



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ РАДИО ИМЕНИ М.И. КРИВОШЕЕВА  
(ФГУП НИИР)

Казакова ул., д. 16, Москва, 105064  
Телефон: (495) 647 18 30, для справок: (499) 261 63 70,  
Факс: (499) 261 00 90. E-mail: [info@niir.ru](mailto:info@niir.ru)  
<http://www.niir.ru>

ОКПО 01181481, ОГРН 1027700120766  
ИНН/КПП 7709025230/774850001

*15.11.2019* № *035/5101*

На № 20/3253 от 28.08.2019г.

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего образования  
«Томский государственный  
университет систем управления  
и радиоэлектроники»

Председателю диссертационного  
совета  
Д212.268.01, д.т.н., профессору

Корикову А.М.

Пр. Ленина, 40, г. Томск, 634050

Уважаемый Анатолий Михайлович!

Высылаю Вам отзыв ведущей организации - Федерального государственного унитарного предприятия Научно-исследовательский институт радио им. М.И. Кривошеева на диссертацию Куксенко Сергея Петровича, выполненную на тему «Методы оптимального проектирования линейных антенн и полосковых структур с учетом электромагнитной совместимости», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.07 Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Приложение: отзыв в двух экз., на 10 л. каждый.


Первый заместитель  
генерального директора

М.Ю. Сподобаев

Корж Владимир Александрович  
(499) 261 0449

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель генерального директора  
Федерального государственного унитарного  
предприятия Научно-исследовательский  
институт радио имени М.И. Кривошеева,  
кандидат технических наук

  
\_\_\_\_\_ М.Ю.Сподобаев  
« 15 » \_\_\_\_\_ 2019 г.



### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Куксенко Сергея Петровича, выполненную на тему «Методы оптимального  
проектирования линейных антенн и полосковых структур с учетом  
электромагнитной совместимости», представленную на соискание ученой  
степени доктора технических наук по специальности 05.12.07 Антенны, СВЧ-  
устройства и их технологии

**Актуальность темы диссертационных исследований** С.П. Куксенко определяется следующими обстоятельствами. Усложнение используемого радиоэлектронного оборудования, рост занятости и загруженности радиочастотного спектра, увеличение количества используемых радиоэлектронных средств, приводят к усложнению электромагнитной и помеховой обстановки. В этих условиях на передний план выходят проблемные вопросы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) действующих и планируемых к применению радиоэлектронных средств (РЭС). Вопросы обеспечения ЭМС РЭС должны решаться на всех этапах жизненного цикла радиоэлектронного оборудования, включая этапы проектирования, испытаний и эксплуатации.

В этой связи диссертационная работа С.П. Куксенко, направленная на развитие методологии проектирования радиоэлектронного оборудования по направлению создания методов проектирования радиоэлектронного

оборудования с учетом обеспечения требований ЭМС, посвящена решению актуальной научной проблемы обеспечения синтеза линейных антенн и полосковых структур с учетом требований электромагнитной совместимости.

В соответствии с актуальностью и направленностью темы диссертации в области оптимизации процессов проектирования радиоэлектронного оборудования с учетом требований ЭМС автор определяет основные направления исследований и основные результаты диссертационной работы, направленные на совершенствование и оптимизацию математического обеспечения и вычислительных процессов проектирования, связанных с высокими уровнями сложности используемых математических моделей и вычислительных процедур, их обработки для целей получения результатов в области синтеза полосковых структур и линейных антенн, имеющих высокий уровень практической значимости.

**Цель диссертационных исследований** С.П. Куксенко направлена на уменьшение вычислительных затрат на проектирование полосковых структур и линейных антенн с учетом ЭМС.

Для достижения поставленной цели автором диссертации проведен детальный анализ используемых подходов и накопленного опыта в области проектирования радиоэлектронного оборудования с учетом возможностей автоматизации процессов проектирования. Детальность анализа определяется и подтверждается количеством анализируемых подходов и обширной библиографией предметной области.

