дата поступления 3 марта 2015 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16 апреля 2015 г.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617550. TALGAT 2014. Авторы: Газизов Т. Р., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Заболоцкий А. М., Газизов Р. Р., Лежнин Ев. В., Салов В. К., Лежнин Ег. В., Орлов П. Е., Калимулин И. Ф., Суровцев Р. С., Комнатнов М. Е., Ахунов Р. Р., Новикова Е. А., Газизов Руст. Р., Веселовский А. В. Заявка № 2015614488. Дата поступления 27 мая 2015 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17 июля 2015 г.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 20156660487. TALGAT 2015. Авторы: Газизов Т. Р., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Заболоцкий А. М., Газизов Р. Р., Лежнин Ев. В., Салов В. К., Лежнин Ег. В., Орлов П. Е., Калимулин И. Ф., Суровцев Р. С., Комнатнов М. Е., Ахунов Р. Р., Новикова Е. А., Газизов Руст. Р., Веселовский А. В. Заявка № 2015617580. Дата поступления 17 августа 2015 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 1 октября 2015 г.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016662520. TALGAT 2016. Заявка № 20166619296. Дата поступления 01 сентября 2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 14 ноября 2016 г. Авторы: Газизов Т. Р., Мелкозеров А. О., Газизов Т. Т., Куксенко С. П., Заболоцкий А. М., Газизов Русл. Р., Салов В. К., Лежнин Е. В., Орлов П. Е., Суровцев Р. С., Комнатнов М. Е., Ахунов Р. Р., Газизов Руст. Р., Газизов А. Т., Веселовский А. В., Квасников А. А., Носов А. В., Белоусов А. О., Буичкин Е. Н., Лесков А. Н., Демаков А. В., Лемешко К. А., Собко А. А., Осинцев А. В., Калимулин И. Ф. Заявка № 20166619296. Дата поступления 01 сентября 2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 14 ноября 2016 г.

Тираж 100 экз. Заказ 386.
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники.
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.
Тел. (3822) 533018.