На основе проведенного анализа определены проблемы в области вычислительных методов проектирования и разработаны новые методы проектирования полосковых структур и линейных антенн с учетом ЭМС, существенно улучшающие вычислительные процессы проектирования при условии использования соответствующих вычислительных средств. С учетом разработанных методов и вычислительных процедур проведены исследования зависимости качества решения расчетных задач от множества факторов, в том числе устанавливаемых параметров вычислительных

процессов. В работе также получены результаты, связанные с рациональным предопределением множества исходных данных, промежуточных данных и возможностями корректировки вычислительных процессов, что особенно важно при практической реализации разработанных в ходе диссертационных исследований методов и вычислительных процедур. Таким образом, решена проблема предопределения исходных данных и последующая оптимизация вычислительных процедур для получения результатов с требуемым качеством. Реализация рациональных предопределений исходных данных и параметров вычислительных процедур существенно повышает уровень устойчивости и сходимости вычислительных процессов на основе разработанных автором и предлагаемых в диссертации методов и алгоритмов.

**Задачи диссертационных исследований** определены с учетом поставленных целей диссертационных исследований, характеризуются логической целостностью и практической направленностью.

Логика последовательности решаемых в диссертации задач предусматривает совершенствование технологий в области анализа линейных антенн и полосковых структур на основе оптимизации вычислительных процессов решения систем линейных алгебраических уравнений с учетом специфики и особенностей их предобусловливателей.

На этой основе в диссертации решены задачи, имеющие высокий уровень научного и практического значения, направленные на создание высокоэффективных автоматизированных технологий проектирования линейных антенн и полосковых структур.

**Структура диссертации** состоит из введения, семи разделов, заключения и приложения, которые посвящены вопросам проектирования линейных антенн и полосковых структур с учетом условий обеспечения ЭМС на основе модификации известных и разработки новых математических моделей и методов анализа и синтеза указанных видов радиоэлектронного оборудования.

В приложении к диссертации представлены документированные сведения о публикации, патентовании и внедрениях результатов диссертационной работы.

Приложения к диссертационной работе, включающие многочисленные акты о внедрении результатов работы, патенты на изобретения и полезные модели, а также свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ подчеркивают практическую направленность диссертационных исследований С.П. Куксенко.

Достижение цели диссертационных исследований осуществляется автором поэтапно. Каждая из глав диссертации представляет исследования, направленные на получение основных научных результатов диссертационной работы, содержащих научную новизну.

**В первом разделе** исследуется состояние предметной области, проводится анализ научных работ, посвященных вопросам моделирования и вычислительным процессам анализа и синтеза линейных антенн и полосковых структур. В результате анализа сделан выбор вычислительных методов, с учетом которых проведены исследования и получены новые научные результаты. Исследования в области чувствительности и устойчивости численных методов и вычислительных процедур в специфических условиях сложности и множественности предопределений в области исходных данных и промежуточных установочных определений способствовали постановке научной задачи диссертационных исследований в области разработки модификации известных и разработки новых методов проектирования линейных антенн и полосковых структур с учетом автоматизации процессов проектирования и возможностей используемых вычислительных мощностей.

**Во втором разделе** проведены исследования и представлены результаты модификации известных способов предфильтрации и разработки новых способов предфильтрации, обеспечивающие предобусловливание в

ходе итерационных решений на основе математических моделей для одновариантного анализа радиоэлектронных средств.

**В третьем разделе** проведены исследования и предложены математические модели, алгоритмы, а также варианты и процедуры математической и вычислительной оптимизации процессов синтеза при проведении многовариантного анализа радиоэлектронных средств.

**В четвертом и пятом разделах** представлены и исследованы результаты автоматизации и характеристики процессов итерационных решений системы линейных алгебраических уравнений с учетом вычислений предобусловливателей при проектировании линейных антенн и полосковых структур.

**В шестом разделе** представлены результаты исследований, полученные в ходе апробации разработанных моделей, методов, алгоритмов и программ при решении задач анализа и синтеза проводных и полосковых структур. На основе данных исследований получены рекомендации по практическому применению разработанных моделей, методов, алгоритмов и программ с учетом особенностей и требований оптимизации соответствующих вычислительных процессов.

**В седьмом разделе** представлены описания практического использования результатов диссертационной работы для решения задач анализа и проектирования радиоэлектронного оборудования в составе изделий различного назначения.

Логически выдержанная последовательность диссертационных исследований и решение поставленных в диссертации задач позволили получить следующие основные **научные результаты диссертационных исследований и основные положения, выносимые на защиту:**

1. Электродинамический анализ линейных антенн методом моментов с ускорением итерационного решения системы линейных алгебраических уравнений за счёт использования предобусловливания и алгебраической предфильтрации на основе евклидовой нормы строк матрицы системы

характеризуется стабильностью оптимального (по критерию минимального времени решения) значения допуска обнуления при изменении частоты сигнала.

2. При квазистатическом анализе полосковых структур методом моментов использование модифицированного адаптивного итерационного выбора оптимальной сегментации и неполного Ш-разложения в сочетании с модифицированным разреженным строчным форматом хранения матрицы для вычисления предобусловливателя при итерационном решении системы линейных алгебраических уравнений уменьшает вычислительные затраты.

3. При квазистатическом анализе полосковых структур в диапазоне параметров методом моментов использование итерационного решения последовательности систем линейных алгебраических уравнений с переформированием предобусловливателя по средним арифметическим значениям времени и сложности решения позволяет адаптивно и без участия пользователя минимизировать время решения.

4. Квазистатический анализ полосковых структур в диапазоне параметров методом моментов ускоряется за счёт оптимального (по критерию минимального времени анализа) выбора очередности итерационного решения полученной последовательности систем линейных алгебраических уравнений.

5. Квазистатический анализ методом моментов и оптимизация полосковых и проводных структур в диапазоне параметров ускоряются за счёт решения последовательности систем линейных алгебраических уравнений с использованием блочного ЦЗ-разложения или его гибридизации с итерационным методом.

Диссертационная работа С.П. Куксенко представляет собой законченное цельное самостоятельное исследование, включающее новые, обоснованные, значимые и аргументированные научные положения, выводы, предложения и рекомендации, в области проектирования линейных антенн и полосковых структур с учетом электромагнитной совместимости, имеющие

важное социально-экономическое и хозяйственное значение. Теоретические и практические разработки автора отличаются аргументированностью, глубиной проведенных исследований, доведением до расчетных программ для ЭВМ и широким апробированием при решении задач анализа и проектирования радиоэлектронного оборудования различного назначения.

**Результаты диссертации имеют как научное, так и практическое значение.** Внедрение полученных в диссертации результатов внесет значительный вклад в развитие отрасли связи в области проектирования линейных антенн и полосковых структур, обеспечит повышение уровня устойчивости и точности получаемых результатов проектирования радиоэлектронного оборудования различного назначения с учетом обеспечения требований и условий электромагнитной совместимости.

Работа базируется на широком теоретическом материале, практическом проектировании и многочисленных экспериментальных исследованиях. Автор рассматривает опыт российских и зарубежных ученых, организаций, критически осмысливает имеющиеся результаты в области анализа и синтеза линейных антенн и полосковых структур. Для решения поставленных задач в работе используются методы системного анализа и синтеза радиотехнических систем, вычислительной математики, численного моделирования и экспериментальных исследований.

**По диссертационному исследованию С.П. Куксенко имеются следующие замечания:**

- в основу формулирования логики и цели диссертационных исследований положена необходимость уменьшения вычислительных затрат на проектирование. Вместе с тем бурное развитие средств вычислительной техники, которое происходит в последние десятилетия, сопровождается регулярным увеличением мощности и производительности ЭВМ и существенным наращиванием оперативной и постоянной электронной памяти. В этой связи, в основу формулирования логики и целей диссертационных исследований следовало бы положить оптимизацию и более широкий спектр параметров процессов проектирования и получаемых



конечных результатов применительно к линейным антеннам и полосковым структурам. В номенклатуру таких показателей следовало бы включить показатели, получаемые на основе полученных в ходе диссертационных исследований утверждений, положений и выводов, типа «...предобусловливание является способом уменьшения количества итераций за счет *улучшения сходимости* при итерационном решении СЛАУ...». «Улучшение сходимости» вычислительных процедур является более фундаментальной категорией по отношению к требованию «уменьшение вычислительных затрат». Тем более, что в данном случае уменьшение вычислительных затрат является дополнительным позитивным эффектом, получаемым в результате улучшения сходимости процесса получения необходимого конечного результата;

- степень критичности вычислительных затрат с учетом возможностей современных ЭВМ в части производительности вычислительных процедур с учетом современных и все возрастающих вычислительных мощностей недостаточно очевидна. В диссертации отсутствуют материалы оценки критичности характеристик существующих ЭВМ в части производительности и емкости памяти по отношению к процессам автоматизированного моделирования, анализа, расчетов и проектирования линейных антенн и полосковых структур;

- в материалах диссертаций, по существу формулировок, встречаются противопоставления фактически взаимодополняющих категорий (пример - противопоставление категорий «многовариантный анализ» и «оптимизация изделия»).

Основой проблематики диссертационных исследований С.П. Куксенко является сложность и чувствительность расчетов в условиях многофакторности в определении множества предустановок условий расчетов на основе численных методов. Указанная проблематика в достаточной степени раскрыта и решена на основе разработанных и

предлагаемых в диссертации моделей, методов, алгоритмов и их программной реализации.

Ввиду того, что в диссертации С.П. Куксенко достаточно полно исследованы зависимости качества решения задач анализа и проектирования линейных антенн и полосковых структур от множества факторов, в т.ч. предустанавливаемых исходных данных и параметров вычислительных процессов, перечисленные недостатки и замечания не снижают научной и практической значимости работы С.П. Куксенко.

**Основное содержание работы в достаточной степени отражено в публикациях автора и изложено в автореферате.**

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Основные положения и результаты диссертации докладывались и представлены в трудах различных научно-технических конференций.

**Результаты диссертационных исследований в достаточной степени опубликованы** в том числе и в ведущих научных изданиях, рекомендуемых ВАК.

**Заключение о соответствии диссертации требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ.**

Диссертационное исследование Куксенко С.П. на тему «Методы оптимального проектирования линейных антенн и полосковых структур с учетом электромагнитной совместимости» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком уровне, в которой решена актуальная научная проблема оптимизации процессов проектирования линейных антенн и полосковых структур с учетом электромагнитной совместимости, имеющая важное научное и практическое значение. В ходе ее решения получены новые научно обоснованные технологические решения, имеющие важное социально-экономическое и хозяйственное значение, внедрение которых способствует повышению качества проектирования радиоэлектронного оборудования.

Диссертационная работа, в полной мере отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 05.12.07 Антенны, СВЧ-устройства и их технологии, а ее автор Куксенко С.П. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Отзыв подготовлен директором Научно-технического центра (НТЦ) Анализа электромагнитной совместимости ФГУП НИИР, доктором технических наук Веерпалу Вячеславом Энновичем и научным консультантом ФГУП НИИР, доктором технических наук Кизима Станиславом Васильевичем.

Отзыв заслушан, обсужден и одобрен на заседании Научно-технического совета НТЦ Анализа электромагнитной совместимости ФГУП НИИР 18.10.2019 г., Протокол № 9.

Директор НТЦ А ЭМС ФГУП НИИР,  
д.т.н.,  
Тел.: (499) 261-05-05  
Эл. почта: [veerpalu@niir.ru](mailto:veerpalu@niir.ru)



В.Э. Веерпалу

**Адрес:** 105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, д. 16.  
**Телефон:** +7 (495) 261-05-05  
**Электронная почта:** [veerpalu@niir.ru](mailto:veerpalu@niir.ru)

Научный консультант ФГУП НИИР  
д.т.н.,  
Тел.: (495) 647-17-47  
Эл. почта: [kizima@niir.ru](mailto:kizima@niir.ru)



С.В. Кизима

**Адрес:** 105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, д. 16.  
**Телефон:** +7 (495) 261-05-05  
**Электронная почта:** [kizima@niir.ru](mailto:kizima@niir.ru)

Подписи директора НТЦ Анализа ЭМС ФГУП НИИР, доктора технических наук Веерпалу Вячеслава Энновича и научного консультанта ФГУП НИИР, доктора технических наук Кизима Станислава Васильевича заверяю.

Ученый секретарь, к.т.н., с.н.с



В.А. Корж

Федеральное государственное унитарное предприятие Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт радио им. М.И. Кривошеева (ФГУП НИИР). 105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, 16. Телефон: (495) 647-18-30. Факс: (499) 261-00-90. Адрес электронной почты: [info@niir.ru](mailto:info@niir.ru).

Федеральное государственное унитарное предприятие Ордена Трудового  
Красного Знамени научно-исследовательский институт радио им. М.И.  
Кривошеева (ФГУП НИИР). 105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, 16.  
Телефон: (495) 647-18-30.  
Факс: (499) 261-00-90. Адрес электронной почты: [info@niir.ru](mailto:info@niir.ru).